

产业合作复杂网络结构演化与资源配置研究： 来自中国人工智能企业大数据的实证分析

崔圣君¹, 武装¹, 于丽娜²

(1. 首都经济贸易大学管理工程学院, 北京 100070;

2. 深圳技术大学城市交通与物流学院, 广东 深圳 518118)

摘要: 复杂经济和网络经济范式下, 将复杂网络分析法和产业链知识图谱技术应用于产业组织方法创新, 构建多维产业合作复杂网络; 创新提出产业合作指数、产业网络结构集中度、产业合作垄断指数、产业组织复杂性指数等指标。应用二阶段回归模型 (IV2SLS), 实证分析企业网络中心性、市场地位、集聚系数与市场绩效的相关性。

关键词: 复杂经济; 产业合作复杂网络; 产业链知识图谱; 人工智能

中图分类号: F49, F01

文献标识码: A

文章编号: 1005-0566(2025)01-0193-15

Research on the evolution of industrial collaboration complex network structure and resource allocation: Empirical analysis from big data of Chinese artificial intelligence enterprises

CUI Shengjun¹, WU Zhuang¹, YU Lina²

(1. College of Management Engineering, Capital University of Economics and Business, Beijing 100070, China;

2. College of Urban Transportation and Logistic, Shenzhen Technology University, Shenzhen 518118, China)

Abstract: Under the paradigms of complex economy and network economy, this paper applies complex network analysis methods and industrial chain knowledge graph technology to the innovation of industrial organization, constructing multi dimensional complex networks of industrial cooperation. We propose indicators such as the industrial cooperation index, the concentration degree of industrial network structure, the industrial cooperation monopoly index, and the complexity index of industrial organization. Employing the two-stage regression model (IV2SLS), and empirically analyse the correlations between the centrality of enterprise networks, market positions, agglomeration coefficients and market performances.

Key words: complex economy; complex network of industrial cooperation; Industrial chain knowledge graph; artificial intelligence

收稿日期: 2024-10-24 修回日期: 2025-01-09

作者简介: 崔圣君 (1989—), 女, 山西榆次人, 高级工程师、中级经济师、博士生, 研究方向为产业复杂经济与网络、产业链知识图谱、产业创新管理。通信作者: 武装。

数字经济时代,产业组织关系逐步由竞争对抗演变为竞合分享,重构为虚拟产业集群、数字生态系统、新兴网络社群,这意味着我们要用新范式和新方法诠释经济系统运行。将“高阶”复杂经济系统降维至“二维”,不难发现企业间博弈互动不再是孤立“原子化”个体行为,镶嵌于微观经济关系网络中。经典产业组织范式旨在揭示微观企业间竞争关系,研究市场博弈行为和市场竞争程度,对数字经济时代企业间合作分享关系的理论研究和数量实证分析相对不足。相较之下,本文遵循布莱恩^[1]复杂经济、姜奇平^[2]和 Goyal^[3]网络经济研究范式,将经济体抽象为“点、边”构成的经济复杂网络(“点”代表微观个体、生产者、消费者;“边”代表组织关系,如竞争、合作、约束、赋能)。重点探究两个核心问题:①人工智能产业合作复杂网络演化规律;②企业网络中心性与市场绩效的相关性。引申回答一个重要问题:微观经济网络结构是否对市场资源配置和企业垄断产生影响。本文边际贡献在于:提出产业合作复杂网络研究新范式;创新性提出产业合作指数、产业网络结构集中度、产业合作垄断指数、产业组织网络复杂性指数;揭示了数字经济合作垄断现象的产生机理。这对于我国推动人工智能产业健康有序发展,制定产业组织培育政策具有重要意义;为政府部门识别垄断集团和垄断行为,完善垄断组织认定标准,提供充分理论依据;为我国全面深化经济体制改革,促进经济资源配置的效率与公平,提供“微观结构主义”思想启迪和解决思路。

一、网络演化

(一)网络构建

1. 数据选取

本文利用 NLP(自然语言处理)抽取涵盖 215

个行业概念实体和 3 580 个关键词的人工智能产业链知识图谱。从国家企业信用信息公示系统、国家知识产权局专利检索分析系统、全国招标投标信息查询平台等互联网公开数据,爬取匹配到全国 172 850 家人工智能企业多维异构数据,经数据清洗融合,生成产业合作复杂网络。其中,32 540 家企业员工数量、注册资本等维度严重缺失,删除冗余脏样本,剔除基金、营销、租赁、批发等非关联企业,最终选取建国以来的 140 310 家有效企业用于回归分析。

2. 网络生成

企业合作包括交易、契约、资本、资源、社会、创新等复杂联结。本文用联合招投标表示交易和契约联结,用股权关系表示资本、社会和资源联结,用共同申请专利、软件作品著作权、技术标准代表创新联结。

资本联结网络 *cap_net*。此网络为双向赋权网络,涵盖 5 种股权关系。①一级直接投资。企业 A 持有企业 B 股权;关系强度为持股比例 a_1^* 。②直接共同投资。A 和 B 共同持有 C 股权比例为 a_{21} 和 a_{22} ;关系强度为 a_2^* ($a_2^* = \sqrt{a_{21}a_{22}}$)。③单链间接共同投资。A 对 C 持股比例 a_{31} ;B 对 D 持股比例 a_{32} ,D 对 C 持股比例 a_{33} ,关系强度为 $a_3^* = \sqrt{a_{31}a_{32}a_{33}}$ 。④双链间接共同投资。A 和 B 都间接持股 C,关系强度为 a_4^* ($a_4^* = \sqrt{a_{41}a_{42}a_{43}a_{44}}$, a_{41} 为 A 对 E 持股比例, a_{42} 为 E 对 C 持股比例, a_{43} 为 B 对 D 持股比例, a_{44} 代表 D 对 C 持股比例)。⑤共同被投资。A 和 B 被共同股东 D 投资, D 持有 A 和 B 股权比例为 a_{51} 和 a_{52} ,关系强度为 a_5^* ($a_5^* = \sqrt{a_{51}a_{52}}$)。资本联结总强度定义为 $a^* = 0.3a_1^* + 0.2a_2^* + 0.2a_3^* + 0.2a_4^* + 0.1a_5^*$ 。

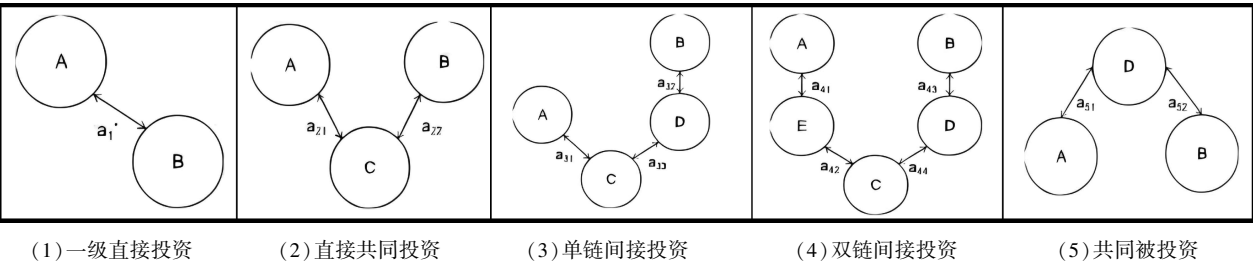


图 1 资本联结网络股权合作类型

创新联结网络 *inno_net*。①共同持有专利。A 和 B 共同持有授权发明专利、实用新型、外观设计数为 b_1 , 采用最大-最小值法实现归一化处理, 关系强度为 b_1^* (以下同)。②共同申请著作权。软件著作权是衡量信息企业创新能力的关键指标, 作品著作权是评价数字文娱企业创造力的重要依据。A 和 B 共同申请著作权数量 b_2 , 关系强度归一化为 b_2^* 。③共同制定标准。技术标准代表产业发展质量和技术水平, A 和 B 共同制定标准数 b_3 , 关系强度归一化为 b_3^* 。创新联结总强度为 $b^* = 0.45b_1^* + 0.3b_2^* + 0.25b_3^*$ 。

交易联结网络 *bid_net*。企业 A 和企业 B 联合

投标或共同招标数量为 c , 归一化为 c^* 。用招投标数据代表企业交易合作具有局限性, 未来将考虑用电子商务平台实际交易信息构建网络。

产业合作复杂网络 *complex_net*。由资本联结网络 *cap_net*、创新联结网络 *inno_net*、交易联结网络 *bid_net* 组成的复合双向赋权网络。本研究通过德尔菲法并广泛征求专家意见, 确定企业合作强度为 $r_{complex}^* = 0.4a^* + 0.3b^* + 0.3c^*$ 。

(二) 网络测度

1. 经济网络的基础指标

基础指标能够间接衡量网络或单个企业合作广度和深度、合作频繁度、紧密度和依存度。

表 1 产业复杂网络基础统计指标

统计指标	指标测量	经济学释义
节点总数 N	$N = \sum_{i=1}^n n_i$, n_i 代表第 i 家企业	网络内企业总数, 反映产业总体规模
边总数 M	$M = \sum_{i=1}^n m_i$, m_i 代表第 i 条边	网络内企业关系(边)总数, 反映产业合作规模
节点度 k_i	$k_i = \sum_{j \in N_i} w_{ij}$, w_{ij} 为节点 v_i 和 v_j 权重	单个企业合作广度(合作规模)和深度(合作强度)
平均度 $\langle k \rangle$	$\langle k \rangle = \sum_{i=1}^N k_i / N$, k_i 代表节点度	网络整体合作广度(合作规模)和深度(合作强度)
平均路径 L	$L = \frac{1}{C_N^2} \sum_{1 \leq i \leq j \leq N} d_{ij}$, d_{ij} 为节点 v_i 和 v_j 距离	任意两家企业距离平均值, 反映产业合作紧密程度
网络密度 D	$D = \frac{2M}{N(N-1)}$; M 边总数, N 节点数	网络内企业实际关系总数占可能边数比重, 是衡量产业合作频繁度重要指标之一
集聚系数 C_i	$C_i = \frac{E_i}{C_i^2}$, E_i 代表与 i 相连三角形数; k 代表与 i 相连的三元组数量	衡量该企业的合作伙伴彼此之间相互连接合作的依存程度, 反映企业合作的群体性
传递性 T	$T = \frac{1}{3} \frac{E}{C}$, E 代表网络中三角形数, C 代表网络中全部联通三元组数量	也称全局集聚系数, 表征产业合作集聚度和网络整体合作紧密度
同配系数 P	$P = \frac{M^{-1} \sum_{e_{ij} \in E} k_i k_j - \left[M^{-1} \sum_{e_{ij} \in E} \frac{1}{2} (k_i + k_j) \right]^2}{M^{-1} \sum_{e_{ij} \in E} \frac{1}{2} (k_i^2 + k_j^2) - \left[M^{-1} \sum_{e_{ij} \in E} \frac{1}{2} (k_i + k_j) \right]^2}$	$P > 0$, 度值大的节点倾向于与度值大的节点连接; $P < 0$, 度值大的节点倾向于与度值小的节点连接;
玻尔兹曼吉布斯结构熵 E	$E = - \sum_{i=1}^n I_i \cdot \ln I_i$, $I_i = k_i / \sum_{j=1}^N k_j$	表征网络分散和有序程度; 当网络为正则网络时, $E_{\max} = \ln N$; 当网络为星形网络时, $E_{\min} = \ln(4(N-1))/2$ 。
富人俱乐部 $W(r)$	$W(r) = \frac{L}{C_r^2} = \frac{2L}{r(r-1)}$, L 代表网络前 r 个度最大节点实际存在边数	富人聚类指数, 网络中头部企业互相合作, 彼此建立合作联盟利益共同体的程度
度中心性 k_c	$C_D(v_i) = k_i / (N-1)$	节点与其直接相连的邻居节点当中的中心性
介数中心性 b_i	$C_B(v_i) = 2B_i / [(N-1)(N-2)]$	节点出现在其他节点之间最短路径上的频率
近邻中心性 c_i	$C_C(v_i) = (N-1) / \sum_{j=1, j \neq i}^N d_{ij}$	节点到其他节点的平均最短路径长度

2. 产业合作指数

基础指标能够间接反映网络合作程度, 却不能表征产业总体合作水平。本文提出产业合作指数 industrial cooperation index (INCI)。其中, N 代

表企业总数, S 代表有合作企业总数, M 代表边总数, $\sum_{i=1}^M \text{link} Q_i$ 代表网络合作总强度, C_i 代表每家企业的集聚度, 见式(1)。

$$INCI = \frac{S}{N} \times \left| \frac{1}{\log(M/C_s^2)} \right| \times \frac{\sum_{i=1}^M \text{link} Q_i}{M} \times \frac{\sum_{i=1}^N C_i}{N} \quad (1)$$

→ 网络集聚度
 → 网络强度
 → 网络密度
 → 合作规模

INCI 指数全面表征出网络中企业合作规模、合作频繁度、合作紧密度、合作依存度。企业合作规模,产业内全部企业中有合作行为的企业数所占相对比重;合作频繁度(网络密度),合作企业间实际联结数占最大可能联结比重;企业紧密度(网络强度),企业间联结总强度占合作边数比重;合作集聚度,网络中企业平均合作集聚度。

3. 产业网络结构集中度

本文提出 3 种测算方法:①网络结构熵 E 。借鉴赫芬达尔—赫希曼指数(HHI),网络结构熵 $E \in \{\ln(4(N-1))/2, \ln N\}$,网络分散度越高,节点的度大致相同,结构熵就越大;②产业合作结构集中度 Industrial cooperation structure concentration (ICSC)。度分布排名前 $r\%$ 企业与该网络内总度数的比值 $ICSC(r\%) = \sum_{i=1}^{r\%} k_i / \sum_{i=1}^N k_i$;③产业合作垄断指数 Industrial cooperation monopoly index (ICMI)。度排名前 n 企业的实际边数占全网实际边数比重 ρ 与富豪俱乐部系数乘积开对数的倒数,代表头部企业结成利益联盟,形成合作垄断集团的程度。ICMI 越大,产业合作垄断程度越高。

$$ICMI(n) = \left| 1 / \ln \left(\frac{\sum_{i=1}^n l_i}{\sum_{i=1}^N l_i} \times (W(n) + \beta) \right) \right| \quad (2)$$

注: β 代表调节参数,本文设置为 0.001。

4. 复杂性指数

经济复杂性指数是衡量经济投入产出和收入分配的指标,被多个地理尺度及经济活动(产品、行业、职业、专利)证实^[4]。ECI (economic complexity

index)利用 SVD 降维技术测量地区间产品、技术异质性和多样性^[5]。ECI 更适用于度量中宏观经济商品网络复杂性,不适用于测量微观产业组织复杂性。本文改进 Tsallis 结构熵^[6-7],提出面向微观经济网络的复杂性指数 IECI(industrial economic complexity index),表征产业内企业复杂关系。

$$S_q = k \sum_{i=1}^N \frac{p_i^{q_i} - p_i}{1 - q_i} \quad (3)$$

式(3)中, $p_i = k_i / \sum_{j=1}^N k_j$, $q_i = 1 + (b_{\max} - b_i)$, $q_i = b_i / \sum_{j=1}^N b_j$, $b_{\max} = \max[b_i, (i = 1, 2, 3, \dots, N)]$; $k = 1$, k_i 代表每个节点的度, b_i 代表每个节点的介数中心性。

S_q 指数体现物理系统的复杂度,经济学视角下复杂性至少包括 2 个方面:①微观主体间是否蕴含复杂经济合作关系;②经济关系是否为无序复杂的。 S_q 表征②,产业合作指数 INCI 表征①。将 INCI 和 S_q 相乘,得到产业合作网络复杂性指数 IECI。

$$IECI = INCI \times S_q \quad (4)$$

(三) 网络演化

1. 时间分区

本文时间切片为 1949—2000 年、2001—2014 年、2015—2018 年、2019—2024 年 4 个窗口期,利用 Python networkx 的 spring_layout 模式生成产业复杂网络。划分依据:①国内来看,2014 年、2018 年是我国人工智能融资高峰期(见图 2);②国际来看,2014 年和 2018 年是世界人工智能产业的关键里程碑,2014 年聊天程序“尤金·古斯特曼”通过图灵测试,2018 年 Transformer 和 Bert 等深度学习框架进入商业化应用阶段。考虑到中国社会强关系粘性和社会资本持续累积效应,本文将有效期设定为合作建立之时至企业注销或吊销。

2. 演化态势

通过对产业合作复杂网络基础指标、合作指数、网络集中度、复杂性指数测度,绘制四个阶段下复杂网络演化图(见图 3),总结出我国人工智能产业合作演化规律。

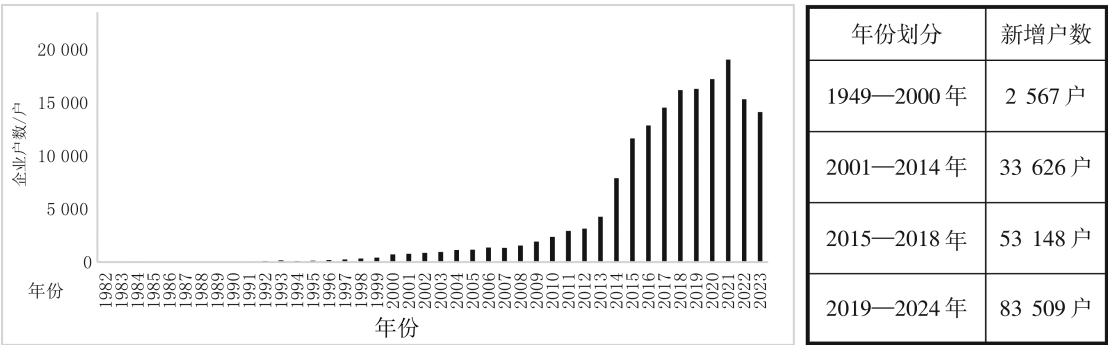


图2 1966—2022 年中国人工智能企业个数统计

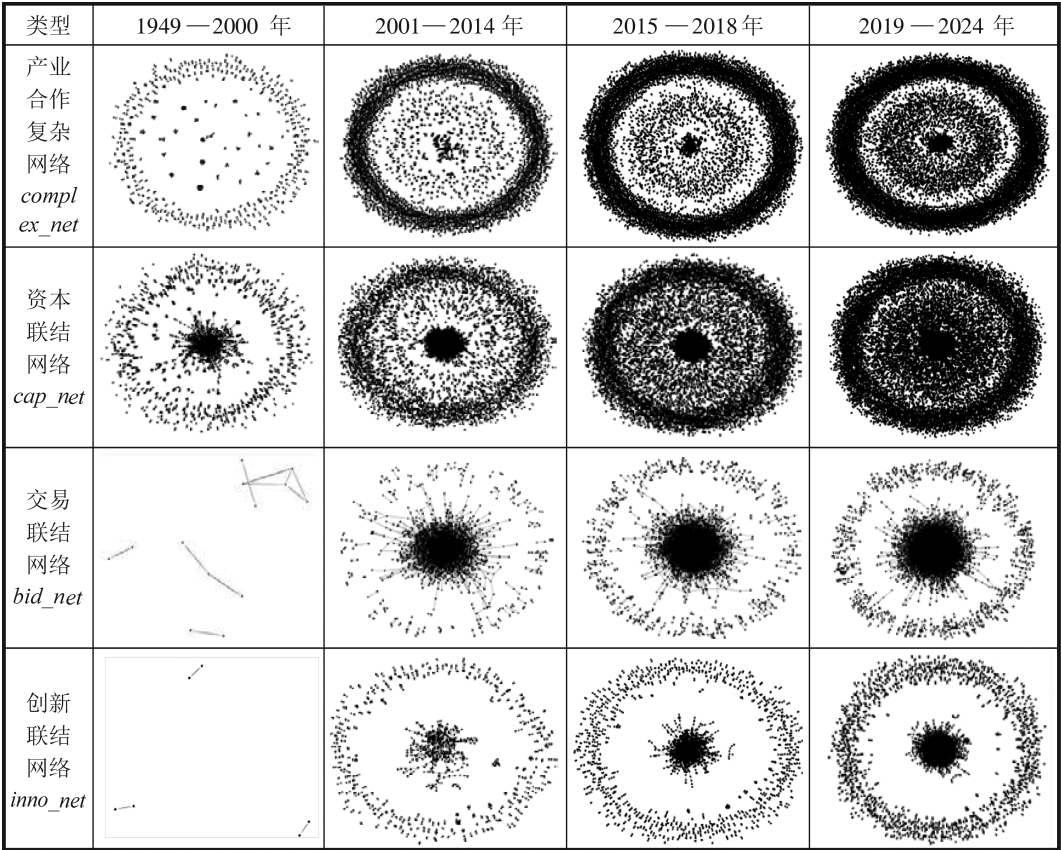


图3 产业合作复杂网络演化

注:复杂网络中的每个节点都代表一家企业。

(1)产业合作水平先降后升。表2显示,2000年以前我国人工智能产业以大企业联盟合作为主,相对合作规模和网络密度偏高,合作指数 INCI 维持在高位;2000—2018 年,中小型创业企业涌现,形成数字商业生态系统,但集群化、生态化发育度较低,企业协同互补性较弱,人工智能场景开放不足,企业竞争激烈各自为战,制约了产业合作水平提高。2019—2024 年,生成式人工智能跨越式发展,数字业态和实体经济深度融合,企业合作

突破“小圈子”桎梏藩篱,走向跨界融合和价值共创,合作指数 INCI 正向循环且回升向好。

(2)产业去中心化结构初现,合作垄断程度却明显加深。表2显示,产业合作复杂网络、资本联结网络、交易联结网络、创新联结网络结构熵 E 均保持增长,表明人工智能产业从有序中心化演变为无序去中心化,网络结构分散度逐年攀升;但度排名前 5%、10%、20% 的头部企业依然占据交易和创新合作的垄断地位。深层次来看,产业合作

表 2 产业复杂网络四个阶段指标统计表

网络类型	测度指标	1949—2000 年	2001—2014 年	2015—2018 年	2019—2024 年
产业合作复杂网络 <i>complex_net</i>	节点总数 N (个)	6 879	48 533	104 663	172 850
	有效合作节点数 S (个)	6 616	39 055	77 911	119 952
	边总数 M (条)	13 884	151 517	372 347	680 920
	平均度 $\langle k \rangle$	4. 197 098	6. 464 725	7. 222 676	7. 878 739
	网络密度 D	0. 000 634	0. 000 138	0. 000 07	0. 000 046
	平均集聚系数 C	0. 299 622	0. 325 599	0. 361 165	0. 396 904
	传递性 T	0. 392 501	0. 443 694	0. 384 358	0. 365 385
	同配系数 P	0. 026 284	0. 420 495	0. 284 601	0. 171 675
	富人俱乐部 $W(10)$	1	0	0	0. 765 109
	合作强度 Q	0. 026 938	0. 025 960	0. 028 303	0. 032 622
	合作指数 $INCI$	0. 002 428	0. 001 837	0. 001 946	0. 002 233
	网络结构熵 E	7. 634 288	9. 592 874	10. 336 489	10. 709 067
	结构集中度 $R5\%$	0. 462 188	0. 400 719	0. 390 951	0. 409 749
	结构集中度 $R10\%$	0. 611 294	0. 542 622	0. 525 290	0. 541 357
	结构集中度 $R20\%$	0. 762 936	0. 706 070	0. 683 340	0. 693 394
	合作垄断指数 $S(10)$	0. 294 622	0. 087 452	0. 084 656	0. 189 469
	$Tsallis$ 结构熵 S_q	6 043. 67	33 359. 53	71 462. 91	106 347. 80
	复杂性指数 $IECI$	14. 674 040	61. 281 447	139. 066 818	237. 474 644
资本联结网络 <i>cap_net</i>	节点总数 N (个)	6 616	46 875	103 105	172 850
	有效合作节点数 S (个)	6 518	38 249	75 361	115 217
	边总数 M (条)	14 280	141 973	351 944	588 152
	平均度 $\langle k \rangle$	4. 151 766	5. 850 576	6. 725 28	6. 805 346
	网络密度 D	0. 000 604	0. 000 121	0. 000 064	0. 000 039
	平均集聚系数 C	0. 304 042	0. 323 272	0. 363 110	0. 414 389
	传递性 T	0. 383 83	0. 512 497	0. 654 224	0. 723 818
	同配系数 P	0. 010 086	0. 509 163	0. 725 427	0. 762 804
	富人俱乐部 $W(10)$	0. 990 559	0. 000 000	0. 000 000	0. 837 763
	合作强度 Q	0. 066 570	0. 061 126	0. 065 082	0. 074 383
	合作指数 $INCI$	0. 006 286	0. 004 344	0. 004 421	0. 005 070
	网络结构熵 E	7. 657 718	9. 691 269	10. 376 991	10. 811 204
	结构集中度 $R5\%$	0. 461 741	0. 367 468	0. 376 361	0. 378 292
	结构集中度 $R10\%$	0. 609 750	0. 515 331	0. 511 276	0. 510 432
	结构集中度 $R20\%$	0. 760 369	0. 687 790	0. 671 135	0. 666 913
	合作垄断指数 $S(10)$	0. 293 813	0. 087 194	0. 083 533	0. 174 841
	$Tsallis$ 结构熵 S_q	6 146. 43	34 563. 25	70 912. 17	110 257. 44
	复杂性指数 $IECI$	38. 636 438	150. 142 766	313. 502 725	559. 005 202
交易联结网络 <i>bid_net</i>	节点总数 N (个)	1 149	27 475	82 684	172 850
	有效合作节点数 S (个)	13	3 244	8 503	17 463
	边总数 M (条)	10	14 359	52 719	120 999
	平均度 $\langle k \rangle$	0. 017 406	1. 045 241	1. 275 192	1. 400 046
	网络密度 D	0. 000 015	0. 000 038	0. 000 015	0. 000 008
	平均集聚系数 C	0. 002 901	0. 029 652	0. 028 334	0. 027 533
	传递性 T	0. 666 667	0. 170 768	0. 140 252	0. 114 225
	同配系数 P	0. 565 217	0. 035 406	-0. 036 05	-0. 055 66
	富人俱乐部 $W(10)$	0. 000 000	0. 831 012	0. 806 227	0. 789 517
	合作强度 Q	0. 052 632	0. 109 888	0. 115 673	0. 114 380
	合作指数 $INCI$	0. 000 002	0. 000 150	0. 000 119	0. 000 103
	网络结构熵 E	2. 458 204	6. 759 447	7. 415 666	7. 918 402
	结构集中度 $R5\%$	0. 000 000	0. 523 272	0. 594 200	0. 642 880
	结构集中度 $R10\%$	0. 150 000	0. 665 991	0. 731 824	0. 766 833
	结构集中度 $R20\%$	0. 300 000	0. 803 279	0. 852 373	0. 872 146
	合作垄断指数 $S(10)$	0. 141 437	0. 340 554	0. 300 309	0. 285 438
	$Tsallis$ 结构熵 S_q	1 148. 00	3 228. 21	1 148. 00	17 395. 25
	复杂性指数 $IECI$	0. 002 296	0. 484 231 5	0. 136612	1. 791 711

续表

网络类型	测度指标	1949—2000 年	2001—2014 年	2015—2018 年	2019—2024 年
创新联结网络 <i>inno_net</i>	节点总数 N (个)	1 595	29 564	83 555	17 850
	有效合作节点数 S (个)	6	1 145	3 478	11 722
	边总数 M (条)	3	1 089	4 586	24 616
	平均度 $\langle k \rangle$	0.003 762	0.073 671	0.109 772	0.284 825
	网络密度 D	0.000 002	0.000 002	0.000 001	0.000 002
	平均集聚系数 C	0.000 000	0.005 978	0.006 526	0.009 896
	传递性 T	0.000 000	0.188 547	0.102 358	0.072 636
	同配系数 P	0.000 000	0.096 865	0.044 006	0.008 52
	富人俱乐部 $W(10)$	0.935 480	0.964 210	0.964 957	0.935 480
	合作强度 Q	0.213 478	0.442 909	0.368 374	0.263 111
	合作指数 $INCI$	0.000 000	0.000 037	0.000 032	0.000 051
	网络结构熵 E	1.791 759	5.806 309	6.711 782	7.708 748
	结构集中度 $RS\%$	0.000 000	0.473 207	0.540 448	0.583 009
	结构集中度 $R10\%$	0.000 000	0.638 209	0.675 619	0.716 318
	结构集中度 $R20\%$	0.166 667	0.799 271	0.811 655	0.837 131
	合作垄断指数 $S(10)$	0.404 274	0.384 344	0.341 769	0.312 249
	$Tsallis$ 结构熵 S_q	1 594.00	1 143.93	3 474.86	11 676.91
	复杂性指数 $IECI$	0.000 000	0.042 325	0.111 196	0.595 522

注:除 N 、 S 、 M 外,其他指标均无单位,最多保留后六位小数。

垄断指数 $ICMI(10)$ 连续增长表明:排名前 10 的企业拥有更广泛的合作网络和“富人圈子”,且“圈子”内部合作愈发紧密,寡头垄断集团化程度日益加深。

(3) 产业合作网络复杂性逐年递增。图 3 和表 2 中复杂性指数 $IECI$ 都表明:早期结构简单的产业网络正变得愈发错综复杂。产业合作网络和资本网络正由“孤立多点”的离散式布局演化为“强核心—多聚点—泛圈层”的强耦合复杂性结构。同时,观测到交易网络、创新网络的跨圈层合作较少,核心区企业合作关系较密切,与外部圈层的交流合作较少,而在资本网络中,跨圈层的合作联结更为频繁,所以 $IECI$ 指数明显高于前两种网络。

3. 度分布测定

度分布 $p(k)$ 表示网络度为 k 的节点在整个网络中出现概率。本文在 1949—2000 年采用正常坐标系,2001—2024 年的 3 个阶段中采用双对数坐标系。研究发现:1949—2000 年的产业合作复杂网络和资本网络 $p(k)$ 遵循泊松分布,呈现为 ER 随机网络特性,交易网络、创新网络 $p(k)$ 遵循负线性分布;2001—2024 年,任何类型网络都遵循幂律分布,呈现显著 BA 无标度网络特性。具体来看, $\log(p(k)) = \alpha \log(k) + \beta$, 回归曲线斜率 α 绝对值越大, $p(k)$ 下降越快,复杂网络的幂律特性越突出,贫富分化的马太效应越显著。从图 4 中可知,产业合作网络、交易网络、创新网络的斜率绝对值减少,说明网络集中度下降,这个结论和 2 中结论变化基本一致。

二、网络资源配置

中间性组织是除市场、企业和政府之外经济资源配置的“第四只手”,经济关系网络是网络组织基于图论的复杂网络表达。产业合作复杂网络是生产为主的经济网络,是生产相同或相似产品的产业合作组织,和产业组织内合作关系的集合,同样会对市场资源配置起到至关重要的作用,而企业在网络中所处的具体位置,也会对企业市场绩效产生重要影响。

(一) 假设提出

1. 网络中心性对市场绩效的影响

新经济社会学认为网络中心企业享有较大权利地位、社会威望、影响力和社会资源,具有较强的谈判议价能力,社会网络可以被视为价值递增的社会资本^[8-12]。管理学视角下,战略网络为企业降低交易成本,提供获取信息、资源、市场和技术的途径;具有学习、规模和范围经济的优势;允许企业灵活制定战略目标,如分担风险和外包价值链阶段和组织职能^[13-14]。中心企业持续积累获得经济资源,捕获市场信息和商业机会,整合市场优势力量,放大“网络—联盟”双向转移收益,达成卓越绩效^[15-16]。股权网络中领导公司中心地位使他们能够很容易地从各种外围公司调动和汇集资本^[17]。知识网络的中心企业通过开放耦合知识网络广泛吸收异质知识、凝聚创新要素,提高技术创新绩效,实现颠覆式创新和探索式创新^[18-20]。笔者通过网络博弈理论模型证实:在中心化网络中,网络中心企业获得周边伙伴努力溢出和劳动价值转移,降低自身边际成本,实现合作超额和垄断利润。

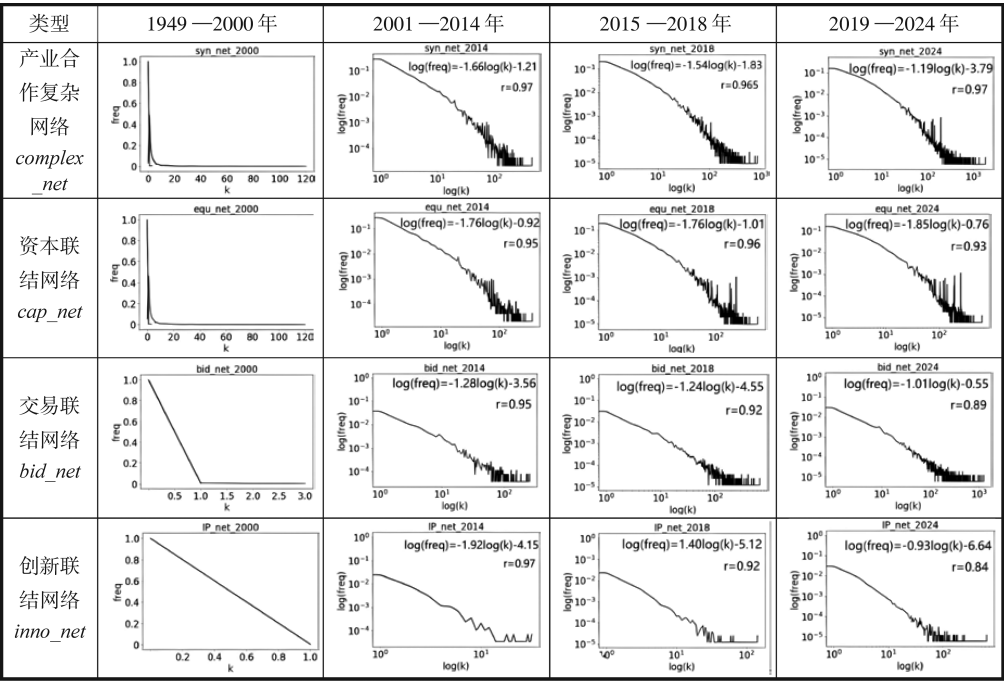


图4 4个阶段产业合作复杂网络度分布测量

注: k 为节点度, $freq$ 为 k 出现概率; $\log(k)$ 为节点度对数, $\log(freq)$ 为 k 概率的对数,无单位。

基于以上理论基础,本文提出如下假设。

假设 H1:在中心化产业合作复杂网络中,网络中心性对市场绩效具有正向促进作用。

然而,部分学者认为网络中心性与市场绩效呈“倒 U 型”。中心企业汇聚冗余同质知识,增加信息搜索甄别成本,淹没真正有效的知识;付出更多关系成本处理从外部聚集的资源,反而抑制企业创新^[21-23];企业合作中技术溢出会显著影响企业创新合作,过度合作将导致高技术溢出,降低企业创新意愿^[24]。企业间过度相互依赖不对称将会造成权力不平衡,引致合作伙伴间关系协调维护成本增长,助长公司之间不信任和缺乏承诺,危及企业联盟的绩效和稳定性^[25-26]。中心企业拥有过多合作伙伴,降低企业合作效率^[27];合作过程中利益分配不均可能会让企业感觉不公平,削弱企业积极性^[28]。笔者认为去中心化网络中,企业努力溢出将引发“群体惰性”,每家企业努力水平随合伙企业数量升高而递减,最终呈现“倒 U 型”关系。

基于以上理论基础,本文提出如下假设。

假设 H2:在去中心化产业合作复杂网络中,网络中心性与市场绩效呈倒 U 型关系。

2. 市场地位对市场绩效的影响

市场份额是企业市场地位的直接表现,市场

份额较高的企业掌握更多市场力量,控制上下游供给和需求,制定高垄断价格,实现超额垄断利润^[29-31]。企业市场地位越高,拥有较高运营效率和知识经验积累,利于降低成本,达成规模经济,同时兼具较好推销技术以实现高利润^[32-34]。较高市场地位有利于建立较高行业壁垒,限制竞争对手进入而维持较高利润^[35]。企业市场份额向供应商和客户传达“产品质量信号”,形成品牌溢出效应^[36]。

基于以上理论基础,本文提出如下假设。

假设 H3:在产业合作复杂网络中,企业市场地位对市场绩效具有正向促进作用。

3. 网络集聚性对市场绩效的影响

网络集聚性代表企业所在局部网络合作紧密度。网络集聚度越高,局部合作团体越趋于去中心化;网络集聚度越低,局部合作团体趋近于中心化。根据 1 中的结论,可推知:网络集聚性对网络中心性与市场绩效之间的相关性具有调节作用。当网络集聚性较高时,网络中心性与市场绩效呈倒 U 型;当网络集聚性较低时,网络中心性对市场绩效具有正向促进作用。企业团体紧密合作“抱团取暖”,形成局部高耦合的“小团体”,反而不利于对“圈子外”异质知识和经济资源的获取,也容易导

致企业的“群体惰性”,所以网络集聚性本身对市场绩效是有抑制作用的。本文提出如下假设。

假设 H4:产业合作复杂网络中,网络集聚性对网络中心性与市场绩效相关性具有调节作用。

假设 H5:产业合作复杂网络中,网络集聚性对市场绩效的影响具有负向抑制作用。

(二) 变量定义

1. 解释变量

网络中心性。节点度 (COMP_DEGREE)、度中心性 (COMP_DE_CENTER)、近邻中心性 (COMP_CLOSE_CENTER)、介数中心性 (COMP_BETWEEN_CENTER)。度中心性越高的企业占有越多社会和经济资本,企业在局部网络的重要程度和影响力越高;近邻中心性代表企业与网络中其他企业的关系距离,表征企业的核心地位和信息枢纽作用;介数中

心性高的企业,具有更高的连通度,体现企业的影响力和资源统筹调动能力。

市场地位指数。企业市场地位可以用市场份额、市场集中度、品牌价值回报率^[37]等指标表示,然而这些指标需要用到企业实际销售数据。由于无法获取全量人工智能企业的销售数据,本文基于企业互联网公开数据,从市场准入、规则制定、行业荣誉 3 个维度,采用 AHP 法构建市场地位综合指数 (MARKT_POSITION)。

网络集聚性:用第一章中基础指标网络集聚系数 G_i 表示为 CLUSTER。当 CLUSTER < 0.5 时,企业 i 邻接节点之间相连较少,局部子网接近于中心化的星形网络。当 CLUSTER $\geq$ 0.5 时,代表企业 i 邻接节点之间相连较多,局部子网接近于去中心化的正则网络。

表 3 市场地位指数评价维度

评价维度	评价指标	选择原因	权重/%
市场准入	企业获得行业资质数(包括国家、行业协会、商务机构放发的各行业资质许可、ISO 质量体系认证、知识产权贯标认证等)	行业资质数代表企业拥有更多的市场准入“通行证”和行业契约“背书”	30
规则制定	企业参与制定的各项标准数(具体包括国家标准、行业标准、企业标准)	标准数反映企业行业话语权和影响力,行业领先选择通过结成标准化组织,降低资源交互成本,建立信任机制 ^[38]	30
行业荣誉	企业被认定为国家级小巨人、省级专精特新企业、制造业单项冠军企业 (专精特新“小巨人”是中国工业和信息化部实施的企业培育计划)	企业获得以上荣誉认证的先决条件是:企业细分主导产品市场占有率达 10% 以上,具有较强的影响力和知名度	20
	其他获得荣誉数(包括但不限于企业获得的各类世界级、国家级、省级、市县级、行业级奖项;企业进入知名企业行业榜单)	企业获得荣誉数代表其业内影响力、品牌和市场号召力	20

2. 被解释变量

鉴于无法获得全量企业的财务指标,本文同样基于企业互联网公开大数据,采用因子分析法构建企业盈利指数 (PROFIT_SCORE)(见表 4);为验证综合指数的有效性,将人工智能产业共 2 468 家上市企业的盈利指数与企业近 3 年平均利润率对比,相关性达到 67.5%。

3. 控制变量

控制变量包括企业注册资本、存活时间、对外投资总额、员工人数、所在地区、所在行业、股权结构、企业类型、企业规模。

4. 内生性问题

企业家心智、经营者能力等个体异质是影响市场绩效的重要因素,对网络中心性、市场地位造成影响,导致模型内生性。目前爬取数据不足以支持固定效应和随机效应模型以消除异质因素。为此,本文通过代理变量法、变量滞后、IV 工具变

量法解决内生性问题。①增加“名校出身”代理变量 (ABILITY)。人工智能是智力密集研发驱动行业,创始人和核心团队来自人工智能专业排名前 20 名校,代表企业具备较强的前沿技术迭代能力和前瞻战略决策能力。②滞后变量。网络中心性指标滞后两年,减轻双向因果的影响。(3) 设置 IV 工具变量为企业 APP 数、行业资质数 INZZ、节点度 DEGREE(滞后 6 年)。能力强的经营者更容易获得行业标准和荣誉、专精特新企业认定,所以市场地位指数可能存在内生性。本文采用 APP 注册数量与容量作为 IV 工具变量,原因在于:人工智能 APP 数量和容量更能反映企业满足互联网用户消费偏好的程度,个体异质性很难影响消费者行为。而行业资质取得受严格行业制度约束,也很难受到个体异质因素的干扰,可以保留作为 IV 工具变量。网络中心性 DE(t-6)代表企业历史网络资源支配力,对企业市场地位有较大影响,具有较强外生性。

表 4 企业盈利指数评价维度及指标说明

指标维度	评价指标	指标类型	指标说明
企业实力	世界 500 强企业及控股子公司	离散	世界 500 强企业具有全球竞争力
	中国 500 强企业及控股子公司	离散	中国 500 强企业占据国内领导地位
	全球上市企业及控股子公司	离散	上市企业盈利能力要求较高
	中央直属企业及控股子公司	离散	中央企业掌控产业链关键高价值环节
	获得重大融资企业	离散	未来盈利能力较强
企业创新	累计获得有效发明专利数	连续	反映企业科技创新和应用研发能力
	累计获得有效软件著作权数	连续	反映企业信息技术场景和产品能力
	累计获得作品著作权数	连续	反映企业创意设计和内容创新能力
	累计国家企业技术创新中心	离散	代表企业核心技术突破攻关水平
	国家高新技术企业	离散	企业具有较强科技成果转化能力
	国家科技型中小企业	离散	企业具备市场竞争和产品研发能力
企业发展	近五年发布招聘信息数	连续	企业有持续的用人需求,盈利水平良好
	累计有效商标注册数	连续	企业具有较强的品牌保护溢出效应
	累计有效网址备案数	连续	企业善于利于互联网进行自身营销宣传
	近五年参与政府采购次数	连续	企业有较强的市场竞争力和拓展意愿
企业成长	近三年获得融资企业	离散	企业有较强发展潜力,未来成长性可期
	近三年招投标复合增长率	连续	企业市场成长性较好
	近三年创新成果复合增长率	连续	创新成果包括发明专利、实用新型、外观设计、集成电路布图、国家和行业标准数,说明企业有较强的创新动能和增长潜力

表 5 控制变量说明

控制变量	变量表示	变量说明
注册资本	REGCAP	企业注册资本越高,承担民事责任能力越强,间接反映企业具有良好风险防控能力、运营水平和盈利能力
存活时间	LIFE	企业存活时间反映企业稳健的经营能力和持续的知识经验积累
对外投资总额	INVSUM	对外投资总额说明企业拥有较强盈利能力和资金储备
员工人数	STAFF	员工人数越高,人均产值效益越大,企业盈利能力越强
所在地区	DISTRICT	按照地区经济社会发展水平,将企业所在地区划分为 4 个分组。 DISTRICT_1:北京、上海、深圳 DISTRICT_2:广东(除深圳)、江苏、浙江、重庆、天津 DISTRICT_3:山东、河南、四川、湖北、湖南、福建 DISTRICT_4:其他省、直辖市和自治区
所在行业	INDUSTRY	按照产业链知识图谱,将企业所在一级子行业划分为 4 个分组。 INDUSTRY_1:底层硬件及基础平台 INDUSTRY_2:人工智能关键技术服务 INDUSTRY_3:人工智能产品终端 INDUSTRY_4:人工智能行业综合应用
股权结构	ENTYPE	很多研究表明企业股权集中度是影响市场绩效的重要因素 ^[39-40] 。 按照企业股东持股比例,将企业股权持股比例划分为 4 类。 ENTYPE_1:0<持股比例≤0.3,分散持股; ENTYPE_2:0.3<持股比例≤0.5,相对持股; ENTYPE_3:0.5<持股比例≤0.67,相对控股; ENTYPE_5:持股比例>0.67,绝对控股;
企业类型	TYPE	将企业类型划分为四组分类: TYPE_1:有限责任公司;TYPE_2:股份有限公司; TYPE_3:外商投资企业;TYPE_4:全民所有制企业;
企业规模	GM_SIZE	将企业类型划分为五组分类: GM_SIZE_1:大型;GM_SIZE_2:中型;GM_SIZE_3:小型; GM_SIZE_4:微型;GM_SIZE_5;其他

(三)模型设计

$$\log(PROFIT_SCORE_i) = a_1DE_i(t - 2) + a_2(0.5 - CLUSTER) \times DE_i(t - 2)^2 + a_3MARKT_POSITION + a_4CLUSTER + \sum Controls_i + \beta$$
$$\sum Controls_i = \beta_1REGCAP_i + \beta_2LIFE_i + \beta_3INVSUM_i + \beta_4STAFF_i + \beta_5ABILITY + \beta_6DISTRICT_i + \beta_7INDUSTRY + \beta_8ENTYPE + \beta_9TYPE + \beta_{10}GM_SIZE$$

(6)

$$MARKT_POSITION = b_1DE_i(t - 6) + b_3INZZ + b_4APP$$

(7)

三、实证分析

(一)描述统计

表 6 描述统计显示,平均数总体高于中位数,数据呈右偏态分布。COMP_DEGREE 与 CLUSTER 的皮尔森相关系数为 0.7;经多重共线性 - 方差膨胀系数 VIF 检验,所有解释变量的 VIF 因子均小

表6 变量描述统计

解释变量	平均数	标准差	最小值	最大值	单位
COMP_DEGREE($t-2$)	0.309	1.118	0	110.299	—
COMP_DE_CENTER($t-2$)	0.000 061	0.000 179	0	0.011 621	—
COMP_CLOSE($t-2$)	0.019 85	0.025 885	0	0.087 102	—
COMP_BETWEEN($t-2$)	0.000 003	0.000 043	0	0.009 650	—
CLUSTER	0.367	0.433	0	1	—
MARKET_POSITION	102.241	255.758	0	21 019	—
被解释变量					
PROFIT_SCORE	9.410	13.768	0.010	859.164	—
工具变量					
DEGREE($T-6$)	0.150	0.600	0	0	—
INZZ	1.943	58.478	0	0	件
APPSIZE	368.845	134 403.200	0	50 344 695	B
控制变量					
LIFE	6.547	5.114	0	49	年
GM_STAFF	64.620	3 060.760	0	99 999	人
INVSUM	4 663.740	148 315.600	0	26 235 737	万元
ABILITY	0.046	0.209	0	1	—
DISTRICT_1	0.307	0.461	0	1	—
DISTRICT_2	0.297	0.457	0	1	—
DISTRICT_3	0.227	0.419	0	1	—
DISTRICT_4	0.075	0.263	0	1	—
DISTRICT_5	0.095	0.293	0	1	—
INDUSTRY_1	0.343	0.475	0	1	—
INDUSTRY_2	0.075	0.263	0	1	—
INDUSTRY_3	0.301	0.459	0	1	—
INDUSTRY_4	0.281	0.450	0	1	—
ENTTYPE_1	0.913	0.282	0	1	—
ENTTYPE_2	0.033	0.178	0	1	—
ENTTYPE_3	0.035	0.183	0	1	—
ENTTYPE_4	0.020	0.140	0	1	—
TYPE_1	0.043	0.202	0	1	—
TYPE_2	0.138	0.345	0	1	—
TYPE_3	0.195	0.396	0	1	—
TYPE_4	0.624	0.484	0	1	—
GM_SIZE_1	0.014	0.118	0	1	—
GM_SIZE_2	0.036	0.185	0	1	—
GM_SIZE_3	0.221	0.415	0	1	—
GM_SIZE_4	0.619	0.486	0	1	—
GM_SIZE_5	0.111	0.314	0	1	—

变量较小,保留小数点6位;如果统计描述变量正常,则保留小数点3位。

于10,说明多重共线性并未对回归模型造成很大影响。由于在OLS和IV2SLS回归中,REGCAP与市场绩效的相关性显著性过低,故本次模型全部删除。

(二) 内生性检验

本文采用python *linearmodels* 库完成内生性检验和回归分析,经杜宾—吴—豪斯曼(Durbin-Wu-Hausman),可知原OLS模型存在由市场地位(MARKT_POSITION)造成的内生性问题(见表7);表8第一阶段回归结果显示DEGREE($T-6$)、INZZ、APPSIZE均与市场地位存在显著相关性。F统计量远大于10,说明IV工具变量均为强工具变量。通过沙根检验(Sargan-Test),进一步验证IV工具变量外生性,不存在工具变量过度识别问题(见表8)。所以,采用IV2SLS回归结果更能准确解释变量对被解释变量的因果关系。

表7 内生性检验、工具变量过度识别检验

检验类型	原始假设	统计量	P值	检验结果
Durbin-Wu-Hausman	H0:所有变量均为外生变量	$F=63.3875$	0.000	拒绝原假设,原模型存在内生性
Wooldridge's Score test	H0:所有变量均为外生变量	$\chi^2(1)=0.0444$	0.044	拒绝原假设,原模型存在内生性
Sargan-Test	H0:模型不是被过度识别的	$\chi^2(3)=0.0522$	0.974	接受原假设,模型没有过度识别的,IV工具变量均为外生
Basman-Test	H0:模型不是被过度识别的	$\chi^2(3)=0.0522$	0.974	接受原假设,模型没有过度识别的,IV工具变量均为外生

表8 第一阶段回归结果

IV 工具变量	回归系数	$R=0.166$ $Adj R=0.166$ statistic 9 277.
CONST	83.351 7*** (129.606)	
DEGREE($T-6$)	111.875 6*** (104.213)	
INZZ	1.103 0*** (100.147)	
APPSIZE	1.200 0e-05** (0.021)	

注: $p<0.01$ ***, $p<0.05$ **, $p<0.1$ *;回归系数保留小数点4位; t 值保留小数点3位。

(三) 假设检验与结果分析

表9结果显示:当网络集聚系数CLUSTER<0.5时,企业处于中心化局部合作网络内,DE($t-2$)和 $(0.5-CLUSTER) \times (DE(t-2))^2$ 均为正(其中,DE表示为节点度DEGREE、度中心性DE_CENTER、近邻中心性CLOSE_CENTER)。网络中心性DE与企业盈利指数PROFIT_SCORE呈显著正相关;虽然 $(0.5-CLUSTER) \times (COMP_BETWEEN(t-2))^2$ 系数为负,但企业盈利指数极大值点COMP_BETWEEN=0.003/(0.5-CLUSTER)($0<CLUSTER \leq 0.167$ 时,极大值点COMP_BETWEEN>>COMP_BETWEEN_{max}0.009 650),故仍表现正向相关性。本文有充足证据表明假设H1:在中心化局部合作网络中,网络中心性对市场绩效具有正向促进作用。

当网络集聚系数CLUSTER ≥ 0.5 时,企业处于去中心化局部合作网络内,DE($t-2$)系数为正且 $(0.5-CLUSTER) \times (DE(t-2))^2$ 为负;企业盈利指数极大值点DE_CENTER_{min}0.003 6<DE_CENTER_{max}0.011 621;极大值点COMP_CLOSE_{min}0.013 1<COMP_CLOSE_{max}0.087 102。充分表明:企业度中心性、近邻中心性与企业盈利指数呈倒U型。即便极大值点COMP_DEGREE ≥ 163.54 >COMP_DEGREE_{max}110.299,仍不能改变节点度与盈利指数之间倒U型趋势。基于此可证明假设H2:在去中心化局部合作网络中,网络中心性与市场绩效呈倒U型关系。

表 9 产业合作复杂网络中 LOG (PROFIT_SCORE) 的 IV2SLS 和 OLS 回归结果

complex_net	MODEL1	MODEL2	MODEL3	MODEL4	MODEL5	MODEL6	MODEL7	MODEL8
	IV2SLS	OLS	IV2SLS	OLS	IV2SLS	OLS	IV2SLS	OLS
	$R=0.546$ $Adj\ R=0.546$ $F=6\ 734$	$R=0.561$ $Adj\ R=0.561$ $F=7\ 165$	$R=0.549$ $Adj\ R=0.549$ $F=6\ 842$	$R=0.563$ $Adj\ R=0.563$ $F=7\ 230$	$R=0.562$ $Adj\ R=0.562$ $F=7\ 206$	$R=0.572$ $Adj\ R=0.572$ $F=7\ 507$	$R=0.551$ $Adj\ R=0.551$ $F=6\ 876$	$R=0.565$ $Adj\ R=0.565$ $F=7\ 294$
CONST	7.007 3 *** (139.263)	6.715 7 *** (139.318)	6.822 5 *** (137.081)	6.573 3 *** (135.708)	5.944 2 *** (118.287)	5.953 6 *** (121.533)	6.909 5 *** (139.942)	6.941 0 *** (142.394)
COMP_DEGREE(t-2)	0.785 0 *** (20.840)	0.952 7 *** (30.751)	—	—	—	—	—	—
(0.5-CLUSTER) × (COMP_DEGREE(t-2)²)	0.004 8 *** (3.168)	0.014 1 *** (9.826)	—	—	—	—	—	—
DE_CENTER(T-2)	—	—	6 039.990 2 *** (33.349)	5 631.562 9 *** (33.231)	—	—	—	—
(0.5-CLUSTER) × (DE_CENTER(T-2)²)	—	—	1.698e+06 *** (14.948)	2.564e+06 *** (24.800)	—	—	—	—
COMP_CLOSE(t-2)	—	—	—	—	44.778 6 *** (37.743)	32.339 6 *** (27.143)	—	—
(0.5-CLUSTER) × (COMP_CLOSE(t-2)²)	—	—	—	—	3 429.306 8 *** (67.341)	3 665.708 7 *** (72.855)	—	—
COMP_BETWEEN(t-2)	—	—	—	—	—	—	4.555e+04 *** (43.528)	5.102e+04 *** (53.844)
(0.5-CLUSTER) × (COMP_BETWEEN(t-2)²)	—	—	—	—	—	—	-7.413e+06 ** (-23.69)	-7.708e+06 *** (-25.089)
CLUSTER	-2.523 6 *** (-41.386)	-3.181 6 *** (-52.503)	-2.608 9 *** (-42.806)	-3.156 4 *** (-52.102)	-0.496 6 *** (-6.194)	-0.521 3 *** (-6.580)	-2.134 1 *** (-35.752)	-2.734 7 *** (-46.100)
MARKET_POSITION	0.009 9 *** (25.894)	0.008 2 *** (73.960)	0.009 0 *** (28.313)	0.007 9 *** (72.082)	0.0145 *** (57.282)	0.008 9 *** (81.570)	0.009 7 *** (32.321)	0.008 2 *** (75.994)
LIFE	0.628 4 *** (108.119)	0.613 6 *** (107.571)	0.629 9 *** (108.972)	0.618 2 *** (108.984)	0.567 0 *** (98.494)	0.571 9 *** (100.874)	0.630 1 *** (109.197)	0.617 1 *** (109.112)
GM_STAFF	4.115e-05 *** (5.047)	3.643e-05 *** (4.544)	3.006e-05 *** (3.695)	2.458e-05 *** (3.068)	4.341e-05 *** (5.426)	5.05e-05 *** (6.392)	2.669e-05 *** (3.287)	2.23e-05 *** (2.792)
INVSUM	1.768e-06 *** (9.967)	1.578e-06 *** (9.067)	2.168e-06 *** (12.712)	2.455e-06 *** (14.684)	2.169e-06 *** (12.920)	3.14e-06 *** (19.163)	1.871e-06 *** (10.959)	2.152e-06 *** (12.874)
ABILITY	6.022 0 *** (48.768)	5.631 7 *** (46.331)	5.890 3 *** (47.888)	5.574 0 *** (45.981)	5.120 4 *** (42.036)	4.959 0 *** (41.182)	5.802 4 *** (47.205)	5.431 8 *** (44.878)
DISTRICT_1	2.470 6 *** (52.082)	2.265 7 *** (48.507)	2.410 5 *** (51.050)	2.207 0 *** (47.363)	2.082 5 *** (44.526)	1.921 8 *** (41.501)	2.468 0 *** (52.31)	2.102 2 *** (45.049)
DISTRICT_2	1.486 5 *** (32.240)	1.545 4 *** (34.176)	1.457 2 *** (31.747)	1.516 1 *** (33.6)	1.220 7 *** (26.923)	1.359 5 *** (30.381)	1.521 7 *** (33.169)	1.431 0 *** (31.678)
DISTRICT_3	1.553 8 *** (30.954)	1.477 9 *** (29.960)	1.539 8 *** (30.805)	1.468 2 *** (29.837)	1.313 1 *** (26.617)	1.284 7 *** (26.349)	1.607 5 *** (32.171)	1.381 2 *** (28.064)
DISTRICT_4	1.348 3 *** (17.369)	1.176 9 *** (15.412)	1.319 5 *** (17.065)	1.159 2 *** (15.218)	1.299 3 *** (17.052)	1.179 6 *** (15.656)	1.428 9 *** (18.499)	1.108 7 *** (14.581)
DISTRICT_5	0.148 2 ** (2.100)	0.249 8 ** (3.602)	0.112 1 (1.595)	0.226 1 (3.268)	0.028 6 *** (0.413)	0.208 0 *** (3.040)	0.233 0 *** (3.320)	0.191 8 (2.777)
ENTTYPE_1	-0.745 5 *** (-11.073)	-0.583 9 *** (-8.827)	-0.674 9 *** (-10.059)	-0.536 6 *** (-8.129)	-0.545 0 *** (-8.232)	-0.393 7 *** (-6.018)	-0.817 1 *** (-12.200)	-0.653 3 *** (-9.920)
ENTTYPE_2	7.942 5 *** (63.081)	7.530 7 *** (60.756)	8.062 8 *** (64.295)	7.672 6 *** (62.083)	7.325 1 *** (59.092)	6.940 0 *** (56.558)	7.761 2 *** (61.868)	7.346 4 *** (59.468)
ENTTYPE_3	1.516 9 *** (13.029)	1.184 8 *** (10.341)	1.388 1 *** (11.981)	1.039 2 *** (9.099)	1.361 0 *** (11.918)	1.001 9 *** (8.867)	1.348 2 *** (11.646)	0.990 0 *** (8.685)
ENTTYPE_4	-1.706 6 *** (-11.786)	-1.416 0 *** (-9.944)	-1.933 9 *** (-13.391)	-1.619 4 *** (-11.384)	-2.196 8 *** (-15.389)	-1.594 6 *** (-11.299)	-1.858 2 *** (-12.891)	-1.555 9 *** (-10.977)
INDUSTRY_1	2.316 6 *** (53.230)	2.262 0 *** (52.948)	2.261 8 *** (52.088)	2.231 3 *** (52.304)	1.908 5 *** (44.356)	1.984 1 *** (-11.299)	2.227 5 *** (51.221)	2.217 9 *** (52.190)
INDUSTRY_2	2.821 3 *** (38.002)	2.560 3 *** (35.034)	2.756 8 *** (37.292)	2.495 5 *** (34.23)	2.600 4 *** (35.649)	2.399 2 *** (33.239)	2.660 8 *** (35.968)	2.425 3 *** (33.319)
INDUSTRY_3	2.411 5 *** (53.922)	2.311 4 *** (52.658)	2.362 9 *** (53.076)	2.264 6 *** (51.689)	2.017 0 *** (45.761)	1.978 8 *** (45.435)	2.281 8 *** (51.108)	2.213 2 *** (50.563)
INDUSTRY_4	-0.542 1 *** (-11.649)	-0.418 1 *** (-9.167)	-0.537 6 *** (-11.606)	-0.420 2 *** (-9.237)	-0.581 7 *** (-12.739)	-0.408 6 *** (-9.077)	-0.640 6 *** (-13.800)	-0.478 5 *** (-10.530)
TYPE_1	5.302 3 *** (52.199)	4.788 6 *** (47.805)	4.866 4 *** (47.710)	4.387 8 *** (43.616)	4.202 2 *** (41.696)	3.781 1 *** (37.878)	4.921 7 *** (48.508)	4.315 5 *** (43.041)
TYPE_2	1.494 7 *** (24.135)	1.569 4 *** (25.818)	1.494 4 *** (24.234)	1.560 7 *** (25.738)	1.285 7 *** (21.149)	1.427 9 *** (23.783)	1.496 4 *** (24.303)	1.523 8 *** (25.175)
TYPE_3	0.725 2 *** (12.638)	0.893 7 *** (15.871)	0.816 4 *** (14.267)	0.966 1 *** (17.189)	0.721 0 *** (12.811)	0.952 *** (17.130)	0.766 0 *** (13.423)	0.894 0 *** (15.948)
TYPE_4	-0.515 0 *** (-11.043)	-0.536 *** (-11.720)	-0.333 3 *** (-7.143)	-0.358 3 *** (-7.849)	-0.264 7 *** (-5.772)	-0.207 4 *** (-4.589)	-0.380 4 *** (-8.189)	-0.428 8 *** (-9.431)
GM_STRUCTURE_1	15.766 3 *** (85.175)	14.301 2 *** (78.051)	15.460 0 *** (84.167)	14.226 7 *** (78.332)	14.526 4 *** (80.168)	13.922 8 *** (77.805)	15.376 3 *** (83.877)	13.810 6 *** (75.853)
GM_STRUCTURE_2	7.743 3 *** (65.284)	6.749 0 *** (57.450)	7.622 5 *** (64.410)	6.679 5 *** (56.943)	6.797 5 *** (57.990)	5.811 3 *** (49.905)	7.917 1 *** (67.137)	6.729 3 *** (57.550)
GM_STRUCTURE_3	2.004 2 *** (29.877)	2.330 9 *** (35.261)	2.053 1 *** (30.905)	2.305 0 *** (35.176)	1.984 7 *** (30.433)	2.138 5 *** (33.173)	2.165 4 *** (32.457)	2.284 *** (35.041)
GM_STRUCTURE_4	-8.485 2 *** (-138.468)	-7.475 3 *** (-121.068)	-8.390 3 *** (-138.310)	-7.483 8 *** (122.259)	-7.858 3 *** (-130.415)	-7.032 9 *** (-115.406)	-8.336 8 *** (-137.253)	-7.526 8 *** (-123.951)
GM_STRUCTURE_5	-10.021 2 *** (-107.085)	-9.190 1 *** (-108.207)	-9.910 8 *** (-116.406)	-9.168 1 *** (-108.411)	-9.506 1 *** (-112.833)	-8.886 0 *** (-105.947)	-9.877 7 *** (-116.074)	-9.242 4 *** (-109.906)

注: $p<0.01$ ***, $p<0.05$ **, $p<0.1$ *;如果描述变量值过小,则用科学计数法表示;回归系数保留小数点4位;t值保留小数点3位。

通过以上研究,本文充分验证假设 H1 和假设 H2 正确性,同时也进一步延伸论证假设 H4。

假设 H4:产业合作复杂网络中,网络集聚性对网络中心性与市场绩效相关性具有调节作用。

在表 9 全部回归模型中,CLUSTER 的回归系数均为负,MARKET_POSITION 的回归系数均为正,可以有效验证假设 H3 和假设 H5 的假设正确性。另外,回归结果中也说明存活时间 LIFE、对外投资总额 INVSUM、员工人数 STAFF、企业能力 ABILITY 均与市场绩效存在正向相关性。ENTTYPE_1、ENTTYPE_4 的回归系数为负,这说明过于分散的股权集中度和过于集中的股权集中度都对市场绩效产生抑制作用。INDUSTRY_4 的回归系数为负,表明人工智能行业综合应用环节处于低价值环节,市场绩效总体不佳。GM_STRUCTURE_4、GM_STRUCTURE_5 的回归系数为负,证实微型及以下企业的盈利能力较弱。TYPE_4 的回归系数为负,说明全民所有制企业绩效表现要落后于民营和外资企业。

(四)稳健性检验

本文采用变量替换法和样本缩尾处理两种方法完成稳健性检验。

(1)变量替换法。产业合作复杂网络 *complex_*

net、资本联结网络 *cap_net*、创新联结网络 *inno_net* 整体结构呈同配性,网络中心度大的节点更倾向同中心度大的节点相连接。所以,本文将 $DE(t-2)$ 替换为 $DE(t-2)$ 、 $DE(t-6)$ 、 $DE(t-10)$ 的平均数,降低企业节点的网络中心性异常波动性。变量替换法的 IV2SLS 回归结果可以有效支持假设 H1~假设 H5,研究结论依然稳健。

(2)样本缩尾法。对网络中心性、连续型控制变量进行 5% 的缩尾处理,IV2SLS 回归结果显示假设 H1~假设 H5 仍成立,且回归结果更加稳健,证据更加有力。如当网络集聚系数 $CLUSTER < 0.5$ 时, $(0.5 - CLUSTER) \times (DE(t-2))^2$ 均为正,其中 $(0.5 - CLUSTER) \times (COMP_BETWEEN(t-2))^2$ 系数也为正;这充分说明网络中心性对市场绩效具有显著的正向促进作用。极大值点 $COMP_DEGREE$ 最小值由 163.54 调整为 32.95,且极大值 $COMP_DEGREE|_{min} < COMP_DEGREE|_{max}$ 110.299,证明企业节点度、度中心性、近邻中心性、介数中心性都与市场绩效呈显著倒 U 型关系。综上,本研究结论具备较强稳健性。虽然稳健性检验中的样本截尾处理取得了较好的表现,但为保证数据真实性,仍采用全量样本的结果作为主要依据(见表 10)。

表 10 产业合作复杂网络 IV2SLS 的稳健性检验

变量	产业合作复杂网络 <i>complex_net</i> (稳健性检验—中心性取平均数)				产业合作复杂网络 <i>complex_net</i> (稳健性检验—缩尾处理)			
	<i>R</i> = 0.546	<i>R</i> = 0.548	<i>R</i> = 0.560	<i>R</i> = 0.548	<i>R</i> = 0.582	<i>R</i> = 0.585	<i>R</i> = 0.591	<i>R</i> = 0.590
	<i>Adj R</i> = 0.546	<i>Adj R</i> = 0.548	<i>Adj R</i> = 0.560	<i>Adj R</i> = 0.548	<i>Adj R</i> = 0.582	<i>Adj R</i> = 0.585	<i>Adj R</i> = 0.591	<i>Adj R</i> = 0.590
	<i>F</i> = 6 735	<i>F</i> = 6 806	<i>F</i> = 7 147	<i>F</i> = 6 815	<i>F</i> = 7 808	<i>F</i> = 7 894	<i>F</i> = 8 097	<i>F</i> = 8 091
CONST	7.019 1 *** (139.707)	6.848 4 *** (138.008)	6.015 0 *** (119.841)	7.104 2 *** (141.508)	3.941 8 *** (70.975)	3.889 5 *** (70.291)	3.401 9 *** (61.876)	3.710 2 *** (66.954)
DEGREE(<i>t</i> - 2)	0.925 *** (15.234)	—	—	—	0.982 0 *** (10.033)	—	—	—
(0.5 - CLUSTER) × (DEGREE(<i>t</i> - 2) ²)	0.044 9 *** (9.079)	—	—	—	0.029 8 *** (21.881)	—	—	—
DE_CENTER(<i>T</i> - 2)	—	5 213.204 6 *** (29.025)	—	—	—	1.022e + 04 *** (24.97)	—	—
(0.5 - CLUSTER) × (DE_CENTER(<i>T</i> - 2) ²)	—	1.230e + 06 *** (10.414)	—	—	—	3.392e + 06 *** (31.697)	—	—
CLOSE(<i>t</i> - 2)	—	—	71.035 9 *** (39.699)	—	—	—	25.736 1 *** (21.878)	—
(0.5 - CLUSTER) × (CLOSE(<i>t</i> - 2) ²)	—	—	6 196.333 8 *** (63.112)	—	—	—	2 858.835 *** (56.822)	—
BETWEEN(<i>t</i> - 2)	—	—	—	3.737e + 04 *** (34.463)	—	—	—	5.467e + 05 *** (56.621)
(0.5 - CLUSTER) × (BETWEEN(<i>t</i> - 2) ²)	—	—	—	-7.39e + 06 *** (-18.226)	—	—	—	3.916e + 06 *** (19.36)
CLUSTER	-2.441 8 *** (-39.989)	-2.521 6 *** (-41.685)	-1.404 6 *** (-19.646)	-2.194 8 *** (-36.709)	-3.049 9 *** (-47.003)	-3.293 0 *** (-52.738)	-0.946 9 *** (-12.149)	-2.683 5 *** (-46.918)
MARKET_POSITION	0.010 5 *** (27.701)	0.011 0 *** (36.944)	0.013 8 *** (54.120)	0.011 3 *** (38.993)	0.010 8 *** (33.885)	0.009 3 *** (31.345)	0.014 6 *** (60.697)	0.011 8 *** (44.938)

注: $p < 0.01$ ***, $p < 0.05$ **, $p < 0.1$ *;如果描述变量值过小,则用科学计数法表示;回归系数保留小数点 4 位; t 值保留小数点 3 位。

四、研究结论

(1)伴随数字经济与实体产业深度融合,我国人工智能产业复杂网络逐步由“孤立多点”中心化

离散布局演化为“强核心—多聚点—泛多维圈层”的泛数字商业生态。2018 年以后,传统人工智能企业转变为开源共享平台,创新型中小企业不断

涌现;产业合作水平整体扩大,合作次数更为频繁,合作紧密度稳步提高,网络结构逐步由中心化转变为去中心化。网络复杂度保持增长,产业内部企业关系更加错综复杂、交织耦合。然而,网络中心性前 5%、10%、20% 的头部企业依然占据市场交易和开放创新的垄断地位;头部企业合作愈发紧密,成长为“富人俱乐部”和新型垄断组织。

(2) 中心化产业合作复杂网络中,网络中心性对市场绩效具有正向促进作用;去中心网络中,网络中心性与市场绩效呈倒 U 型关系。研究表明,中心化网络中,中心企业持续积累权利地位、声明威望、社会资本、经济资源、知识经验,占据垄断合作地位,获得合作伙伴努力溢出,达成利润最大化;网络中心性对市场绩效具有显著正向相关性。去中心化网络中,高中心性也意味着企业具有更高的合作成本,更多的合作矛盾,以及因“群体惰性”引致的更低效率;网络中心性过高也会降低市场绩效,网络中心性与市场绩效呈倒 U 型关系。

(3) 产业合作复杂网络的微观结构影响资源分配的公平。人工智能产业合作复杂网络呈现显著的 BA 无标度网络特性。由结论二推论可知:中心化网络中,处于网络中心企业的市场绩效水平远高于边缘企业,两者的贫富差距日渐扩大,中心化网络上的资源配置缺少公平性,但可能更有效率;而去中心化网络中,处于网络中心的企业与边缘企业的市场绩效差距较小,去中心化网络上的资源配置更加公平,但会缺乏效率。

综上所述,我国人工智能产业合作网络化日益加深,形成开放合作共享的商业生态系统;企业个体垄断问题有效缓解,但是市场结构依然呈现两极分化,合作垄断集团现象也愈发突出。针对上述问题,本文提出以下两点建议。

一是,促进人工智能产业发展,需建立与之相适应的产业合作关系。充分认识去中心化网络对于促进公平的重要意义,适度探索从鼓励竞争的行为规范政策,调整为促进公平合作的微观结构优化政策,组建去中心化产业合作网络组织;重视经济网络在资源配置的重要作用,打造“政府规划、国企建设、全民运营”的举国上下一盘棋数字网络,通过数

字技术创新,赋能网络中生产关系的自组织自适应调节,建立与新质生产力发展相适应的生产关系。

二是,积极完善和制定人工智能产业反垄断政策。①对人工智能垄断平台“征税”,抑制过高生成式人工智能技术服务费,给予中小型创业企业数智化服务补贴;②限制人工智能企业对外恶意投资参股过多生态合作伙伴企业;③降低人工智能基础设施企业“私有化”成分,通过国有控股和混合所有制改革,打造建立一批带动性强、从国家、行业、地区、人民的全局利益出发的数智基座,构建兼顾公平和效率的良性数字商业生态系统。

参考文献:

- [1] 布莱恩. 复杂经济学[M]. 杭州:浙江人民出版社, 2018:10-150.
- [2] 姜奇平. 网络经济:内生结构的复杂性经济学分析[M]. 北京:中国财富出版社,2017:1-299.
- [3] GOYAL S. Networks an economics approach [M]. London, England: The MIT press, 2023:171-752.
- [4] Hidalgo C A. Economic complexity theory and applications [J]. Nature reviews physics, 2021, 3 (2): 92-113.
- [5] MEALY P, FARMER J D, TEYTELBOYM A. Interpreting economic complexity [J]. Science advances, 2019, 5 (1):1-8.
- [6] WEN T, JIANG W. Measuring the complexity of complex network by Tsallis entropy [J]. Physica a: statistical mechanics and its applications, 2019, 526 (1): 121054.
- [7] LEI M, LIU L, WEI D. An improved method for measuring the complexity in complex networks based on structure entropy [J]. IEEE access, 2019, 7 (1): 159190-159198.
- [8] GRANOVETTER M S. The strength of weak ties [J]. American journal of sociology, 1973, 78(6): 1360-1380.
- [9] COLEMAN J S. Social capital in the creation of human capital[J]. American journal of sociology, 1988, 94(1): 95-120.
- [10] BAKER W E. Market networks and corporate behavior [J]. American journal of sociology, 1990, 96(3): 589-625.
- [11] PODOLNY J M. Market uncertainty and the social character of economic exchange [J]. Administrative science quarterly, 1994, 39(3): 458-483.
- [12] BURT R S. Structural holes versus network closure as social capital[J]. Social capital, 2017(1): 31-56.
- [13] JARILLO J C. On strategic networks [J]. Strategic management journal, 1988, 9 (1): 31-41.

- [14] GULATI R, NOHRIA N, ZAHEER A. Strategic networks[J]. Strategic management journal, 2000, 21(3): 203-215.
- [15] SWAMINATHAN V, MOORMAN C. Marketing alliances, firm networks, and firm value creation[J]. Journal of marketing, 2009, 73(5): 52-69.
- [16] KOCH T, WINDSPERGER J. Seeing through the network: competitive advantage in the digital economy[J]. Journal of organization design, 2017, 6(6): 1-30.
- [17] MAHMOOD I P, ZHU H, ZAHEER A. Centralization of intragroup equity ties and performance of business group affiliates[J]. Strategic management journal, 2017, 38(5): 1082-1100.
- [18] SODA G. The management of firms' alliance network positioning: implications for innovation[J]. European management journal, 2011, 29(5): 377-388.
- [19] 叶红雨, 茅怡雯. 合作网络结构洞和探索式创新与企业技术创新能力: 基于股权结构的调节作用[J]. 技术与创新管理, 2021, 42(5): 552-560.
- [20] 王思梦, 雷家骅, 邵云飞. 外部搜索、吸收能力与企业突破性创新绩效: 环境动荡性的调节作用[J]. 系统工程, 2023, 41(2): 35-48.
- [21] MCFADYEN M A, CANNELLA JR A A. Social capital and knowledge creation: diminishing returns of the number and strength of exchange relationships[J]. Academy of management journal, 2004, 47(5): 735-746.
- [22] PARUCHURI S. Intraorganizational networks, interorganizational networks, and the impact of central inventors: a longitudinal study of pharmaceutical firms[J]. Organization science, 2010, 21(1): 63-80.
- [23] 郭建杰, 谢富纪, 薛楚江, 等. 基于合作与引用关系的多层网络对企业创新的影响[J]. 系统管理学报, 2024, 33(5): 1313-1325.
- [24] WEI S, ZHANG Z, KE G Y, et al. The more cooperation, the better? optimizing enterprise cooperative strategy in collaborative innovation networks[J]. Physica a: statistical mechanics and its applications, 2019, 534(1): 120810.
- [25] GEYSKENS I, STEENKAMP J B E M, SCHEER L K, et al. The effects of trust and interdependence on relationship commitment: a trans-Atlantic study[J]. International journal of research in marketing, 1996, 13(4): 303-317.
- [26] CHAKRAVARTY A, ZHOU C, SHARMA A. Effect of alliance network asymmetry on firm performance and risk[J]. Journal of marketing, 2020, 84(6): 74-94.
- [27] GINEVI Ć IUS R. The effectiveness of cooperation of industrial enterprises[J]. Journal of business economics and management, 2010, 1(2): 283-296.
- [28] CYGLER J, SROKA W. Coopetition disadvantages: the case of the high tech companies[J]. Engineering economics, 2017, 28(5): 494-504.
- [29] BAIN J S. Relation of profit rate to industry concentration: american manufacturing, 1936-1940[J]. The quarterly journal of economics, 1951, 65(3): 293-324.
- [30] RHOADES S A. Market share as a source of market power: implications and some evidence[J]. Journal of economics and business, 1985, 37(4): 343-363.
- [31] BRESNAHAN T F. Empirical studies of industries with market power[J]. The handbook of industrial organization, 1989, 1(1): 951-1009.
- [32] DEMSETZ H. Industry structure, market rivalry, and public policy[J]. The journal of law and economics, 1973, 16(1): 1-9.
- [33] AMIT R, MULLER E, COCKBURN I. Opportunity costs and entrepreneurial activity[J]. Journal of business venturing, 1995, 10(2): 95-106.
- [34] RAJAGOPAL, RAJAGOPAL. Managing brands in competitive marketplaces[J]. Competitive branding strategies: managing performance in emerging markets, 2019, 1(1): 3-37.
- [35] KARAKAYA F, PARAYITAM S. Market entry barriers and firm performance: higher-order quadratic interaction effects of capital requirements and firm competence[J]. International journal of markets and business systems, 2018, 3(2): 121-140.
- [36] BHATTACHARYA A, MORGAN N A, REGO L L. Examining why and when market share drives firm profit[J]. Journal of marketing, 2022, 86(4): 73-94.
- [37] WOOD L. Market power and its measurement[J]. European journal of marketing, 1999, 33(6): 612-633.
- [38] 单嘉祺, 余晓. 标准必要专利的实施对企业财务绩效的影响研究: ICT 行业的实证分析[J]. 标准科学, 2022, 1(10): 6-13.
- [39] 吴国鼎. 股权结构、上市板块与企业绩效[J]. 金融评论, 2015, 7(1): 89-99, 126.
- [40] 巩世广, 耿献辉. 从股权结构到企业竞争优势: 理论分析框架及影响传导路径[J]. 科学管理研究, 2020, 38(6): 85-93.

(本文责编: 默 黎)