

基于生命周期的航空制造业产业集群知识网络的演化研究

刘伟凡¹ 王有远^{1,2} 马小凡¹

(1 南昌航空大学经济管理学院, 南昌 330063;

2 南昌市航空复杂系统与智能科学重点实验室, 南昌 330063)

【摘要】: 知识网络作为知识经济时代的产物, 是推动航空制造业技术创新的重要利器, 因此研究航空制造业产业集群知识网络的演化具有重要意义。基于 1986—2020 年上海航空制造业合作申请发明专利数据, 运用 GEPHI 和 UCINET 构建上海航空制造业专利合作的知识网络, 分析处于不同生命周期阶段知识网络的结构演化特征和重要节点演化规律。研究发现: 上海航空制造业产业集群知识网络处于成熟期, 核心节点增加, 节点间的合作关系逐步稳定, 但知识交流的效率仍需持续提高。

【关键词】: 生命周期; 航空制造业; 产业集群; 知识网络; 演化

【DOI】: 10.14059/j.cnki.cn32-1276n.2023.01.004

0 引言

随着知识经济时代的不断发展, 知识网络作为知识经济时代的产物, 是推动航空制造业技术创新的重要利器。航空制造业产业集群知识网络伴随着时间和空间的发展而不断演化, 呈现出一定的周期性和规律性。因此, 基于生命周期理论, 探究航空制造业产业集群知识网络演化, 对于航空制造业提高科技创新水平具有重要意义^[1]。

众多学者对产业集群知识网络的演化进行了诸多研究。万君等基于模糊贴近度的多目标分类算法对知识网络所处的生命周期阶段进行判定^[2]; Fornahl 等基于不同阶段集群演化和生命周期的视角, 阐述集群的演化和整个生命周期驱动因素的参与者、网络和机构的相关行为^[3]; Montoro 等定义了产业集群的孵化、成长和成熟的 3 个阶段, 分析区域知识网络演化对企业创新能力的影响^[4]; Carli 等长期调查意大利传统纺织集群的发展, 描述其生命周期的主要阶段并明确每个阶段主要触发因素^[5]; Johannes 等基于生命周期理论, 探究在生命周期的第一个阶段, 技术的出现如何影响网络结构的演化^[6]; 李琳等判定中国电子信息产业集群生命周期, 并分析多维邻近性对不同集群演化各阶段创新的影响^[7]; Denney 等以多伦多 ICT 集群为例, 研究集群形成、衰退、演化的结构和动因^[8]。

学术界对产业集群知识网络演化的研究虽然有一定的积累, 但是已有研究较少涉及航空制造业。航空制造业是知识经济时代的重要产业, 是衡量综合国力和关乎国家安全的战略性产业, 航空制造业产业集群的产业格局导致其知识网络具有特殊性, 值得研究。学者对知识网络演化过程中呈现的生命周期, 多从静态的视角出发进行研究, 但未形成系统的研究体系。鉴于此, 本文基于航空制造业产业集群知识网络的整个生命周期, 以上海航空制造业产业集群专利合作申请数据为支撑, 分析其处于各生命周期阶段的演化结构特征, 揭示航空制造业产业集群知识网络演化的规律特征, 从而为优化航空制造业产业集群知识网络提供参考, 为航空制造业产业集群的良性发展提供理论依据。

1 知识网络的生命周期

知识网络随着其演化进程表现出一定的周期性和规律性，即具有产生、发展和终止的生命周期^[9]。航空制造业产业集群知识网络的形成和演化源自集群内部核心企业与其他企业之间知识共享的需求，企业间知识共享的需求无法满足，导致集群内的知识流动大大减少，因此知识网络也会随之衰退^[10]。本文参考万君等^[2]和王莉等^[11]的知识网络的生命周期模型，将航空制造业产业集群知识网络的生命周期依次划分为：形成期、成长期、成熟期和衰退期。

第一阶段是形成期，航空制造业产业集群的知识网络初步建成，集群内的科研机构、大学和中介机构均处于初级建设阶段，核心企业及其上下游企业数量少，知识拥有量少，核心竞争力弱。这一阶段也是知识生成的阶段，知识网络的规模程度和完善程度偏低，节点的联系较为稀疏，但各主体能够通过知识的生成促成与其他主体之间的知识流动和合作。随着知识流动的日益频繁，知识网络中成员间的合作关系随之发展，彼此的信任也在逐渐积累。

第二阶段是成长期，航空制造业产业集群内，核心企业的数量有所增加，与之相关的上、下游企业随之进一步完善和增多，各成员积聚足够的信任进行不断的知识交流，通过知识共享整合资源，并促进知识资源的快速流动。随着知识扩散程度的加深，提升的知识流动效率的效益开始显现，知识网络的密度增大。整体而言，成长期的航空制造业产业集群知识网络的规模有所扩大，机制也有所完善，但是其网络结构仍是不断演化的。

第三阶段是成熟期，经过成长期的成长和演化，航空制造业产业集群知识网络进入新阶段的发展。集群内的主体成员的格局形成，数量趋于稳定。在相对稳定的知识网络中，成员相互的知识转移促进知识高效率流动，知识网络的规模扩大并趋于稳定，网络基础和机制完善程度高，合作成果大量产出，知识网络的核心竞争和知识优势尤为明显。

第四阶段是知识网络的衰退期。此时，知识的流动遇到障碍，集群内企业的创新能力开始减弱，其他企业、高校和科研机构陆续退出，知识网络的机制不再起作用，网络规模无法扩张急剧衰减。若集群内的知识网络主体采取相关措施激发知识再创造，对知识网络结构进行重组和创新，从而能够再次进入新的生命周期循环^[12]。

2 研究设计

2.1 数据来源与整理

本文利用 1986—2020 年上海航空制造业产业集群的数据构建专利知识网络，数据主要来源于国家知识产权局专利公布公告^[13]，得到上海航空制造业产业集群合作发明专利 671 项数据（专利申请人大于等于 2）。

2.2 研究方法

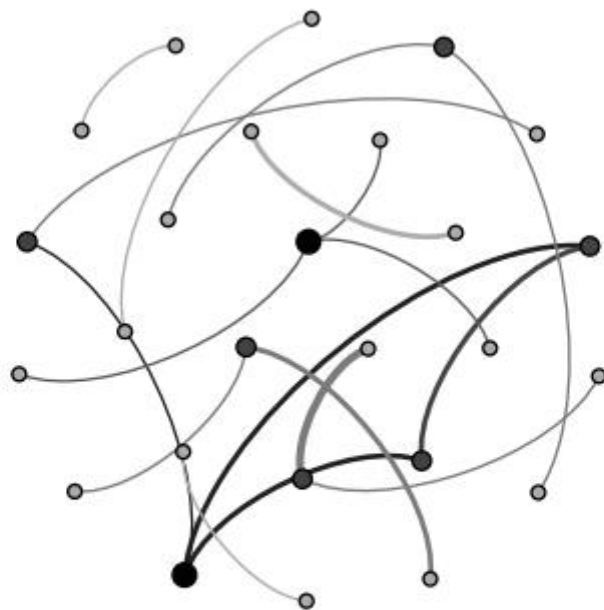
将 671 项数据转化为共现矩阵，利用 Gephi 进行可视化处理，构建上海航空制造业产业集群专利合作知识网络拓扑结构图，分析知识网络相关结构指标，如网络的节点数、关系数、网络密度、节点度、聚集系数、平均短路径长度和节点度等方面，从而深入分析知识网络的演化及其所处生命周期的阶段及特征^[14]。

3 航空制造业产业集群知识网络演化分析

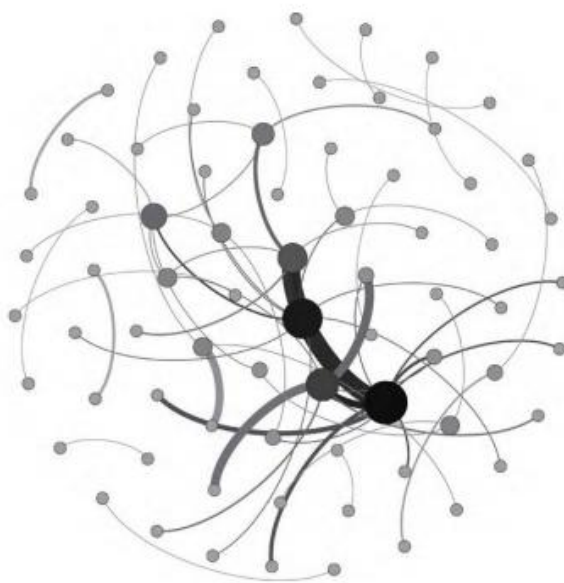
3.1 基本结构演化分析

运用 Gephi 和 UCInet 对上海的 1986—2008 年、2009—2014 年和 2015—2020 年 3 个阶段的知识网络演化发展进行分析和可视化处理，如图 1、图 2 和图 3 所示。网络中的节点代表专利申请人，节点的大小和颜色深浅代表与其合作主体的多少，每条边

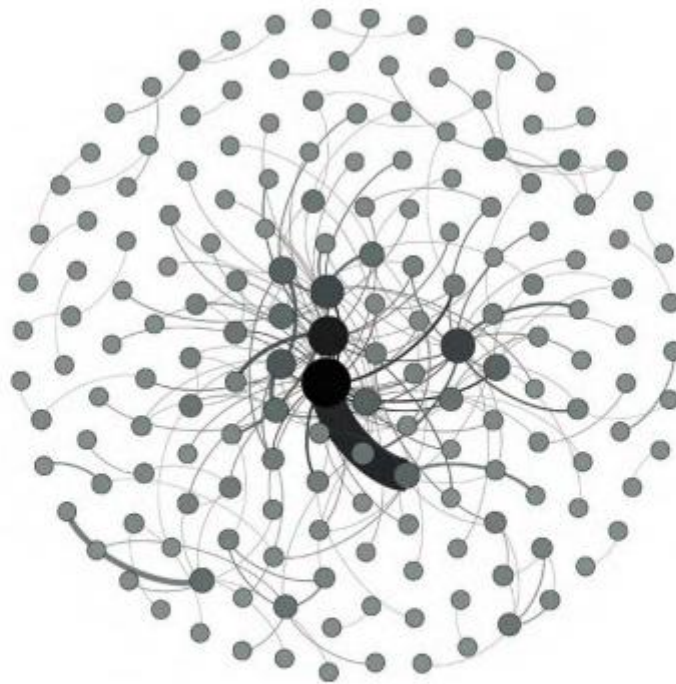
代表连边双方的合作关系，边的权重即为合作的次数，边的粗细和颜色深浅表示双方专利合作的频繁程度。



**图 1 1986—2008 年上海航空制造业产业集群
知识网络**



**图 2 2009—2014 年上海航空制造业产业集群
知识网络**



**图 3 2015—2020 年上海航空制造业产业集群
知识网络**

图 1 展示上海航空制造业产业集群知识网络处于形成期的状态，新节点加入和节点间的知识合作交流关系刚开始建立的阶段，重要节点与其他节点建立的合作较频繁，比如北京航空航天大学 and 上海交通大学。但整个知识网络中，节点数量少并松散，整体的知识交流程度低，少数节点与其他节点的知识交流频繁，大多数节点之间处于相互认识的过程。

图 2 显示了上海航空制造业产业集群知识网络已经进入成长期阶段的状态，相较于形成期，该阶段的网络规模增大，占据网络核心地位的节点也明显增多，节点之间的知识交流频繁，合作和信任关系逐步稳定。与形成期相比，北京航空航天大学依旧在形成期的知识网络中占据重要地位，中国商用飞机有限责任公司、东华大学、上海睿兔电子材料有限公司、上海飞机制造有限公司、南京航空航天大学以及中国商飞上海飞机设计研究院均在知识网络中与其他节点形成较为频繁的知识交流。但整体知识网络规模仍存在继续发展空间，个别节点占据着主导地位。

图 3 显示上海航空制造业产业集群知识网络进入成熟期，与前阶段的网络规模相比空前增大。节点数量和核心节点大量增加，知识交流程度极为频繁。除了在前阶段形成的重要节点，在成熟期时也新增重要节点，比如上海飞机客户服务有限公司、上海航天控制技术研究所、华东理工大学、中国航发商用航空发动机有限责任公司、上海机电工程研究所、上海大学和中国商飞北京民用飞机技术研究中心。此外，在该时期内，参与到整个知识网络的节点达到了 166 个，呈现出明显的无标度特性。

利用 UCIENT 计算上海航空制造业产业集群知识网络 3 个阶段结构演化的相关指标，如表 1 所示。上海航空制造业产业集群知识网络从形成期、成长期到成熟期，网络规模的增大伴随着网络节点的增长和关系总量的上升，在成熟期达到顶峰，网络密度逐渐下降。成长期阶段的节点度低于形成期的，成熟期的节点度低于形成期的，知识网络节点增加，但重要节点增多的比例大于节点增多的比例，关键节点的重要性降低，意味着知识网络的重要节点整体数量扩充。聚类系数反映结点的紧密程度，3 个阶段的聚类系数均高于同阶段的网络密度，新增的节点会优先选择具备高连接数的节点，即上海航空制造业产业集群知识网络

的专利合作关系的建立存在择优连接性。两个阶段的平均路径长度均小于 4, 说明申请人通过 4 个以内的节点就可与其他节点联系。总之, 该知识网络演化的 3 个阶段满足聚类系数高、平均路径长度小的特征, 即小世界效应的特性明显^[15]。

表 1 上海航空制造业产业集群知识网络的结构演化

指标	形成期	成长期	成熟期
节点数/个	29	72	173
关系数/个	36	61	224
网络密度	0.076 9	0.054 7	0.031 7
节点度	4.44%	3.36%	1.11%
聚类系数	0.583	0.808	3.911
平均路径长度/个	1.448	3.499	3.501

3.2 重要节点演化分析

运用 MATLAB 对上海航空制造业产业集群知识网络演化的 3 个阶段中各个节点的节点度进行统计, 得到各节点度直方图, 如图 4、图 5、图 6 所示。

形成期的网络中知识流动频繁的 1 个核心节点度值达到了 5, 个别度值达到了 3 和 4, 即在上海航空制造业产业集群知识网络中知识流动频繁的节点少之又少, 这些节点与其他节点的知识交流少甚至没有建立合作关系。整体而言, 该阶段知识网络中知识流动不活跃。

成长期的网络中少量节点知识流动的度值超过了 10, 即网络中节点之间连接边的数量不断增多, 知识流动频繁的重要节点与处于形成期的相比明显增多, 整个知识网络处于不断发展中。3 个节点知识流动的度值超过 30, 仍有多数节点知识流动的度值低于 5, 说明该时期内知识网络发展仍然存在巨大空间。

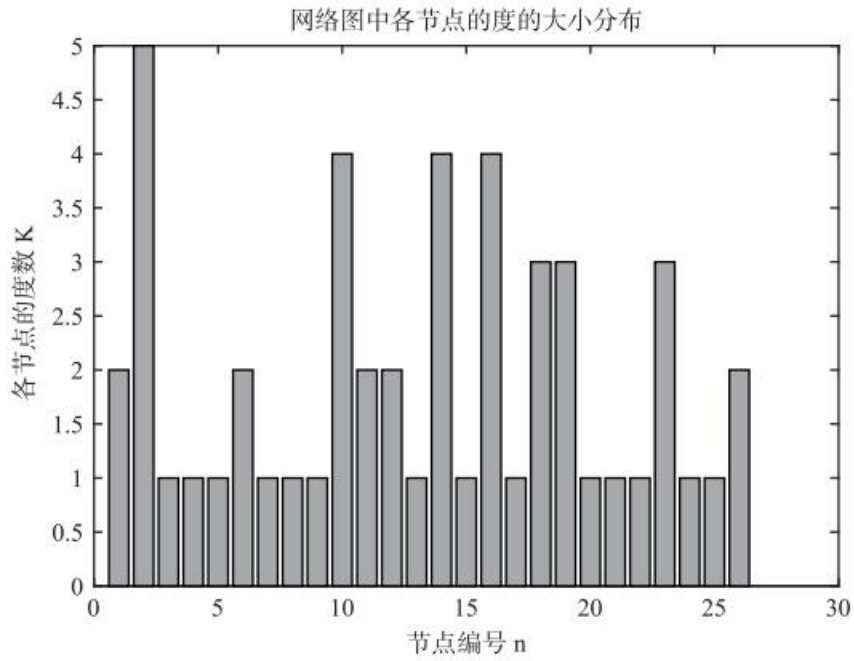


图 4 形成期知识网络节点的度分布图

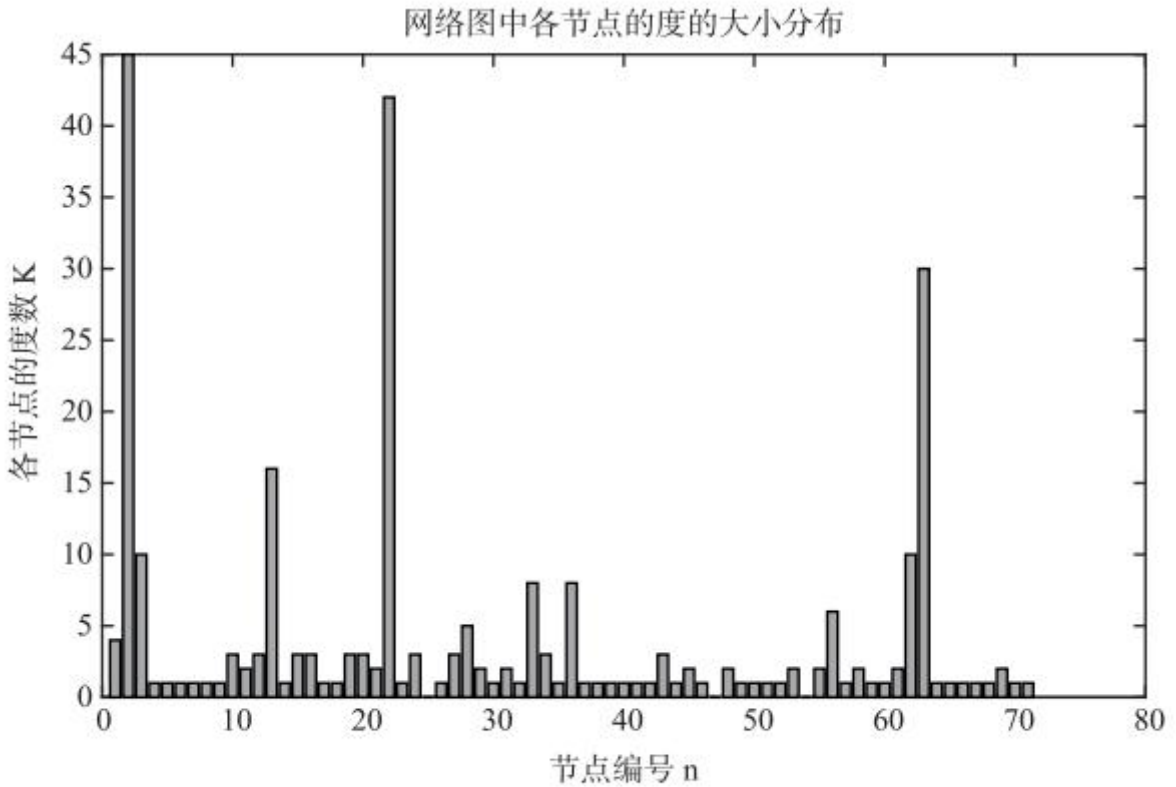


图 5 成长期知识网络节点的度分布图

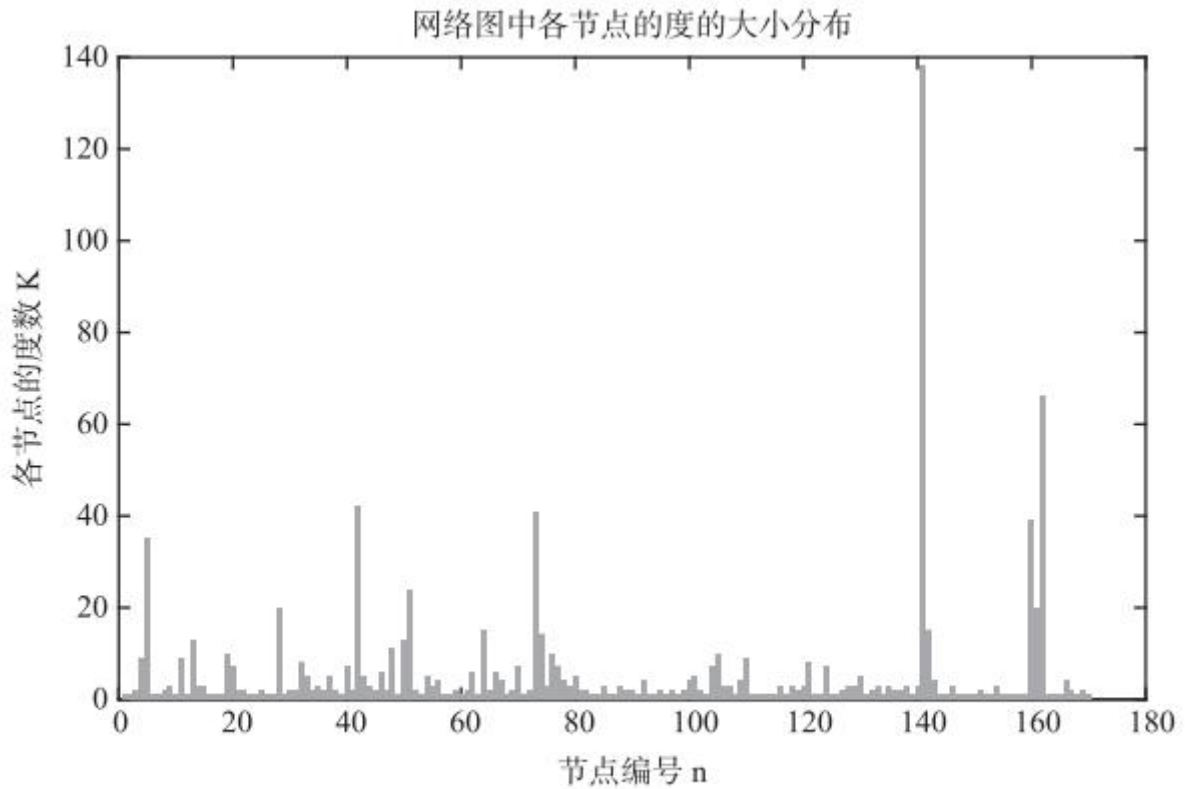


图 6 成熟期知识网络节点的度分布图

成熟期的网络中少量节点知识流动的度值超过了 20, 即网络中节点之间连接边的数量不断增多, 节点知识流动度值最高达到了 140, 成为知识网络中最为核心的节点。整体上看, 知识网络中节点知识流动的度值差距大, 个别节点已经形成绝对核心。

通过 MATLAB 对成熟期知识网络中节点的度进行幂律分布拟合, 得到的度分布拟合曲线如图 7 所示, 网络节点度分布服从幂律分布, 具备无标度特性^[16], 即知识网络中的重要节点主导着上海航空制造业产业集群知识网络。

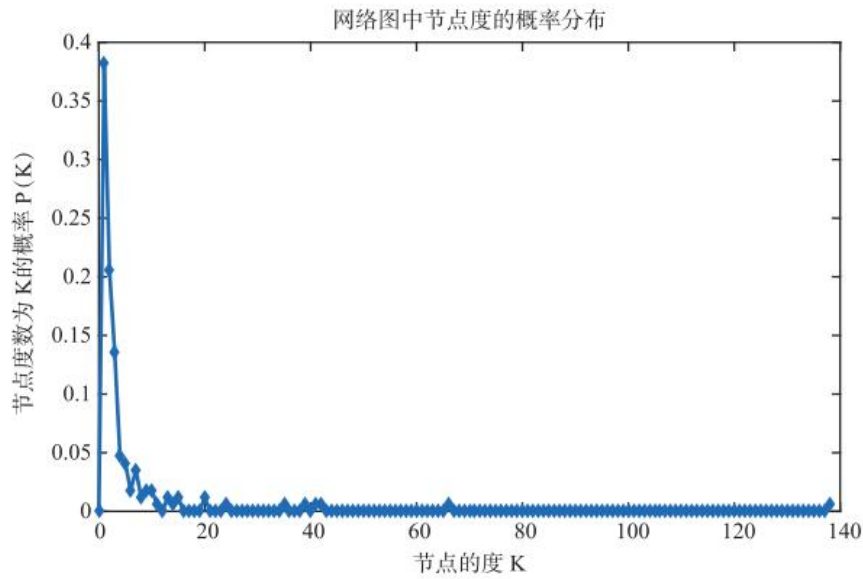


图 7 成熟期知识网络节点度的概率分布图

4 结论和建议

本文以上海航空制造业产业集群为例，基于生命周期理论，构建 1986—2020 年间上海航空制造业产业集群发明专利合作的知识网络，根据此知识网络的结构特征判定其所处生命周期的阶段，重点研究其知识网络的结构和演化发展，得出相关结论并给出建议。

上海航空制造业产业集群知识网络处于成熟期，核心节点有所增加，节点之间的合作关系相对稳定，通过频繁的知识交流充分整合知识网络的资源，节点间的合作关系逐步稳定，但知识交流的效率仍需持续提高。在演化发展中，知识网络规模有所扩大，网络密度降低，整体分散但局部紧密，小世界效应特征明显，仍存在一定的发展空间。在此阶段，强化节点之间知识交流和传递的意识尤为重要，政府采取相应的激励措施，激发知识量储备充足的节点的共享意愿，鼓励知识网络的知识共享行为。

一些知识网络的重要节点与其他节点进行知识交流频繁，与其他节点的合作起到了桥梁作用，掌握着重要的知识和技术核心，政府对具有桥梁作用的机构应加以引导或提供相应的政策扶持，正确引导这些重要节点的知识交流，攻克技术难点并共享合作成果；促进重要节点与普通节点的知识交流，实现知识扩散，提升普通节点的知识交流效率，从而实现上海航空制造业产业集群知识网络整体的发展，发挥其在网络中的控制力和影响力，促进网络主体间直接或间接合作，提高网络结构的连通性和密度。通过这种方式，提升弱势主体的合作参与度，进而提高产业的整体合作水平和创新能力，使上海航空制造业产业集群知识网络得到进一步的演化发展。

虽然参与到上海航空制造业产业集群知识网络的主体总数不断增多，专利合作活动从局部地区向全国各地扩散，但其仍存在发展不平衡的问题；不同节点主体的专利合作强度差距悬殊，发达地区的合作强度远高于不发达地区。因此，在各阶段网络核心省份变化过程中，政府可以集中资源重点培育高品质航空制造业产业集群区，发挥核心区核心节点主体的引领作用，带动产业创新发展；另外，鼓励机构跨区域合作，合理配置各区域创新资源，实现上海航空制造业产业区域间平衡发展。

参考文献:

[1] 单子丹, 项朝霞, 陈琳. 多重驱动模式下开放式知识网络的时空演化模型及治理策略[J]. 计算机集成制造系统,

2020, 26(8):2202-2215.

[2] 万君, 顾新. 知识网络的生命周期及其阶段判定模型研究[J]. 管理学报, 2012, 9(6):880-884.

[3] FORNAHL D, HASSINK R, MENZEL M. Broadening Our Knowledge on Cluster Evolution[J]. *European Planning Studies*, 2015, 23(10):1921-1931.

[4] SANCHEZ M, DIEZ-VIAL A. From incubation to maturity inside parks: the evolution of local knowledge networks[J]. *Technology Policy and Strategy*, 2017, 73(3):132-150.

[5] CARLI G, MORRISON A. On the evolution of the Castel Goffredo hosiery cluster: a life cycle perspective[J]. *Papers in Evolutionary Economic Geography*, 2018, 26(5):1-18.

[6] JOHANNES V, RAMESH P. The coevolution of knowledge and collaboration networks: the role of the technology life-cycle[J]. *Scientometrics*, 2018, 11(4):307-323.

[7] 李琳, 邓如. 产业生命周期视角下多维邻近性对集群创新的动态影响——以中国电子信息产业集群为例[J]. *软科学*, 2018, 32(8):24-28.

[8] DENNEY S, SOUTHIN T, WOLFE D. Entrepreneurs and cluster evolution: the transformation of Toronto's ICT cluster[J]. *Regional Studies*, 2020, 12(4):1-12.

[9] 荣健, 刘西林. 基于网络特性分析的产业集群生命周期研究[J]. *情报杂志*, 2006(5):100-104.

[10] AMJAD F. Ecosystem-inspired enterprise modelling framework for collaborative and networked manufacturing systems[J]. *Computers in Industry*, 2016, 80(16):54-68.

[11] 王莉, 游竹君. 基于知识流动的创新生态系统价值演化仿真研究[J]. *中国科技论坛*, 2019, 6(6):48-55.

[12] 方亮, 徐维祥. 创业视角下创新集群形成机理研究[J]. *北京交通大学学报(社会科学版)*, 2016, 15(4):57-64.

[13] 孙宇, 彭树远. 长三角城市创新网络凝聚子群发育机制研究——基于多值 ERGM[J]. *经济地理*, 2021, 41(9):22-30.

[14] 房银海, 谭清美. 协同创新网络研究回顾与展望——以复杂网络为主的多学科交叉视角[J]. *科学学与科学技术管理*, 2021, 42(8):17-40.

[15] 徐莹, 邹芳, 姜李丹, 等. 多维邻近性对技术创新合作绩效的影响效应——以长江中游城市群合作网络为例[J]. *科技管理研究*, 2022, 42(1):51-61.

[16] 祝建辉, 史恒新, 尤俊锐. 航空装备制造产业专利合作的网络结构与演化[J]. *科技管理研究*, 2021, 41(12):114-122.