

城市群创新生态系统健康性评价方法研究 ——以长江经济带五大城市群为例

彭定洪^{a1, b} 董婷婷^{a, b}

(昆明理工大学 a. 管理与经济学院;

b. 质量发展研究院, 云南 昆明 650504)

【摘要】 创新生态系统健康性评价是衡量城市群规划、建设和管理成效的重要依据。文章针对创新生态系统要素间因果关联性特点, 在 DPSIRM 框架下提出一种具有约束、激励作用的 HF-EDAS 方法。首先, 在剖析创新生态系统要素间相互影响和因果联系基础上, 构建了一套创新生态系统健康性 DPSIRM 评价指标体系; 其次, 以犹豫模糊 (HF) 元为基础, 提出一种以均值参照解为优劣势度划分点, HF 优势度与劣势度非线性联立赋予约束、激励特性的评价模型; 最后, 以长江经济带 5 大城市群为例进行案例实证。结果表明: 长江经济带城市群创新生态系统健康性整体发展态势良好, 呈现“下游>上游>中游”的区域差距; 文章所提出的方法适用性与可靠性较强, 评价结果符合客观实际, 可以为打造稳定、协调和可持续的创新生态系统提供理论依据。

【关键词】 城市群; 创新生态系统; 健康性; DPSIRM; HF-EDAS; 长江经济带

【中图分类号】 F124.3 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1007-5097 (2022) 11-0017-11

一、引言

创新是经济高效增长与抢占竞争优势的重要源泉^[1]。面对创新范式由机械式创新体系 2.0 向有机式创新生态系统 3.0 的嬗变, 越来越多的创新主体尝试将价值创造的轨迹从单纯的利己主义转向营造开放包容的创新环境^[2]。区别于“要素-结构”研究范式, 创新生态系统更注重在技术、资源、制度、文化等要素相互影响和迭代协同下, 联合企业、政府、高校、科研机构等主体打造互联协作、资源互补、互惠共生的健康创新网络^[3]。实际上, 健康性是一个创新生态系统能否持续运行、良性进化及联动有序的基本前提。唯有健康的创新生态系统才能更好抵抗外部干扰、保持强持续力、实现高质量跨越式发展^[4]。

近年来, 国内外学者对创新生态系统健康性的研究主要聚焦于耦合协调、网络演化、综合评价等方面^[5]。其中, 创新生态系统健康性评价作为衡量环境保护和经济社会协调发展程度、确保未来发展潜力及持久提升空间的重要依据^[6], 逐渐引起了社会各界的广泛关注。

目前, 创新生态系统健康性评价的焦点和重心主要包括指标体系的构建和评价方法的选择等方面。李福和曾国屏 (2015) 构建了涵盖共生力、平衡力、组织力和生长力 4 个维度的指标体系, 对创新生态系统

¹收稿日期: 2022-04-21

基金项目: 国家自然科学基金项目“支持多群组协同决策的广义犹豫模糊 TOPSIS 关键技术与求解途径及其应用”(71861018); 云南省基础研究计划项目“无废城市建设绩效测度系统: 全因果网式指标体系与激励约束评价方法”(202201AT070190); 云南省哲学社会科学规划项目“多级 HF-TOPSIS-like 综合评价方法及其在云南智慧旅游城市发展中的应用研究”(YB2019067)

作者简介: 彭定洪 (1982—), 男, 云南曲靖人, 教授, 博士, 通信作者, 研究方向: 系统工程, 模糊决策; 董婷婷 (1997—), 女, 河北石家庄人, 硕士研究生, 研究方向: 模糊决策, 质量评价。

健康性评价进行了有益的探讨^[7]；张贵等（2018）采用突变级数法从生存和发展视角测度了高技术产业创新生态系统健康性^[8]。

伴随创新研究由外在表现到内在机理发展，部分学者不限于停留在创新生态系统健康性表象测度上，开始在此基础上追寻其背后深层次诱因与可能导致的后果。范德成和谷晓梅（2021）以驱动健康性提升的关键影响因素为切入点，利用熵值-DEMATEL-ISM组合法量化健康性得分^[6]；张妮和赵晓冬（2022）着眼于未来发展，运用模糊集定性比较分析（fsQCA）方法，从创新种群结构、创新能力和创新潜力3个视角探究区域创新生态系统高水平可持续建设路径^[9]。

既有研究为创新生态系统健康性评价提供了有益借鉴，但面对日新月异的创新实践尚存在一些待完善之处：①就研究尺度而言，当前评价多局限于相对独立的企业、城市以及功能交错的高新区、省域等层面，鲜有文献突破区位限制从辐射带动能力更强、聚集产出巨大经济效益、区域空间形态的高级现象——城市群尺度探讨健康性。随着生态绿色一体化发展和区域协同治理走向纵深，创新活动不再拘泥于单体城市内部资源流动，而是以城市群为依托强强联合，充分发挥“超大规模性”优势^[10-11]。在此背景下，一些学者和相关部门呼吁将研究目光转向城市群创新生态系统^[10]，但针对城市群创新生态系统健康性评价的文献凤毛麟角。②在指标体系方面，现有评价框架通常由文献统计法、专家咨询法构建，普遍存在理论依据说服力不足、逻辑关系较为笼统等缺陷。事实上，城市群创新生态系统属开放的复杂巨系统，要素间存在错综复杂的相互作用和内在联系^[12]。倘若孤立地止步于健康性的表象、本因、调控方式等单方面测度有失偏颇，因此有必要从整体视角将其纳入统一分析框架，从而由表及里、透析前因后果揭示城市群创新生态系统健康性深层逻辑和作用机理。③鉴于评价方法在整项评价活动中的核心作用，结合城市群创新生态系统特点有针对性地选取并构建适宜评价方法的研究逐渐兴起，但较少考虑多类主体差异性目标愿景和价值诉求。如前所述，城市群创新生态系统是由多部门协同参与的系统性活动，其评价必然涉及异质性实践经验、知识结构及认知偏好，如何集成人智慧又不失个体意见的有效性是群体评价的关键。同时，相较于单一封闭型发展模式，城市群创新生态系统强调创新要素的关联协作、创新产业的开放共享及创新活动的空间聚集，通过打破区域壁垒、积累优质资源从而产生原本部分及其总和不具备的协同放大效应^[13]，引致城市群创新生态系统健康性提升呈现先缓后强特征。而以往方法对优劣指标的处理均是简单对立的线性叠加，无法较好刻画创新生态系统“聚合放大”的正向激励与“干扰抑制”的负向约束作用。

为弥补现有文献不足并拓展创新研究边界，本文在已有成果基础上提出一种适宜城市群创新生态系统健康性特征的指标体系与评价方法。目前，借助一些概念框架将指标体系这一非结构化问题转为半结构化问题逐渐成为新潮流，其中基于因果反馈理论的DSR、PSR、DPSIR模型大家较为熟悉且具有代表性，已被广泛应用于生态系统与创新管理等领域^[14]。该框架形成的“动因—行为—结果”逻辑路线体现了普适的系统要素及其间复杂连接关系，理清了关键要素及其间因果传导的联系机理。作为该族框架模型中最新研究成果的DPSIRM（驱动力—压力—状态—影响—响应—管理），考虑DPSIR忽略了人类社会的主观能动性和因果链间的协调管理^[15]，在保留其核心思想的基础上加入管理（Management）维度，不仅可以从机理上阐述“是什么、为什么以及怎么样”这3个关键问题，还能凸显自然资源、生态环境和统筹管理协调互动的本质^[16]。

鉴于此，本文依托该框架捕获要素间复杂的因果联系并引导其和谐共生。此外，可以通过明确城市群各个评价指标乃至整个方案的具体优劣势，以便后续寻找短板并持续优化，继而激发其健康性提升。在综合评价方法理论中，EDAS（Evaluation Based on Distance from Average Solution）逻辑清晰、直观且易于理解，以更符合集体实际利益的平均解为优劣势度划分点，通过计算优劣势度矩阵刻画各被评对象与参考点的差异程度^[17]。由于其显著的实用价值，该方法随即演变出了犹豫模糊EDAS-CRITIC、序贯式群决策EDAS^[18]等拓展版本。

然而, 仔细梳理上述方法不难发现, 该类方法中优劣指标的融合均采用线性标准化方法和几何算术平均模型, 但是很多实际问题(包括城市群创新生态系统健康评价)指标值的变化对评价结果的影响并非等差、等比型, 尤其在城市群创新生态系统健康评价中, 当创新要素积累到一定水平时, 更易吸纳优质资源凸显先积累后进发的特性, 对优劣势度矩阵赋予的负向约束与正向激励作用显得尤为重要。鉴于此, 本文将具有正向放大或负向抑制效果的三角熵拓展到 HF 环境下, 从而提出一种可以施加约束与激励手段的 HF-EDAS 方法。

二、城市群创新生态系统健康性内涵特征

自 Iansiti 和 Levien (2004) 将有效性、稳定性和多样性作为评判生态体系健康性的核心维度^[19]后, 国内外学者围绕创新生态系统健康性内涵特征展开了卓有成效的研究。Li (2009) 提出健康的创新生态系统具有协同合作、平台竞争和共生演化的特征^[20]; 吴金希 (2014) 指出健康的创新生态系统能够不断演化、引领创新潮流且具备持续的竞争优势, 主要表现在对优质创新资源的粘性和吸引力、对新鲜事物的感知力、保持多样化的能力和开放性^[21]; 李福和曾国屏 (2015) 指出创新生态系统的健康性依赖于共生力、组织力、平衡力和生长力 4 种力量的相互作用^[7]。基于此, 本文根据创新生态系统健康内涵, 结合城市群创新系统的相关研究^[10, 23], 将城市群创新生态系统健康性描述为: 聚集多个城市周围的多方创新主体与外部环境之间相互联系、彼此依赖, 凭借良好的稳定性、可持续性以及维持其功能结构、调节恢复和转型升级能力, 在更大范围内突破规模限定, 释放单一主体无法企及的巨大经济、环境与社会价值的组织体系^[4]。从基本内涵而言, 城市群创新生态系统健康性主要体现以下 3 个特征: ①主体多元性^[5-6]。伴随创新资源集成化、创新主体协同化和创新过程开放化, 仅仅依靠单个主体难以完全掌握或支配全部的创新资源, 需要联结企业、政府、高校、科研机构等多元主体实现优势互补与价值共创, 其数量级与多样性是削减外部冲击扰动、保持持续适应力、提升创新速率和成功率的基础^[5]。②因果联结性^[8-9]

城市群创新生态系统是涉及资源、环境、社会、经济等诸多因素的复杂巨系统, 要素间往往遵循复杂的相互影响和因果联系。如果简单地将创新体系前面冠之以“生态”二字, 而不深入刻画其背后深层次的相互作用形式及影响程度, 则无法明晰各要素间相互连接的本质^[21]。③均衡协调性^[4]。区别于以往短期的短板管理, 城市群创新生态系统注重通过自维持、自调控等方式追求经济—社会—生态效益的统筹均衡发展。倘若某一方面有所偏废, 那么即便另外维度取得卓越成效, 到后期这方面也不可避免成为城市群发展的“短板”。

三、创新生态系统健康性评价指标体系构建

构建科学合理的指标体系, 是评价城市群创新生态系统健康性的前提和基础。迄今为止, 国内外学者从不同角度对创新生态系统健康性评价指标体系进行了积极探索。姚艳虹等 (2019) 从高效的生产率、持续的适应力和丰富的多样性 3 个维度出发, 构建创新生态系统健康性评价指标体系^[5]; 顾桂芳和胡恩华 (2020) 以成长力、共生力、平衡力和再生力为内核, 将新产品市场份额、预警机制完备程度、基础研究支出等纳入创新生态系统健康性指标体系^[22]; 陈万旭等 (2022) 遴选出包括活力、组织力、弹性 3 个一级指标和供给服务、调节服务、支持服务等二级指标的城市群生态系统评价体系^[23]。

上述相关研究为创新生态系统健康性指标选取与构造提供了有益指导, 然而现有成果大多仅片面孤立地增添一些反映经济发展、环境污染和生态恶化的指标, 并未深刻体现创新生态系统与经济、社会、环境等问题相互连接的本质。吴艳霞等 (2021) 借助 DPSIR 模型探讨区域创新生态系统安全指标体系^[24]; 张月

琪等（2022）从 PSR 的 3 个维度出发建立了城市生态系统健康状况评价框架^[25]。依据 DPSIRM 逻辑可知，采用 DPSR 或 PSR 模型为框架构建城市群创新生态系统健康性评价指标体系，无法体现城市群创新生态系统中人居环境、社会经济及协调管理之间的有机互动。因此，本文基于 DPSIRM 框架，遵循指标选择的代表性、冗余信息最小化、信息含量最大化原则，在广泛参考既有研究成果的基础上，以健康性特征、权威机构与文献频次统计为重点对指标筛选、修正，最终构建了一套涵盖 14 个维度层、29 个解释指标的城市群创新生态系统健康性评价指标体系，其整体逻辑框架及指标如图 1 所示。

在本文提出的 DPSIRM 框架中，驱动力（D）是指引起社会经济问题的潜在原因，是助推资源驱动的模式速度型向创新驱动的质量效率型转变的动能引擎；压力（P）是指城市群在开展创新活动时对资源环境所产生的正向或负向的作用力，是导致生态环境变化的直接原因；状态（S）是指当前系统在潜在因素叠加的压力作用下所呈现的现实状况和可能的发展趋势；影响（I）表示创新生态系统的各种状态对经济、社会和环境构成的作用；响应（R）以创新生态系统的应用效果为主，反映在当前影响下企业、政府等主体为削弱或改善因系统变化而采取的一系列反馈措施；管理（M）是指人类积极主动实施行为干预以修复生态秩序的基本手段，是实现环境与绿色经济协同发展的关键一环。

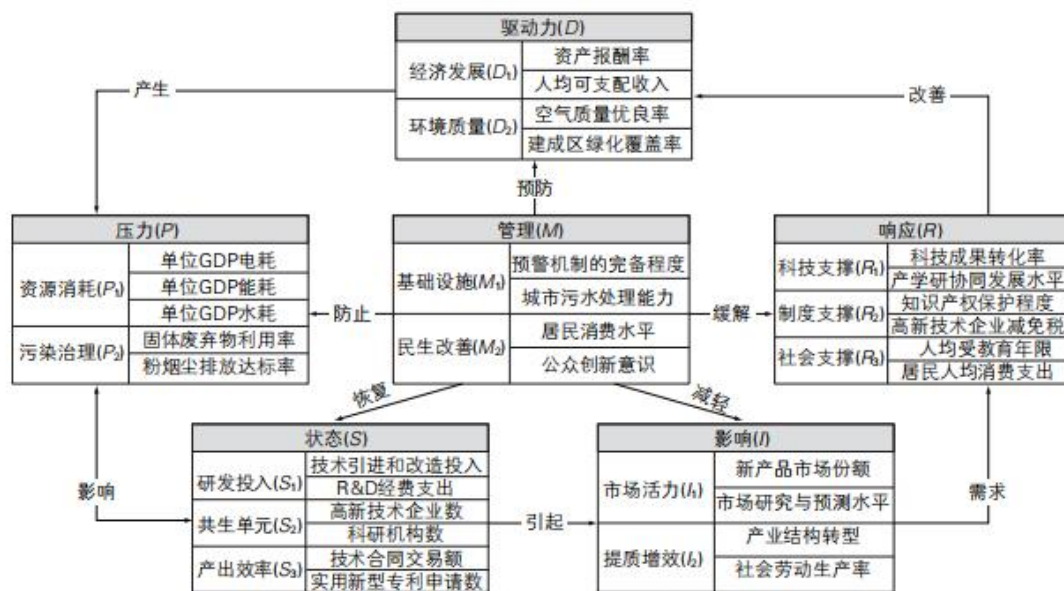


图1 城市群创新生态系统健康性评价的DPSIRM模型框架

四、研究方法

(一) 犹豫模糊集

城市群创新生态系统健康性评价涉及多部门协同参与，必然存在异质性知识结构、价值诉求和目标愿景。以往研究秉承大多数原则迫使多方意见达成共识，但在管理中少数派思想也常常体现出其显著优越性^[26]。Torra（2010）提出的 HFS 无须构造隶属度函数由一组不定且无序的隶属度汇集^[27]，不仅可以全面自由地表征和兼顾专家组不可调和的多元意见，还节省了为迫使意见达成一致所耗费的时间成本。据此，下文给出 HFS 的定义及运算法则^[27]。

$$H = \left\{ \left[x, h_n(x) \mid x \in X \right] \right\}_i$$

定义 1：设 X 为固定的集合，集合 X 的 HFS 为 $H = \left\{ \left[x, h_n(x) \mid x \in X \right] \right\}_i$ 。其中， $h_{ii}(x)$ 是由区间 $[0, 1]$ 中一些数值构成的集合，表示 $x \in X$ 到集合 H 的若干种可能隶属度。为表述方便，将 $h_{ii}(x)$ 称为 HFE，简写

为 hH 。

定义 2: 设 h 、 h_1 和 h_2 为 3 个 HFE。它们的运算法则如下:

$$\begin{aligned} (1) \lambda h &= \bigcup_{\gamma \in h} \{1 - (1 - \gamma)^\lambda\} \\ (2) h^r &= \bigcup_{\gamma \in h} \{1 - \gamma\} \\ (3) h_1 \oplus h_2 &= \bigcup_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \{\gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_1 \gamma_2\} \end{aligned}$$

(二) 具有约束与激励的 HF-EDAS 评价方法

在众多综合评价方法中, EDAS 因以均值参照解为优劣势度划分点与城市群各个评价指标的具体优劣势相契合而在解决该评价问题中显示独到的优势, 该方法已在创新管理、生态评价等领域得到成功应用 [18]

。但结合 EDAS 方法本身与城市群创新生态系统健康性特征, 尚存在一些可改进之处: ①城市群创新生态系统各准则值大小和性质各异, 传统 HF-EDAS 方法不能消除原始指标单位带来的影响, 致使值域不固定。②对优劣势度矩阵平均解的处理在精确值条件下, 并无大碍, 但拓展到 HF 环境后, 均值的直接计算导致集结量与维度增大, 造成效率低、时间成本高的问题不容小觑。③在创新生态系统健康性评价过程中, 整体优势与薄弱环节并非简单对立的线性叠加, 其本质是通过跨越组织边界的无障碍流动与创新要素的有机整合释放系统整体涌现性, 往往存在“整体大于部分之和”的协同放大效应或“整体小于部分之和”的干扰抑制效应, 有必要对不同优劣指标施加正向激励与负向约束。针对上述情况, 本文对 HF-EDAS 做出调整以期修复其固有缺陷, 使其更贴合城市群创新生态系统特征。具体步骤如下:

(1) 构造评价矩阵 H 。设 m 个创新生态系统 $A_i = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$, 依据 n 项评价指标 $C_j = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$,

进行城市群创新生态系统健康性评价, $h_{ij} = \bigcup_{\gamma \in h_{ij}} \{\gamma_{ij}\}$ 表示专家组对城市群 A_i 的指标 C_j 的评价值 (HFE), 得到的评价矩阵如下:

$$H = \begin{matrix} & & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1n} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ h_{m1} & h_{m2} & \dots & h_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

(2) 确定平均解、最高点 (idealpoint) 和最低点 (nadirpoint)。由于最高点、最低点有助于反映城市群在评价体系中位置和竞争力大小, 本文在现有以平均解为参考点的基础上, 引入最高点、最低点作为期望与保留水平, 从而更全面、多角度满足专家组的实际需求与价值判断。

$$h_j^a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_{ij} = \bigcup_{\gamma_a=h_j} \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \gamma_{ij} \right\}, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$h_j^{ap} = \bigcup_{\gamma_a=h_j} \{ \gamma_j^{ap} \} = \bigcup_{\gamma_a=h_j, j=1,2,\dots,n} \left\{ \max_{1 \leq i \leq n} \gamma_{ij} \right\},$$

$$j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$h_j^b = \bigcup_{\gamma_b=h_j} \{ \gamma_j^b \} = \bigcup_{\gamma_b=h_j, j=1,2,\dots,n} \left\{ \min_{1 \leq i \leq n} \gamma_{ij} \right\},$$

$$j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

(3) 计算备选方案与参考点的优势度矩阵

(PDA $\tilde{\cdot}$) 和劣势度矩阵 (NDA $\tilde{\cdot}$)。首先, 为修正传统 HF-EDAS 值域不固定问题, 利用最高点、最低点对其进行处理; 其次, 针对 HF-EDAS 固有的平均解计算隶属值数目庞大的问题, 将均值直接代入优劣势度矩阵对其展开处理, 在保留均值依赖的前提下有效降低计算复杂度; 最后, 将三角熵的非线性思想拓展到 HF 环境中以轻松配置约束与激励手段。基于上述分析, 一种新的优势度在固定区间、计算简便且体现约束与激励的优劣势度矩阵表示如下: 若 h_{ij} 为利润型指标, 则有:

$$PD\tilde{A} = [PD\tilde{A}_{ij}]_{mn} \quad (5)$$

$$ND\tilde{A} = [ND\tilde{A}_{ij}]_{mn} \quad (6)$$

$$PD\tilde{A}_{ij} = \max \left\{ 0, \frac{1}{\#h_{ij}} \sum_{\gamma_a=h_j}^{*h_j^*} \sqrt{\arcsin \prod_{\gamma_j^a=h_j^a, j=1}^n \frac{\gamma_{ij} - \gamma_j^a}{\gamma_j^{ap} - \gamma_j^a}} \right\} \quad (7)$$

$$ND\tilde{A}_{ij} = \max \left\{ 0, \frac{1}{\#h_{ij}} \sum_{\gamma_b=h_j}^{*h_j^*} \sqrt{\arccos \prod_{\gamma_j^b=h_j^b, j=1}^n \frac{\gamma_{ij} - \gamma_j^b}{\gamma_j^b - \gamma_j^b} - \frac{\pi}{2}} \right\} \quad (8)$$

若 h_{ij} 为成本型指标, 则有:

$$PD\tilde{A}_{ij} = \max \left\{ 0, \frac{1}{\#h_{ij}} \sum_{\gamma_a=h_j}^{*h_j^*} \sqrt{\arccos \prod_{\gamma_j^a=h_j^a, j=1}^n \frac{\gamma_{ij} - \gamma_j^a}{\gamma_j^a - \gamma_j^b} - \frac{\pi}{2}} \right\} \quad (9)$$

$$ND\tilde{A}_{ij} = \max \left\{ 0, \frac{1}{\#h_{ij}} \sum_{\gamma_b=h_j}^{*h_j^*} \sqrt{\arcsin \prod_{\gamma_j^b=h_j^b, j=1}^n \frac{\gamma_{ij} - \gamma_j^b}{\gamma_j^{ap} - \gamma_j^b}} \right\} \quad (10)$$

其中, $\#h_{ij}$ 、 $\#h_{j0}$ 和 $\#h_{j0}$ 分别表示 h_{ij} 、 h_{j0} 和 h_{j0} 的隶属度个数。三角熵 $T = \arcsin x$ ($-1 \leq x \leq 1$) 与 $T^* = \arccos x - \pi/2$ ($1 \leq x \leq 1$) 分别为单调递增、递减函数 (见图 2), 将 $\arccos x$ 的图像下移 $\pi/2$ 以确保优劣势度矩阵值域相同, 由两者导数的绝对值均大于等于 1 可知, 反正弦和反余弦三角熵只对 x 放大而无缩小作用。事实上, 三角熵是为每个数据点分配不同权重的加权函数, 其为离群值赋予较大的权重, 为数据在参考点附近比较集中的点分配较小的权重。这样处理的目的是既防止某些分量左右整个综合评价的取值,

又使规范值随准则值改善程度的增加而呈先缓后强趋势^[28]。

显然，上述性质与城市群创新生态系统健康性在初期要素积累与价值获取后实现“从1至N”相对较快的突破性飞跃相契合，进而起到激励先进、惩罚落后的效果，有利于保证评价结果的准确性和公平性。

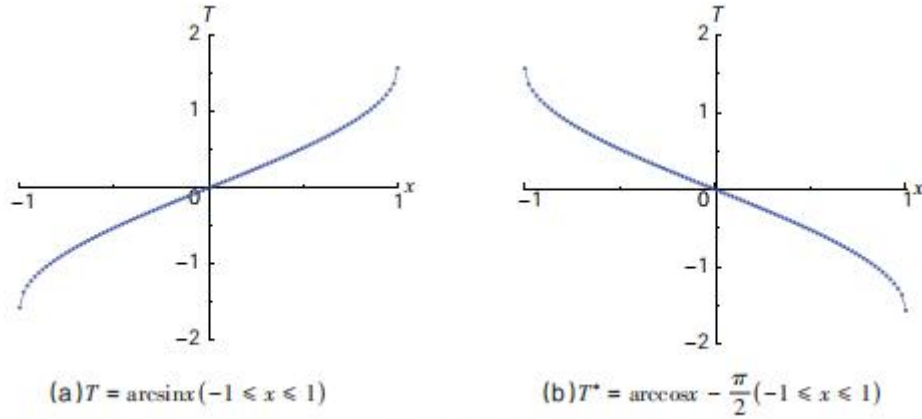


图2 三角熵图像

Pi 和综合劣势度 SNi。

$$SP_i = \sum_{j=1}^n \omega_j PD\tilde{A}_{ij} \quad (11)$$

$$SN_i = \sum_{j=1}^n \omega_j ND\tilde{A}_{ij} \quad (12)$$

(5) 计算所有城市群创新生态系统健康性评估分数 ASi。

$$AS_i = \frac{SP_i + (1 - SN_i)}{2} \quad (13)$$

其中， $0 \leq AS_i \leq 1$ ，ASi 值越大，表示第 i 个评价对象越优，反之则越差。根据计算所得的评估分数 ASi 对创新生态系统方案进行排序。

五、实证分析

(一) 案例背景

长江经济带作为中国“T”型国土空间开发和“一带一路”建设的重要轴线，是“十三五”规划确定的中国三大区域发展战略之一。该区域以城市群为依托，覆盖上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、云南、贵州等 11 省市，横跨中国东中西三大经济板块，所辖人口和经济总量超过全国的 40%，是中国战略支撑作用最重要、城市体系最完整、产业规模最大的科技创新走廊。在长江经济带一体化与城市协同联动的背景下，城市群逐渐成为强化城市间优势互补、平衡东中西经济协调发展和促进“双循环”新发展战略有效落地的重要基地。然而，随着自然资源过度消耗和生态环境不断恶化，打造高效协同、共建共享和健康发展的创新生态系统迫在眉睫。

为引领长江经济带城市群健康持续发展，由上海市牵头组织邀请了创新管理、资源可持续利用与生态经济学等相关领域的 8 位资深专家组成评价小组，通过收集、整理并仔细阅读长江经济带发展战略中重点

扶持的城市群提供的材料，并进行问卷访谈、实地考察和验收，最终筛选出长江中游城市群（A1）、成渝城市群（A2）、长三角城市群（A3）、黔中城市群（A4）、滇中城市群（A5）5个具有代表性且系统健康性发展较好的城市群作为分析对象。将第一轮咨询结果反馈给各位专家进行第二轮咨询，评判发现所选城市群辐射区域广泛、区位优势明显、科技资源丰富，符合进一步分析的要求，因此对2014—2020年长江经济带5大城市群创新生态系统健康性进行评价。

（二）评价步骤

为保证数据的准确性与可靠性，经济发展、生态质量、污染治理等客观数值来源于2014—2020年《中国城市统计年鉴》《中国科技统计年鉴》及国民经济与社会统计公报等，主观指标以HFE为信息载体。因各年采用的步骤和方式基本一致，为避免过多赘述，本文仅展示2020年系统健康性求解过程，其余年份则直接给出评价结果。在专家组详细研读5大城市群相关材料后，对各项指标独立进行评估，由此得到HF评价矩阵：

$$H = \begin{bmatrix} \{0.3,0.4\} & \{0.4,0.7\} & \{0.6,0.8\} & \{0.4,0.7\} & \{0.6,0.8\} & \{0.3,0.5,0.7\} & \{0.6,0.8\} \\ \{0.6,0.7\} & \{0.5,0.8\} & \{0.5,0.7\} & \{0.7,0.8\} & \{0.5,0.8\} & \{0.8\} & \{0.3,0.5\} \\ \{0.4,0.6\} & \{0.6\} & \{0.6,0.7\} & \{0.8\} & \{0.5,0.8,0.9\} & \{0.7,0.9\} & \{0.5,0.8\} \\ \{0.2\} & \{0.2,0.4\} & \{0.5,0.8\} & \{0.4,0.6\} & \{0.5,0.7\} & \{0.2,0.4\} & \{0.7\} \\ \{0.3,0.5\} & \{0.5,0.7\} & \{0.5,0.8,0.9\} & \{0.5,0.6\} & \{0.6,0.7\} & \{0.5,0.7\} & \{0.3,0.7\} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \{0.4,0.6\} & \{0.6,0.7,0.8\} & \{0.5,0.6\} & \{0.3,0.6\} & \{0.2,0.6\} & \{0.5,0.7,0.8\} & \{0.4,0.6\} \\ \{0.6,0.8\} & \{0.8\} & \{0.3,0.5\} & \{0.3,0.7\} & \{0.3,0.5\} & \{0.4,0.5\} & \{0.6,0.7\} \\ \{0.7,0.9\} & \{0.6,0.7\} & \{0.6,0.8\} & \{0.7,0.8,0.9\} & \{0.5\} & \{0.4,0.6\} & \{0.3\} \\ \{0.4,0.6,0.7\} & \{0.5,0.7\} & \{0.1,0.4\} & \{0.6,0.8\} & \{0.1,0.3\} & \{0.7\} & \{0.5,0.7\} \\ \{0.2,0.6\} & \{0.2,0.5\} & \{0.5,0.8\} & \{0.5,0.7\} & \{0.4\} & \{0.5,0.7\} & \{0.3,0.5\} \end{bmatrix}$$

根据式（3）一式（4）构造最高点、最低点矩阵：

$$h_j^* = [\{0.6,0.7\} \quad \{0.7,0.8\} \quad \{0.8,0.9\} \quad \{0.8\} \quad \{0.6,0.8,0.9\} \quad \{0.8,0.9\} \quad \{0.7,0.8\} \\ \{0.7,0.9\} \quad \{0.8,0.9\} \quad \{0.6,0.8\} \quad \{0.7,0.8,0.9\} \quad \{0.5,0.6\} \quad \{0.7,0.8\} \quad \{0.6,0.7\}]$$

$$h_j^* = [\{0.2\} \quad \{0.2,0.4\} \quad \{0.3,0.4\} \quad \{0.4,0.5,0.6\} \quad \{0.5,0.7\} \quad \{0.2,0.3,0.4\} \quad \{0.3,0.5\} \\ \{0.2,0.4,0.6\} \quad \{0.2,0.5\} \quad \{0.1,0.3,0.4\} \quad \{0.3,0.5\} \quad \{0.1,0.2\} \quad \{0.4,0.5\} \quad \{0.3,0.4\}]$$

利用式（7）一式（10）得到优势度矩阵与劣势度矩阵：

$$\begin{aligned}
 PDA &= \begin{bmatrix} 0.45 & 0.23 & 0.61 & 0 & 0.33 & 0.43 & 0.21 & 0 & 0.58 & 0.12 & 0.42 & 0.29 & 0.10 & 0.14 \\ 0 & 0.16 & 0.57 & 0.37 & 0 & 0.70 & 0.44 & 0.35 & 0 & 0.63 & 0.30 & 0.58 & 0.39 & 0 \\ 0.43 & 0.59 & 0.63 & 0.39 & 0.45 & 0.48 & 0.05 & 0.10 & 0.22 & 0.40 & 0 & 0.06 & 0.32 & 0.53 \\ 0.69 & 0.25 & 0.66 & 0.29 & 0.54 & 0 & 0 & 0.23 & 0.28 & 0 & 0.11 & 0 & 0.12 & 0.10 \\ 0.18 & 0 & 0 & 0.18 & 0.36 & 0.49 & 0.17 & 0.48 & 0.13 & 0.13 & 0.18 & 0 & 0.16 & 0.37 \end{bmatrix} \\
 NDA &= \begin{bmatrix} 0.18 & 0.27 & 0.19 & 0.57 & 0.19 & 0.40 & 0.60 & 0.62 & 0 & 0.35 & 0.14 & 0.26 & 0.22 & 0.19 \\ 0.56 & 0.38 & 0.18 & 0.31 & 0.52 & 0.12 & 0 & 0 & 0.47 & 0 & 0.23 & 0.08 & 0 & 0.34 \\ 0.31 & 0 & 0.44 & 0.06 & 0.22 & 0.20 & 0.50 & 0.31 & 0.30 & 0.14 & 0.76 & 0.11 & 0.13 & 0.01 \\ 0 & 0.24 & 0.69 & 0.37 & 0.20 & 0.64 & 0.52 & 0.23 & 0.25 & 0.57 & 0.37 & 0.21 & 0.50 & 0.29 \\ 0.24 & 0.55 & 0.58 & 0.31 & 0 & 0.08 & 0.36 & 0 & 0.31 & 0.49 & 0.23 & 0 & 0.22 & 0.10 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

最后，由式(11)一式(13)计算出各城市群创新生态系统健康性，AS1=0.518，AS2=0.529，AS3=0.652，AS4=0.437，AS5=0.461，即AS3>AS2>AS1>AS5>AS4。可见，长江经济带城市群创新生态系统健康性整体上呈现从沿海到内陆地区递减的同心圆分布模式。同时，得到2014—2020年5大城市群的创新生态系统健康性得分及排名，如图3、表1所示。

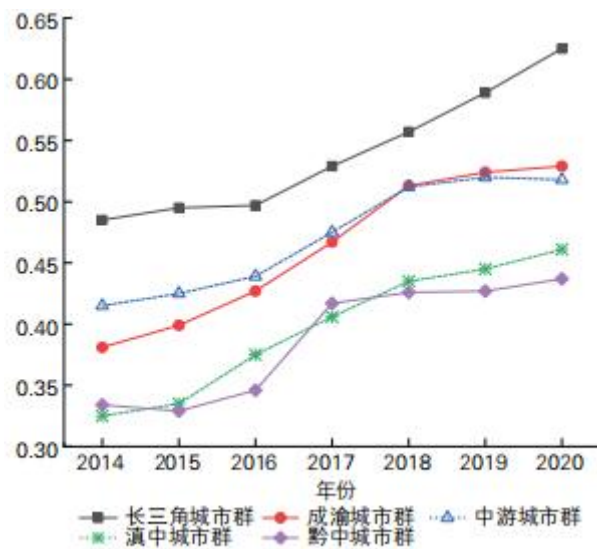


图3 创新生态系统健康性变化趋势

表1 创新生态系统健康性发展概况

| 城市群 | 2014年 | 2015年 | 2016年 | 2017年 | 2018年 | 2019年 | 2020年 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 长三角城市群 | 0.485 | 0.495 | 0.497 | 0.529 | 0.557 | 0.589 | 0.625 |
| 成渝城市群 | 0.381 | 0.399 | 0.427 | 0.467 | 0.513 | 0.524 | 0.529 |
| 中游城市群 | 0.415 | 0.425 | 0.439 | 0.475 | 0.512 | 0.520 | 0.518 |
| 滇中城市群 | 0.325 | 0.335 | 0.375 | 0.406 | 0.435 | 0.445 | 0.461 |
| 黔中城市群 | 0.334 | 0.329 | 0.346 | 0.417 | 0.426 | 0.427 | 0.437 |

(三) 结果分析

1. 总体概况

从评价结果与指标数据看，长江经济带城市群创新生态系统健康性持续提升且差异显著。特别地，名列前茅的国家级城市群呈“下游密集领头、中游游离发展、上游钉状崛起”态势，期间发展差距缓慢减少。

主要原因在于随着市场竞争的日益激烈和新旧动能的快速迭代,各大城市群凭借优质的创新资源聚集效应吸引技术、资金和人才等要素流入,在经济发展(D_1)、研发投入(S_1)、提质增效(I_2)等方面显现出独特优势,特别是共生单元(S_2)、市场活力(I_1)等维度均优于其他2个区域性城市群,进而使健康性稳居长江经济带前三位。其中,下游长三角城市群始终占据领军地位,是长江经济带城市群创新生态系统健康性发展的“领头羊”,其健康性评估值由2014年的0.485上升至2017年的0.529,到2020年维持在0.625。究其原因主要为长三角在环境质量(D_2)、污染治理(P_2)、科技支撑方面(R_1)独树一帜,尤其依靠雄厚的资源配置和创新禀赋促进产出效率(S_2)、市场活力(I_1)提升,使之成为我国最具经济活力、开放程度最高、创新能力最强的区域之一。相比而言,积极响应西部大开发及中部崛起发展战略的成渝城市群与中游城市群创新生态系统健康性差异较小,但较之长三角则明显薄弱。特别是,2018年后成渝城市群创新生态系统健康性超越0.513并稳定攀升,排名也由第三跃升至第二名,而中游城市群创新生态系统健康性呈先增后减趋势,排名颇不稳定。究其原因,后发型成渝城市群得益于“全国高质量发展的重要增长极和新的动力源”建设目标,着力强化内陆开放功能、科技创新功能与要素聚集功能,加之资金的大量投入、创新人才的聚集、项目的优先安排等政策扶持,在产出效率(S_3)、制度支撑(R_2)与基础设施(M_1)等维度显现出蓬勃生命力。需要说明的是,尽管成渝城市群在社会支撑(R_3)方面表现乏力,但因该项指标对应权重较低,致使系统健康性仍实现跨越式飞跃。而中游城市群虽承接上游地区产业转移,能够更好地平衡中西区域经济协调发展,但受城市群内部紧密型不强、磷化工企业生态压力较大等原因影响,除在污染治理(P_2)、产出效率(S_3)等环节发展较为优秀外,其他指标整体差异性较小,因此在2018—2020年健康性提升中显得颇为失意。

值得注意的是,集边疆、贫困、山区于一体的滇中城市群因资源配置效率低、研发投入不足、产业结构落后等条件制约,在环境质量(D_2)、社会支撑(R_3)等方面尚未得到充分发挥,尤其在市场活力(I_1)、提质增效(I_2)方面表现欠佳,这不可避免地导致影响(I)子系统有所偏废,以致创新生态系统健康性处于相对较低水平。所幸的是,伴随面向南亚、东南亚辐射中心的区位优势进一步凸显,滇中城市群聚力打造世界一流“三张牌”新优势,致力于将矿产资源储量大、经济价值高、生物资源丰富等资源优势转化为经济优势,创新生态系统健康性也开始焕发生机活力。处于摆尾位置的黔中城市群由于没有突出的指标值且在污染治理(P_2)、科技支撑(R_1)方面发展最差,加上资源综合利用不足、烟粉尘排放达标率偏低等问题,导致创新生态系统健康性存在明显短板。但从发展趋势来看这种现象正在逐步得到缓解,主要是在产业协调发展、基础设施互联互通、生态环境共建共保等战略驱动下,黔中城市群提升生态的底盘作用以绿色发展理念撬动技术市场成交额、增强公众创新意识等推动高质量发展,着力建设绿色宜居、开放创新、协同高效、和睦人文的城市群。另外,2014—2017年长江经济带城市群创新生态系统健康性评价大部分低于0.5,2018—2020年则多数高于0.5,这表明城市群创新生态系统健康性发展虽处于中等水平,但迎来了快速优化的机遇期,发展前景广阔。

2. 子系统发展概况分析

为进一步探索2014—2020年城市群创新生态系统健康性的相互作用与内部联系,厘清各子系统7年间的具体表现和变化,本文对创新生态系统DPSIRM模型进行分解并将计算结果图示化以便纵向比较,具体如图4所示。

由图4可以观察到,长三角、中游城市群驱动力(D)子系统在2014—2016年突增之后逐年降低,而滇中、黔中城市群虽勇立潮头且发展势头良好,但增长幅度微乎其微,表明创新生态系统系统健康性背后的根源性问题还未得到有效解决,长江经济带营造多主体、强互动、健康开放的创新生态系统依然任重而道远。压力(P)子系统则与驱动力有着截然不同的走势,在2014—2015年暴跌后却逐年增强,其中素有“有色金属王国”之称的滇中城市群由于传统的资源开采方式,高污染、高能耗、高排放,且囿于经济基

础薄弱和资源要素匮乏，一定程度上导致系统在应对压力因素时易出现疲软甚至懈怠的问题。

所幸的是，得益于双引擎驱动与严苛的环境准入条件，滇中城市群着力加强稀贵金属新材料产业核心技术攻关，进而在单位 GDP 能耗以及固体废弃物利用率、烟粉尘排放达标率等方面蹄疾步稳。状态（S）子系统是城市群创新生态系统健康性的决定性因子，其中成渝、中游、黔中城市群的状态在缓慢下降后开始稳中向好，主要是在自然资源消耗和生态环境恶化的双重压力下，各城市群基于自身条件推动投入主体多元化与生产规模集约化，通过跨组织、跨行业拓展研发投入（ S_1 ）、共生单元（ S_2 ）等的深度与广度。特别是随着成渝城市群压力的逐步缓解，加之基础设施、民生改善和高质量发展需求，状态子系统开始向价值创造制高点跨越。影响（I）子系统发展趋势与状态子系统大体一致，尤其是长三角、中游城市群在良好的状态子系统作用下为影响子系统保驾护航，滇中城市群虽面临介入新领域“水土不服”的窘境，但在吸纳变革、协同共生和匹配互动中积极促进影响指数有序提升。响应（R）和管理（M）子系统虽相较于其他 4 个子系统起点较低，但发展较为迅猛且呈递增趋势，反映长江经济带城市群针对实际剖析背后的直接和深层次诱因，采取主动积极的应对措施且效果良好。需要指出的是，随着长江经济带环境规制和政策法规逐步完善，响应和管理子系统势必成为倒逼城市群创新生态系统产业转型升级和迭代优化的两大利器。

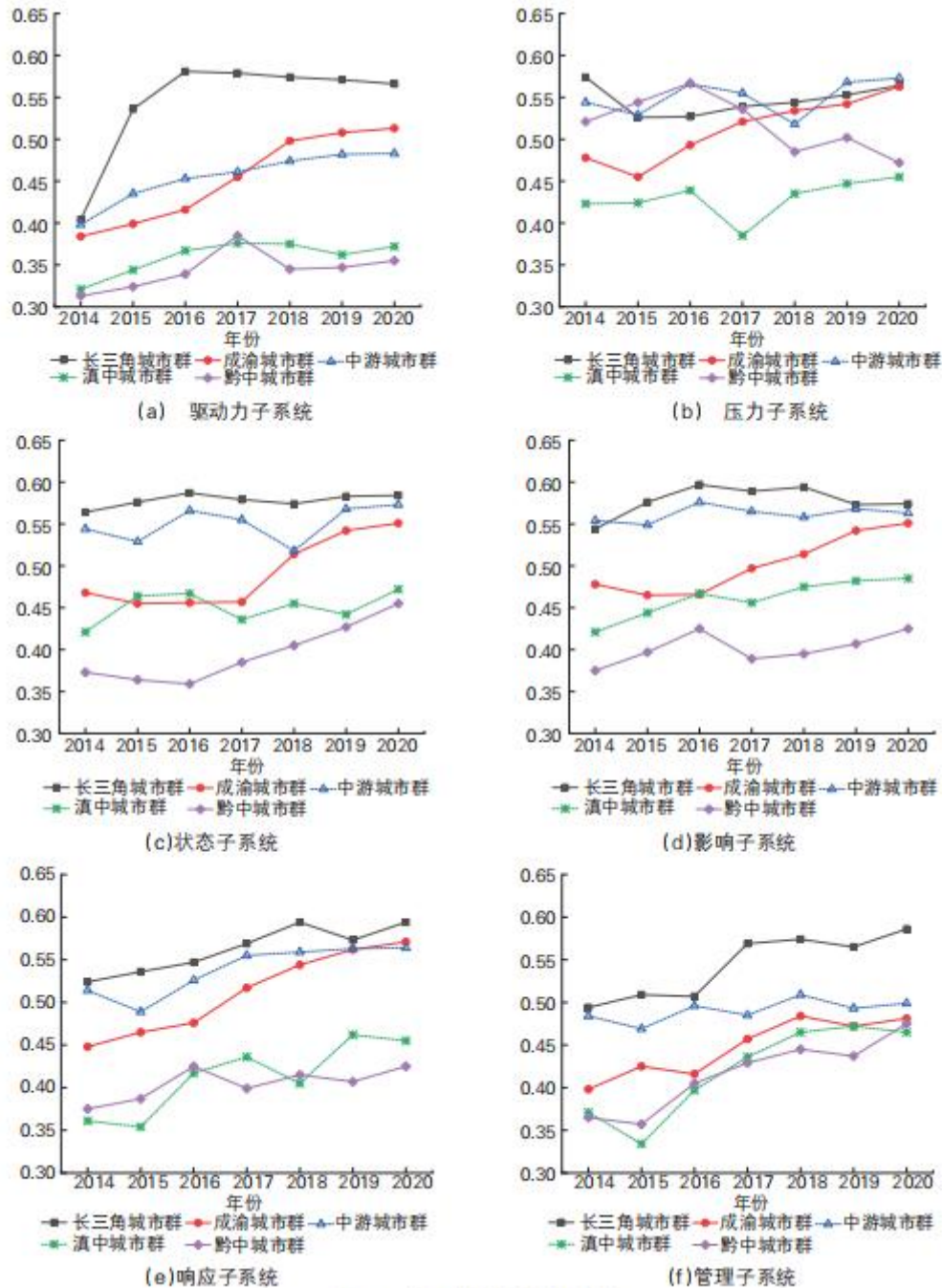


图4 6个子系统健康性发展趋势

另外，同属于国家级城市群，长三角城市群创新生态系统健康性优于中游和成渝城市群的原因在于：长三角侧重全方位协调发展，其在驱动力、状态、影响、响应、管理子系统的评估值均居于首位。紧随其后的中游城市群尽管在状态、影响、响应、管理方面风头正劲，但在2017年及以后驱动力发展略逊于成渝城市群，使得中游城市群创新生态系统健康性不尽人意，这意味着对任何一个子系统的忽视都会阻碍创新生态系统健康性的提升；作为中西部地区的首位城市群，成渝城市群除压力指数在0.55上下波动外，其余子系统值均在不断学习、吸纳和变革中迅速崛起，由此在创新生态系统良性进化中“一枝独秀”；反观滇中城市群，虽然其驱动力、状态、影响子系统较之黔中城市群优势显著，但压力和响应子系统发展较为滞后，与其他城市群相比，滇中城市群和黔中城市群的健康性排名在考察期全部处于末位。具体而言，与以往常规、短期且倾向性较强的“短板管理”不同，城市群创新生态系统健康性要求DPSIRM的6个维度构成一个整体循环，共同促进创新资源的开放共享和创新要素的统筹协调，其任意一环的缺失或滞后亦将扰动整个

创新生态系统健康性。因此，城市群在制定针对性创新生态策略和实践活动时，应重视短板指标的制约情况，在以点带面、良性循环中激发创新生态系统健康性持续提升。

六、结论与启示

（一）结论

本文针对城市群创新生态系统健康性协同参与、因果联结及均衡协调的特点，提出一种以 DPSIRM 框架为指导、以 HF-EDAS 方法为核心的综合评价体系，全景式阐释创新生态系统要素间的相互作用和因果关系，其理论意义与应用价值在于：第一，城市群创新生态系统健康性评价是高新技术产业、区域创新生态系统评价的延续与深化。

本文以 DPSIRM 概念框架为蓝本，构建了一套全面包含 6 类子系统的评价指标体系，从创新生态系统健康性的直观表象（S）及可能造成的影响（I）追溯其潜在（D）和直接起因（P），乃至采取标本兼治的应对措施（R）和协调管理（M）全面考虑，从而由表及里透析前因后果刻画城市群创新生态系统与经济社会、生态环境、人类行为之间的相互连接的本质。

第二，在综合研究并提出 HF 优势度、HF 劣势度、HF 三角熵后，提出了一种优势度在固定区间、计算简便且具有激励引导功能的 HF-EDAS 方法，从而有效解决专家意见共识难以达成、优势项值域不固定和劣势度简单线性叠加的问题。因此，本文所提出的方法不仅丰富了创新生态系统健康性评价方法体系框架，还拓宽了 HFS 理论的应用范畴。

第三，以长江经济带城市群为样本，应用所构建模型对 2014—2020 年长江经济带城市群创新生态系统健康性进行案例实证，挖掘并探析了其背后蕴含的规律和特征，发现所得结果与现实情况大体相符，不仅侧面验证了该评价框架的可靠性和实用性，亦为其他城市及城市群政策制定和调整提供理论依据与实践指导。

（二）启示

基于实证结果，长江经济带城市群创新生态系统健康性虽整体发展态势良好，发展差距大的问题有所缓解，但仍有很大的提升空间。为聚焦聚力推动区域经济一体化联动发展，城市群应基于自身区位优势，从协同发展理念出发，采取因地制宜的创新生态系统健康性提升策略，打造“上中下游优势互补、东中西部互联互动”新格局，具体包括：

首先，增强龙头区辐射带动力。作为创新生态系统健康性占据绝对优势的城市群，长三角应夯实科技创新基础，充分发挥核心区域先行示范与辐射带动作用，加强同周边城市群联系，形成互惠互利、共建共享的创新网络，疏解核心区的非核心功能，打造良好的资金、技术、创新、人才等自由流动生态。同时，还要尽快建立统一立法标准和创新协调管理平台防止污染跨区域迁移，加强区域之间的功能互补和分工协作，在资源消耗、污染治理、产业配套等领域开展联合攻关。

其次，推动次级区错位发展。处于相对中心位置的中游、成渝城市群应主动识别和认知生态位扩充与错位，在避免生态位重叠造成恶性竞争、迭代优化创新生态系统的同时，探索差异化发展路径。具体而言，成渝城市群应倡导钢铁、机械、化工、建材等传统工业绿色化高端化智能化发展，聚焦生态环保、绿色经济、资源循环的集群式创新生态系统。中游城市群则应承接产业梯度转移优势，不仅要善于利用长三角城

市群知识创新溢出的连锁效应，还要与健康性较低城市群开展深度合作，在经济发展、环境质量、市场活力等维度厚植“承上启下、互联互通”土壤，扎实推动科技创新要素“引进来”和高端优质企业“走出去”同步发力。

再次，发挥后发地区特色优势。滇中、黔中等城市群应立足自身资源禀赋、环境条件和功能定位，出台后发地区特色优惠政策，增强科技资金、人才培育、基础设施等投入力度，搭建滇中、黔中城市群与龙头城市群之间的交流合作平台，以资源要素充分聚集展示长江经济带开放合作、共生共赢的新气象。需要注意的是，后发城市群在围绕资源最优配置与效益共享时，既要学习借鉴又要避免盲目照搬，在构筑西南生态安全屏障中培育和打造依靠优势资源、紧扣地域特色、焕发生机活力的创新生态系统。

最后，统筹 DPSIRM 子系统协调发展。在城市群创新生态系统健康性提升过程中，既要提高诸如资产报酬率、空气质量优良率、人均可支配收入等驱动力要素，促进创新成果转化，也要控制单位 GDP 能耗、固体废弃物利用率、烟粉尘排放达标率等压力要素，关注城市群自然生态，以避免“盲人摸象”的片面性和局限性。同时，当创新生态系统健康性停滞不前时，还需明晰“症状”背后的深层次诱因及可能造成的后果，从而采取标本兼治的应对措施，兼顾 6 个子系统发展步伐，为有效破解创新生态系统健康性发展不平衡不充分难题，发挥“1+1>2”的协同效应打造强劲纽带。

参考文献:

[1] DE MEDEIROS J F, RIBEIRO J L D, CORTIMIGLIA MN. Success Factors for Environmentally Sustainable Product Innovation: A Systematic Literature Review[J]. Journal of Cleaner Production, 2014, 65 (2): 76-86.

[2] TEATTLER H, WATZKE H J, SAGUY I S. Reinventing R&D in an Open Innovation Ecosystem [J]. Journal of Food Science, 2011, 76 (2): 62-68.

[3] DE VASCONCELOS G L A, FACIN A L F, SALERNO MS, et al. Unpacking the Innovation Ecosystem Construct: Evolution, Gaps and Trends [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2018, 136 (11): 30-48.

[4] 宋华, 陈思洁. 高新技术产业如何打造健康的创新生态系统: 基于核心能力的观点 [J]. 管理评论, 2021, 33 (6): 76-84.

[5] 姚艳虹, 高晗, 咎傲. 创新生态系统健康度评价指标体系及应用研究 [J]. 科学学研究, 2019, 37 (10): 1892-1901.

[6] 范德成, 谷晓梅. 高技术产业技术创新生态系统健康性评价及关键影响因素分析——基于改进熵值-DEMATEL-ISM 组合方法的实证研究 [J]. 运筹与管理, 2021, 30 (7): 167-174.

[7] 李福, 曾国屏. 创新生态系统的健康内涵及其评估分析 [J]. 软科学, 2015, 29 (9): 1-4.

[8] 张贵, 程林林, 郎玮. 基于突变算法的高技术产业创新生态系统健康性实证研究 [J]. 科技管理研究, 2018, 38 (3): 19-24.

- [9] 张妮, 赵晓冬. 区域创新生态系统可持续运行建设路径研究 [J]. 科技进步与对策, 2022, 39 (6): 51-61.
- [10] 吕晓静, 刘霁晴, 张恩泽. 京津冀创新生态系统活力评价及障碍因素识别 [J]. 中国科技论坛, 2021 (9): 93-103.
- [11] 国务院发展研究中心课题组. 充分发挥“超大规模性”优势推动我国经济实现从“超大”到“超强”的转变 [J]. 管理世界, 2020, 36 (1): 1-7.
- [12] YAN Q, HOU R Y, LOU J. Simulation Research on Innovation Ecosystem Performance of Urban Agglomeration in the Middle Reaches of the Yangtze River [J]. Journal of Testing and Evaluation, 2021, 49 (4): 2226-2243.
- [13] 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.
- [14] GARI S R, NEWTON A, ICELY J D. A Review of the Application and Evolution of the DPSIR Framework with an Emphasis on Coastal Social-ecological Systems [J]. Ocean & Coastal Management, 2015, 103 (1): 63-77.
- [15] ZHANG F, ZHANG J Q, WU R N, et al. Ecosystem Health Assessment Based on DPSIRM Framework and Health Distance Model in Nansi Lake, China [J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2016, 30 (4): 1235-1247.
- [16] WANG Q, ZHAN L N. Assessing the Sustainability of the Shale Gas Industry by Combining DPSIRM Model and RAGA-PP Techniques: An Empirical Analysis of Sichuan and Chongqing, China [J]. Energy, 2019, 176 (3): 353-364.
- [17] KESHAVARZ G M, ZAVADSKAS E K, OLFAT L, et al. Multi-criteria Inventory Classification Using a New Method of Evaluation Based on Distance from Average Solution (EDAS) [J]. Informatica, 2015, 26 (3): 435-451.
- [18] 彭定洪, 张文华. 智慧无废城市评选的序贯式群决策 EDAS 法 [J]. 系统科学与数学, 2021, 41 (3): 688-704.
- [19] IANSITI M, LEVIEN R. Strategy as Ecology [J]. Harvard Business Review, 2004, 82 (3): 68-78, 126.
- [20] LI Y R. The Technological Road map of Cisco's Business Ecosystem [J]. Technovation, 2009, 29 (5): 379-386.
- [21] 吴金希. 创新生态体系的内涵、特征及其政策含义 [J]. 科学学研究, 2014, 32 (1): 44-51.
- [22] 顾桂芳, 胡恩华. 企业创新生态系统多阶段健康度评价研究 [J]. 中国科技论坛, 2020 (7): 120-131.

[23] 陈万旭, 赵雪莲, 钟明星, 等. 长江中游城市群生态系统健康时空演变特征分析 [J]. 生态学报, 2022, 42 (1): 138-149.

[24] 吴艳霞, 李芳菲, 陈步宇. 长江经济带区域创新生态系统安全性评估研究 [J]. 华东经济管理, 2021, 35 (9): 39-48.

[25] 张月琪, 张志, 江鑑倩, 等. 城市红树林生态系统健康评价与管理对策——以粤港澳大湾区为例 [J]. 中国环境科学, 2022, 42 (5): 2352-2369.

[26] 柯江林, 孙健敏, 石金涛, 等. 企业 R&D 团队之社会资本与团队效能关系的实证研究——以知识分享与知识整合为中介变量 [J]. 管理世界, 2007 (3): 89-101.

[27] TORRA V. Hesitant Fuzzy Sets [J]. International Journal of Intelligent Systems, 2010, 25 (6): 529-539.

[28] 廖志高, 詹敏, 徐玖平. 非线性无量纲化插值分类的一种新方法 [J]. 统计与决策, 2015 (19): 72-76.