创新创业教育

浙江省高校产学研协同创新网络的时空演化研究*

吕裕斌[1],周涵婷[2],余 晓[3]

(1.杭州华东医药集团新药研究院有限公司,浙江 杭州 310011;2.南京理工大学经济管理学院,江苏 南京 210094;3.中国计量大学 经济与管理学院,浙江 杭州 310018)

[摘要]文章从社会网络视角,根据高校与其他组织间的专利合作关系,构建产学研协同创新网络,分析了2000—2015年浙江省高校产学研协同创新网络的结构及其时间、空间的演化路径。研究结果表明,浙江省高校产学研协同创新网络在时间递进过程中呈现出明显的阶段特征,网络规模扩大、中心化显著,省际专利合作的空间分布及演化呈现出区域偏好,省内本土化趋势日益明显。研究结果对区域企业技术创新水平提高、区域经济发展有着重要的参考作用。

[关键词]产学研协同创新;创新网络;社会网络分析;时空演化路径

A Time-space Evolution Research on Industry-University-Research Collaborative Innovation in Zhejiang Province

Lü Yubin[1], Zhou Hanting[2], Yu Xiao[3]

(*1. Hangzhou Huadong Medicine Group Pharmaceutical Research Institute Co., Ltd, Hangzhou, Zhejiang 310011; 2. School of Economics and Management, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210094; 3.School of Economics and Management, China Jiliang University, Hangzhou, Zhejiang 310018*)

Abstract: From the perspective of social network, this paper studies the structure and time-space evolution path of the industry-university-research cooperative innovation network based on the cooperative patents data during the period of 2000—2015. The results show that the network has obvious characteristics

[作者简介]吕裕斌(1980-),男,高级工程师,博士;周涵婷(1994-),女,博士生;余晓(1978-)女,教授,博士。

[通信作者]周涵婷,E-mail:zhtcjlu@126.com。

*基金项目:浙江省自然科学基金青年基金项目"基于联合专利网络的大学产学研协同创新演化路径研究——浙江实证"(编号:LQ14G030021);教育部人文社会科学研究专项任务项目"新工科背景下工程科技人才工程能力的标准体系及质量规制研究"(编号:18JDGC035);教育部人文社会科学研究规划基金项目"大学生就业能力形成机理研究:基于社会网络学习的视角"(编号:18YJA880008)。

during the three periods from 2000 to 2015, which scale expands and trend of central is remarkable. The spatial distribution and evolution of inter-provincial patents cooperation shows the regional preference and localization trend is increasingly obvious in the intra-provincial patents cooperation. It plays a significant role in improving the level of technological innovation and regional economic development.

Key words: Industry-university-research collaborative innovation; Innovation network; Social network analysis; Time-space evolution path

产学研协同创新作为整合创新资源、提高创新效率的有效途径,能够提升企业核心技术能力、促进成果转化、形成创新驱动模式,受到了政府、产业界和学界的高度重视。自国家提出"2011 计划"以来,浙江省建立了 1 个国家级协同创新中心和 40 个省级"2011 协同创新中心"。这些协同创新中心具有"跨学科、多单位、高起点、科教融合"的特质,切实提高了区域技术创新水平,在优势行业中培养了一批高水平的创新型人才。高校在推进产学研协同过程中的目的、路径越来越清晰,主体地位越来越突出,在知识创造和扩散过程中的作用越来越明显。

一、研究背景

高校是科研成果和技术创新的重要来源,是国家创新体系的重要组成部分。高校与其他组织之间的知识交流与创新联系可有效促进知识、信息的扩散[1]。随着各国专利数据库的逐步完善及相关分析软件的发展,有关高校在产学研协同创新过程中的地位和作用的研究逐步转向定量分析,学者们开始利用专利合作信息,从网络视角进行研究。Lissoni 通过分析高校发明人合作网络,发现高校中与企业合作发明专利的发明人在网络中往往占据核心位置[2];Graf 和 Henning 以德国四个区域为样本进行研究,发现高校与研究机构在区域专利合作网络中占据重要位置,且创新网络密度越大,网络中的大学和公共研究机构就越多[3];Graf 进一步对德国和法国典型区域专利合作网络进行研究,发现高校与研究机构在网络中倾向于充当守门人角色,不断地把外部知识转移到区域内部[4]。

近年来,随着中国高校专利数量的大幅增加,学者们开始利用专利合作信息,引入社会网络分析法对产学研合作网络进行广泛研究。社会网络分析法最早由社会计量学家莫雷诺所创立[5],在 Granovetter 等补充了"嵌入性""结构洞""社会资本"等核心理论后[6-8],形成完善的理论体系,并在复杂网络研究中得到了广泛应用。近年来,国内也有不少学者利用合作专利信息和技术信息构建大学和产业的合作网络,并通过网络结构指标的测度,从个体视角和整体视角研究组织或区域产学研的演进规律[9-11]。但学者们主要围绕宏观层面的高校与企业的合作网络特征及微观层面的个体高校与企业合作模式的演化路径进行探讨,对高校产学研多主体研究和协同创新模式的关注较少,高校在产学研协同创新网络中的地位和作用无法有效凸显出来。因此,本文选取浙江省高校为研究样本,运用社会网络分析法,从时间递进和空间分布的视角,揭示产学研协同创新过程中高校扮演的角色及创新网络的时空演化机理。

二、研究对象与方法

本文选取浙江省高校作为研究对象的原因有以下两点:1. 研究高校产学研协同创新网络的空间属性及演化过程,必须要有区域载体,而浙江省作为创新强省,在专利申请方面占据区域优势。同时,"2011 计划"在浙江省的实施情况良好,目前该省已有 40 余个协同创新中心。2. 尽管浙江省仅有一所"985 高校",但省内地方高校均各具学科优势,且它们的发展与政府政策紧密相关,因此研究结果可呈现出时间阶段性和区域代表性。

本研究通过国家知识产权局的专利检索平台,收集了 2000—2015 年浙江省 34 所本科高校的发明专利并提取申请人信息,剔除无发明专利或无专利合作关系的高校(如果专利申请人中包含某高校的多个申请人,认定该高校与其余机构

存在专利合作关系),保留浙江省 29 所高校作为研究样本,具体见表 1。

表 1 29 所浙江省高校名称及类型

高校名称	类型	高校名称	类型	高校名称	类型
浙江大学	综合	宁波工程学院	工科	湖州师范学院	师范
宁波大学	综合	浙江万里学院	工科	绍兴文理学院	师范
温州大学	综合	衢州学院	工科	丽水学院	师范
台州学院	综合	浙江水利水电学院	工科	浙江第二师范学院	师范
浙江树人大学	综合	浙江农林大学	农林	浙江工商大学	其他
浙江工业大学	工科	浙江海洋学院	农林	嘉兴学院	其他
杭州电子科技大学	工科	浙江中医药大学	医药	浙江传媒学院	其他
浙江理工大学	工科	温州医科大学	医药	浙江财经大学	其他
中国计量学院	工科	浙江师范大学	师范	公安警察学院	其他
浙江科技学院	工科	杭州师范大学	师范		

本研究采用社会网络分析法,从整体网络视角对浙江省高校产学研协同创新网络进行研究。整体网络分析主要是通过对网络中成员直接或间接的相互作用所表现出的关系进行研究,从整体上把握网络所具备的特征[12]。本研究分别从节点间距离、节点重要性和网络凝聚性三个维度对整体网络特征进行分析,各维度指标如表 2 所示,各指标计算和可视化将通过 Gephi 实现[13]。

表 2 整体网络指标选择

网络特性	网络指标	指标来源
节点间距离	平均最短路径(测地线)	文献[14]
节点重要性	中间中心势	文献[15]
网络凝聚性	平均加权度	文献[16]
	网络密度	文献[17]
	聚类系数(E-I 指数)	文献[18]

三、数据处理与描述性分析

(一)阶段划分

从发明专利合作数量来看,2000—2003 年,浙江省高校年均发明专利合作数不超过 60 件,处于较低水平;2004 年后,发明专利合作数迅速增加,从 2004 年的 35 件增加到 2010 年的 289 件;2011 年,发明专利合作数呈现下降趋势,结合专利公布有 2～3 年的滞后期推测,这一趋势与 2008 年金融危机的影响有一定关系;2012—2015 年,发明专利合作数进入稳步跃升期,2015 年达到 482 件。从发明专利合作数量占发明专利总数的比例来看,2000—2003 年合作专利占比出现非稳定的上下浮动,总体呈下降趋势;2004—2010 年,合作专利占比在 6%～11%的范围内平稳浮动;2011—2015 年,合作专利占比小幅度下降,最终保持在 6%左右(见图 1)。综上可知,浙江省高校专利合作行为呈现明显的时间递进特征,可以按 2000—2003 年、2004—2010 年和 2011—2015 年分为三个阶段。本文将依据这三个阶段对浙江省高校产学研协同创新网络的时空演化路径进行研究。

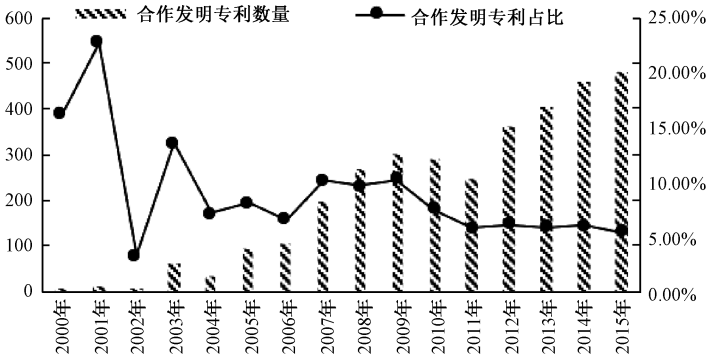


图 1　2000—2015 年浙江省高校合作发明专利数量及其占比

（二）各阶段持续合作情况

从高校数量来看，仅有 2 所高校（浙江大学和浙江工业大学）在第二阶段与其他组织存在持续的专利合作关系；随着技术进步和合作领域的扩大，有 22 所高校在第三阶段与其他组织进行持续的技术合作，其中浙江大学在合作深度（专利数量）上远超其他高校。从合作组织数量来看，由于高校数量的迅速增加，与浙江大学合作的组织数量也大幅增加，其中超过 50％的组织与其建立了持续合作关系。因此，浙江大学在合作广度和合作深度上均存在优势，值得其他高校借鉴。

（三）区域内外部合作情况

从数量上看，浙江省高校与省内外组织的专利合作数量呈阶段性增长，尤其是第一阶段到第二阶段有明显的增加；同时，与省外组织的专利合作数量少于省内，并且这一趋势越来越明显（见图 2）。从比例上看，三个阶段省内高校与省外组织合作比例分别为 49％、28％、34％，其中第二阶段的区域间合作比例较低。随着开放式合作的展开，区域间资源和知识流通效率得到提高，但仍需继续提高。

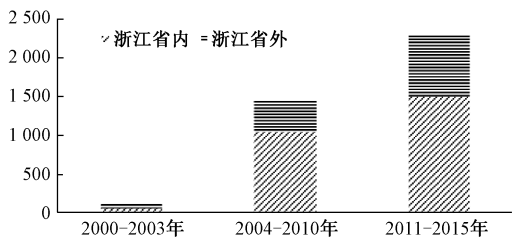
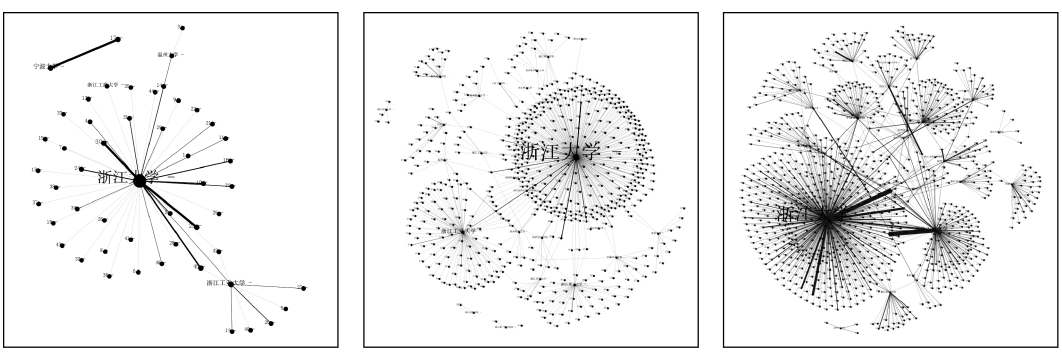


图 2　浙江省高校产学研协同创新区域合作情况

四、高校产学研协同创新网络时空演化路径分析

（一）整体网络的时间演化分析

将浙江省高校合作发明专利按照三个阶段进行汇总，并提取出专利申请人，再利用 Gephi 软件绘制出以组织为节点、以组织间专利合作关系为联系的专利合作网络，可绘制出产学研协同创新网络图（见图 3）。图 3 中网络节点越大，表示与特定高校合作的组织越多；连线越粗，表示结点间合作频次越高；节点间距离越短，表示两者关系越紧密。



第一阶段　　第二阶段　　第三阶段

图 3　三个阶段浙江省高校产学研协同创新网络图

根据结构主义嵌入性理论的观点，网络结构是通过行动者间的相互联系形成的，行动者在社会网络中的结构位置会对其行动和绩效产生重要影响[19]，因此本文将关注各阶段网络中行动者的嵌入情况和结构位置。由图3可知，第一阶段仅有宁波大学、温州大学、浙江大学和浙江工业大学4个节点嵌入网络，其中浙江大学处于核心位置；第二阶段有5所高校未嵌入网络，分别是公安警察学院、丽水学院、衢州学院、浙江水利水电学院和浙江中医药大学，而浙江大学、浙江工业大学和浙江理工大学处于核心位置；第三阶段，随着教育部“2011计划”的实施，仅浙江财经大学和浙江第二师范学院未嵌入网络（这与高校类型有关），而浙江大学、浙江工业大学、浙江理工大学、中国计量学院和浙江海洋学院处于核心位置。为描述整体网络结构随时间递进产生的变化，本文从3个维度、7个指标对协同网络的整体结构进行测度，结果见表3。

表3 产学研协同创新网络结构特征（时间阶段演变）

测度指标	2000—2003年	2004—2010年	2011—2015年
网络规模	51	616	1 012
网络边数	51	649	1 088
平均最短路径	2.24	2.89	3.26
中间中心势	0.89	0.91	0.86
平均加权度	4.31	4.71	4.51
网络密度	0.04	0.003	0.002
聚类系数	0.35	0.45	0.40

由表3可知，网络规模从第一阶段的51增加到第三阶段的1 012，说明产学研合作政策实施以来，浙江省高校与越来越多的高校、企业和科研机构开展了合作。尤其在“2011计划”以后，参与合作的组织数量大幅增加。随着网络规模的扩大，代表组织之间实际合作数量的网络边数也相应地从51增加到1 088，表明浙江省高校与其余组织间的知识交流、信息传递频率变高了。由这两个指标可以看出，第一阶段产学研协同创新网络中与浙江省高校合作的组织数量及合作次数较少，第二阶段专利合作随着网络节点的增多而增多，第三阶段网络节点及网络边数明显增加，但是相对数上增速不大。同时，实际网络边数的增速远不及理论边数的增加，这一点直接反映在网络密度指标上。

对节点间距离的观测显示，平均最短路径随着阶段递进呈现正向增长，说明网络中任意两个节点的最短路径在加长，节点间合作交流的便捷性下降，这是网络规模大幅增长带来的不利影响。

对节点重要性的观测显示，中间中心势在第二阶段小幅增加，而在第三阶段减小，整体呈下降趋势。中间中心势是描述网络中节点对资源控制程度的指标，第二阶段网络中个别节点控制其他节点间交流与资源流动的能力在扩大；随着第三阶段网络规模迅速扩大，网络节点间合作交流的阻碍相对减小，但仍然存在由个别节点（如浙江大学）带来的网络流通性上的阻碍。

对网络凝聚性的观测显示，平均加权度在第二阶段增加，但随着网络规模的扩大，在第三阶段有所下降，说明网络内节点的合作交流频率下降；网络密度从0.44下降到0.002，表示产学研合作的实际次数要远小于理论合作次数，说明网络凝聚力不高，这与平均加权度分析结果一致；同时，聚类系数的逐年增加说明网络内显著出现凝聚子群且子群内合作频繁，结合中间中心势可知，子群间交流受阻，整体网络内部未连通。

（二）整体网络的空间演化分析

在分析高校产学研协同创新网络时间演变的基础上，本文将重点从省际空间和省内空间的分布和演化模式出发，分析产学研协同创新网络，研究空间因素对协同创新效率的影响。

1.省际区域合作演化分析

根据专利合作申请人归属，本文给出了三个阶段的浙江省高校省际协同创新网络图谱，并列出了排名前五的合作省份的专利合作数量及所占比例，如图 4—6 所示。首先，从合作广度来看，浙江省高校（深色点）的合作对象从第一阶段的 8 个省份（浅色点）逐步增加到第二阶段的 25 个省份、第三阶段的 28 个省份，技术资源输出广度得到拓展。其次，从合作深度来看，合作专利数从第一阶段的 110 件增加到第三阶段的 2 286 件，数量大幅增加。同时，在总数增加的基础上，浙江省所占比例在第三阶段较之于第二阶段有所下降，说明浙江省高校在保障省内技术供给的前提下扩大了省外技术输出比例，为区域间协同创新效率的提高和区域经济发展做出了贡献。最后，浙江省高校与上海、北京等经济和科技发达地区的交流较为频繁，且第二和第三阶段排名前五位的合作省份均为浙江、北京、上海、广东和江苏，说明浙江省高校与华中、西南、西北、东北等区域省份的技术资源流通深度不够，这需要引起重视。

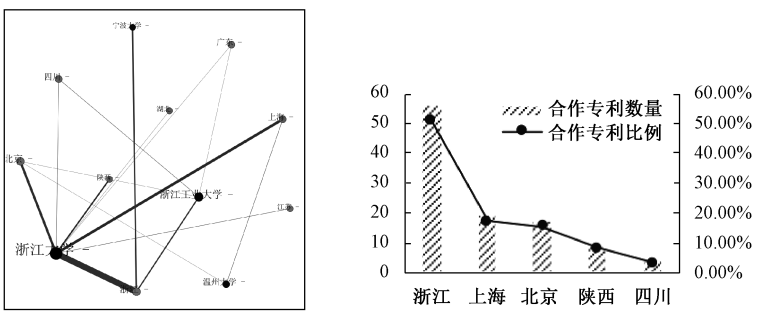


图 4　2000—2003 年省际协同创新网络图

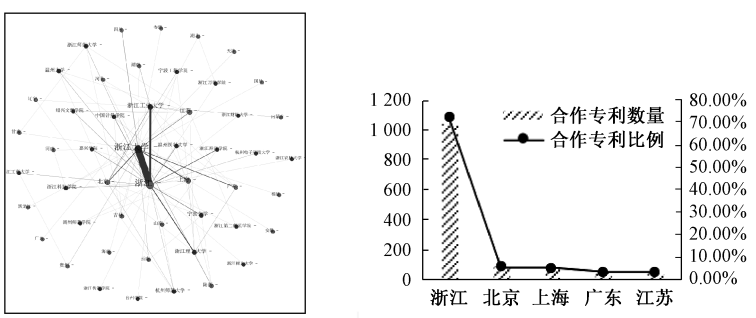


图 5　2004—2010 年省际协同创新网络图

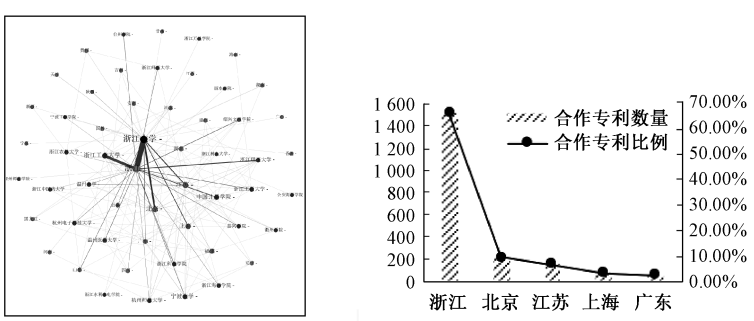


图 6　2011—2015 年省际协同创新网络图

2.省内区域合作演化分析

在完成对省际区域演化分析的基础上，本文进一步分析了省内区域的空间分布结构和演化模式。在29所浙江省高校中，15所归属杭州市，4所归属宁波市，2所归属温州市，其余每个市级区域均有1所高校。从高校与归属区域的专利合作空间分布结构来看（见图7与表4），网络规模和网络边数逐年增加，其中第二阶段增加的数量和速率均最多，到第三阶段已形成完整的高校产学研协同创新网络。随着网络规模的增大，节点间最短路径变长并随着网络规模的确定而减小，这是网络有序扩展的过程。平均加权度增加、网络密度增大（第三阶段）及聚类系数趋零化表明：网络规模稳定后，网络凝聚性增强，节点间的联系变得紧密。结合中间中心势的下降可知，网络内资源控制点减少，内部交流和资源流动更为顺畅。综合来看，浙江省高校产学研协同创新网络在空间演变过程中呈现出高聚类、多重叠的小世界雏形。

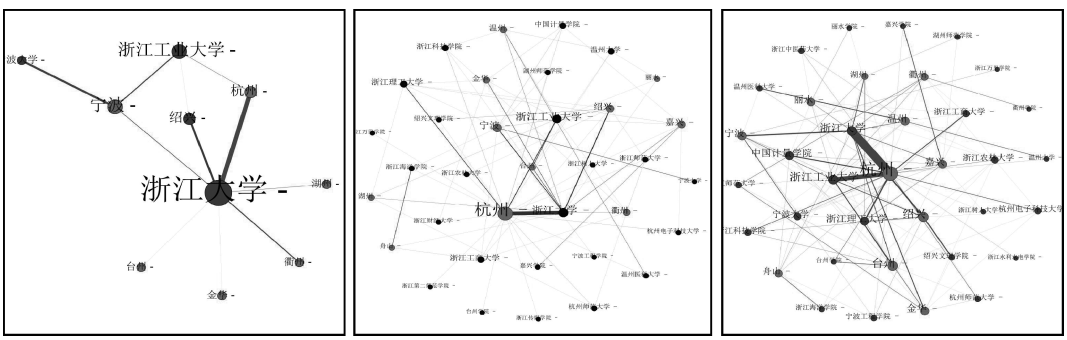


图7 2000—2015年省内区域协同创新网络图

表4 产学研协同创新网络结构特征（省内区域演变）

测度指标	2000—2003年	2004—2010年	2011—2015年
网络规模	10	35	36
网络边数	11	75	109
平均最短路径	1.98	2.29	2.24
中间中心势	0.76	0.55	0.33
平均加权度	11.20	59.83	83.33
网络密度	0.24	0.13	0.17
聚类系数	0	0	0

进一步对浙江省高校与其归属区域的专利合作数量及所占比例进行统计的结果见图8—10。从三阶段对比来看，第一阶段总体专利合作数量较少，只有宁波大学与区域内组织的合作效率（100%）超过50%，说明浙江大学和浙江工业大学与区域外部合作较多；第二阶段，专利合作数量迅速增加，有19所高校与归属区域合作效率超过50%，高校技术输出有利于本土企业创新水平提升；第三阶段，有22所高校与归属区域合作效率超过50%，3所高校实现技术输出本土化率100%。从高校节点来看，浙江大学和浙江工业大学的专利合作总数位于浙江省高校前列，但两校的技术输出效率均不高，说明其与区域外组织的专利合作较为频繁，这与高校类型和产学研协同过程中各校自身的战略定位相关，这类节点更容易成为网络关键控制点。

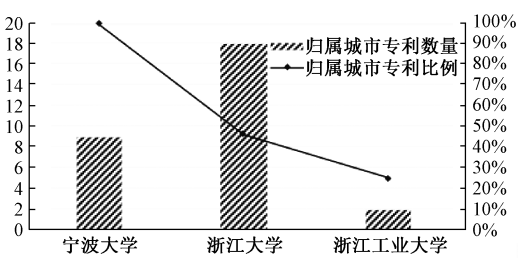


图8 2000—2003年浙江省高校与其归属区域专利合作数量及占比

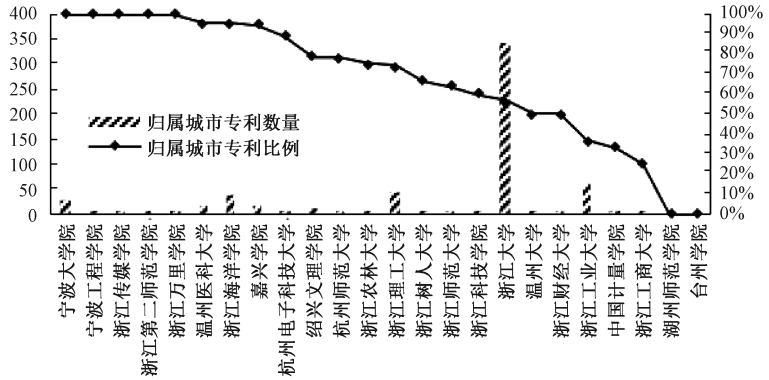


图 9　2004—2010 年浙江省高校与其归属区域专利合作数量及占比

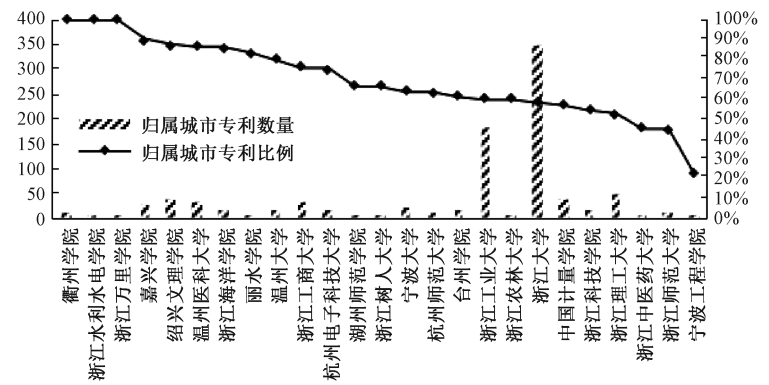


图 10　2011—2015 年浙江省高校与其归属区域专利合作数量及占比

五、结论与展望

本文基于浙江省高校发明专利合作申请数据，对产学研协同创新网络结构及时空分布的演变路径进行分析，得出以下结论。

1.浙江省高校产学研协同创新网络的时间演化呈现明显的阶段特征。2000—2003 年，浙江省高校发明专利合作总数处于较低水平，相对比例出现非稳定的上下浮动；2004—2010 年，发明专利合作数迅速增加，相对比例在区间内平稳浮动；2011—2015 年，随着“2011 计划”的提出和政策的落实，发明专利合作数进入稳步跃升期，相对比例保持在 6%左右。

2.浙江省高校产学研协同创新网络的整体结构呈现时间递进性，网络规模大、联系稀疏、中心化明显和低凝聚性的特征显著。网络规模和网络边数迅速增加，说明浙江省高校与其他组织间的专利合作、知识交流频率变高。但是，网络凝聚力逐步减小，呈现出“多而散”的状态。同时，网络中个别关键节点对资源流动控制能力在第二阶段扩大，但在第三阶段随着网络规模扩大、凝聚子群的出现和局部网络中心的存在而被分散。

3.从省际区域专利合作空间分布和演化路径来看，浙江省高校进行技术资源输出的省份数量不断增加，合作广度逐年扩展。同时，合作专利总数从第一阶段的 110 件增加到第三阶段的 2 286 件，合作深度大幅提升。在总数增加的基础上，浙江省高校在第三阶段扩大了技术的省外输出比例，为区域间协同创新效率提高和区域经济发展做出了贡献。目前，浙江省高校与上海、北京等经济发达地区的交流较为频繁，与华中、西南、西北、东北等区域内省份的技术合作深度有待提高。

4.从省内区域专利合作空间分布和演化路径来看，浙江省高校与省内区域的专利合作数量随阶段递进增加，关系也进一步密切，同时各高校与区域内组织的互动更为频繁。在网络规模稳定后，网络凝聚力提升，网络知识交流和资源流通效率提高，协同创新网络呈现小世界雏形。从高校与其归属区域的专利合作数量及所占比例来看，

浙江省高校的技术输出随着时间推移呈现明显的“本土化”趋势，这有利于本土企业创新水平提升、区域经济增长。同时，由于高校类型和产学研协同过程中的战略定位不同，浙江大学和浙江工业大学作为对外交流平台，与区域外组织的专利合作较为频繁。 （文字编辑：李丽妍）

参考文献：

[1] 吴潍，陈莉平.产学研合作创新网络的结点分析及其构建[J].价值工程，2007(1)：32-34，35.

[2] Lissoni F. Academic inventors as brokers[J]. Research Policy，2010，39(7)：843-857.

[3] Graf H，Henning T. Public Research in Regional Networks of Innovators：A comparative study of four East German regions[J]. Regional Studies，2009，43(10)：1349-1368.

[4] Graf H. Gatekeepers in regional networks of innovators[J]. Cambridge Journal of Economics，2011，35(1)：173-198.

[5] Freeman L C. The development of social network analysis：A study in the sociology of science[M]. Vancouver，BC：Empirical Press，2004.

[6] Granovetter M. Economic action and social structure：The problem of embeddedness [J]. American Journal of Sociology，1985，91(3)：481-510.

[7] Burt R S. Structure holes：the social structure of competition [M]. Cambridge：Harvard University Press，1992.

[8] Lin N. Social capital：A theory of social structure and action [M]. Cambridge：Cambridge University Press，2001.

[9] 刘红光，刘琼.基于社会网络分析的浙江大学专利合作模式演化路径研究[J].图书情报研究，2015(2)：67-74.

[10] 马艳艳，刘凤朝，孙玉涛.中国大学-企业专利申请合作网络研究[J].科学学研究，2011(3)：390-395.

[11] 刘凤朝，马荣康，姜楠.基于“985高校”的产学研专利合作网络演化路径研究[J].中国软科学，2011(7)：178-192.

[12] 高霞.基于专利的我国ICT产业产学研合作创新实证研究[J].中国管理科学，2013(z2)：715-719.

[13] 关迎晖，向勇，陈康. 基于Gephi的可视分析方法研究与应用[J].电信科学，2013(z1)：112-119.

[14] Potamias M，Bonchi F，Castillo C，et al. Fast shortest path distance estimation in large networks[C]. Proceedings of the 18th ACM conference on Information and knowledge management，2009：867-876.

[15] Abbasi A，Hossain L，Leydesdorff L. Betweenness centrality as a driver of preferential attachment in the evolution of research collaboration networks [J]. Journal of Informetrics，2012，6(3)：403-412.

[16] 刘勇，杜一.网络数据可视化与分析利器：Gephi中文教程[M].北京：电子工业出版社，2017.

[17] 池仁勇.区域中小企业创新网络形成、结构属性与功能提升：浙江省实证考察[J].管理世界，2005(10)：102-112.

[18] 卢章平，王晗啸，李凤春，等.社会网络分析在社交媒体上的应用研究[J].情报科学，2016，34(12)：75-81.

[19] 郭劲光.网络嵌入：嵌入差异与嵌入绩效[J].经济评论，2006(6)：24-30.