

【综合研究】

# 技术融合距离的聚类特征与影响因素

——基于大规模专利数据的实证研究

冯 科 曾德明

**【摘 要】**建设工业4.0需要推动新兴信息技术与其他领域技术的深度融合。然而跨领域、远距离的技术融合面临较大的风险与挑战。采用电子信息、汽车、装备制造产业1985-2014年约240万专利数据,以三大产业中的技术领域为研究对象,基于聚类分析研究其技术融合距离动态发展过程中的聚类特征,利用Tobit模型解析其技术融合距离的影响因素。实证研究表明,融合距离最远的技术领域,其动态发展过程表现出多元化、差异化的聚类特征;申请人合作团队规模、产学研合作、专利积累、政府科技计划投入显著促进技术融合距离的延伸;发明人团队规模则对技术融合距离先提升、后抑制。应鼓励合作创新、优先关注前期积累丰富的技术领域、构建多目标结合的融合性技术领域财政资金投入组合。

**【关键词】**技术融合距离;聚类特征;影响因素;Tobit模型

**【作者简介】**冯科(通讯作者),湖南大学工商管理学院助理教授,硕士生导师,博士;曾德明,湖南大学工商管理学院教授,博士生导师,博士(长沙 410082)。

**【原文出处】**《管理评论》(京),2019.8.97~109

**【基金项目】**国家自然科学基金项目(71603080;71472061;71602046);湖南省自然科学基金项目(2015JJ4016);湖南大学“中央高校基本科研业务费专项资金”项目资助。

## 引言

中国政府于2015年、2017年分别颁布《中国制造2025》、《新一代人工智能发展规划》两项行动纲领,以新兴信息技术变革传统制造业,在重点前沿领域探索布局,加速聚集具有国际比较优势的创新能力,打造新的长期经济增长引擎。这些战略规划的核心主旨在于促进新兴信息技术与其他领域技术的深度融合,推动突破性、颠覆性创新的涌现,加速实现产业升级,抢占工业4.0时代国际竞争的制高点。

然而,让不同领域的技术实现深度融合并非易事。当领域之间的差距越大,它们之间的技术异质性程度越高。本研究将两个发生融合关系的技术领域之间的技术异质性定义为技术融合距离<sup>[1]</sup>。实现

远距离的技术融合是一项充满风险与失败的创新活动。李丫丫和赵玉林<sup>[2]</sup>指出从20世纪90年代开始,生物技术与信息技术逐步融合,历经近20年的动荡发展才形成较为稳定的生物芯片技术范式。Kaplan和Vakili<sup>[3]</sup>认为对陌生领域的技术进行“远跳式”整合,需要突破已有技术领域的局限性和狭隘视野进行创造性的反复迭代试验,不确定性极高。因此,一个重要的问题是什么因素能够克服这些困难并推动远距离技术融合的发生?虽然关于技术融合、产业融合的研究正在蓬勃发展,但多数研究聚焦于技术融合趋势的定量分析方法<sup>[4-6]</sup>,或者融合对传统工业成本最小化<sup>[7]</sup>、产业结构<sup>[8]</sup>、研发与创新绩效<sup>[9]</sup>、生产与出口绩效<sup>[10]</sup>、产业虚拟集聚<sup>[11]</sup>的影响。仅有Cavaggioli<sup>[11]</sup>、Geum等<sup>[12]</sup>学者直接探讨技术融合的驱动因素。然

而,关于技术融合距离的影响因素,现有研究还未能提供直接而清晰的回答。

同时,贯彻实施前述行动纲领,围绕重点前沿领域探索布局,需要以全局视角对相关技术领域的技术融合动态发展模式进行科学分析,制定有针对性的系统发展策略。已有研究重点关注了一系列特定的技术领域,比如纳米技术<sup>[4]</sup>、印刷电子技术<sup>[5]</sup>、功能性食品技术和药妆技术<sup>[6、13]</sup>、3D打印技术<sup>[14]</sup>、信息技术和电动汽车技术<sup>[15]</sup>等,挖掘单项技术之间的融合规律。Lee等<sup>[16]</sup>、Cavaggioli<sup>[1]</sup>则认为进一步研究需以系统性的思维,采用大规模数据样本,从支撑产业政策制定视角,对大量技术领域的技术融合动态发展模式与影响因素进行全面研究,以形成更具普遍性的政策建议。

基于上述思考,本文选择《中国制造2025》、《新一代人工智能规划》重点关注的电子信息产业、汽车产业、装备制造产业,采集1985–2014年约240万专利数据,以三大产业涉及的技术领域为研究对象,挖掘其技术融合距离动态发展过程中的聚类特征与影响因素。首先,根据主流研究推荐的方法,本文以三大产业专利数据中的国际专利分类体系(IPC)界定技术领域,并基于IPC共现矩阵和社会网络分析法分别构建三大产业各自的技术融合网络,测算网络中各个技术领域的技术融合距离。然后,构建多个反映样本时空动态变化趋势的特征向量,结合聚类分析法研究三大产业中融合距离最远的技术领域及其动态发展过程中的聚类特征。最后,以前述技术融合网络中技术领域的技术融合距离为因变量,采用Tobit模型解析其影响因素。

## 研究方法

### 1. 基于IPC共现矩阵和社会网络分析法分别构建三大产业中的技术融合网络

技术融合是指不同技术领域相互交叉渗透<sup>[13]</sup>。一系列研究使用专利IPC共现(IPC co-occurrence)对技术融合进行定量测度<sup>[4、6、13]</sup>。专利IPC共现是指两个或两个以上不同的专利IPC分类号在同一个专利中被同时使用。由于专利IPC分类号对专利的技术领域进行界定,专利IPC分类号共现表征不同技术领域的知识在同一件专利中被联合使用。IPC分类号前四位(简称IPC4)包括部、大类、小类三个层次的代码,这些代码所对应的技术领域逐级细分,被现有研究广泛用于分析专利的技术领域属性。刘凤朝等<sup>[4]</sup>、李丫丫和赵玉林<sup>[2]</sup>等学者参照世界知识产权组织发布的ISI-OST-INPI分类体系将IPC4分类号转化为相应的技术部门(sector)或者技术领域(field),挖掘它们之间的融合关系。而Cavaggioli<sup>[1]</sup>和Lee<sup>[16]</sup>则认为IPC4分类体系对技术领域的划分相对合理均衡,因此能够更好的反映技术融合发展变化过程中的多样性。参考他们的研究方法,本文将一个IPC4分类号视为一个技术领域,将一对IPC4分类号在同一个专利中的共现视为一对技术领域之间的融合关系,以此构建技术融合网络。

本研究从1985–2014年三大产业的所有专利中提取IPC4分类号之间的共现关系,按照一年窗口期滚动的方法,针对每个产业分别构建每年IPC4共现矩阵,最后形成30年共90个IPC4分类号共现矩阵。一个典型的IPC4分类号共现矩阵如图1所示。该矩阵横轴、纵轴为IPC4分类号,以对角线为对称轴。单

|      | A01B | A01C | A01D | A01F | A01G |
|------|------|------|------|------|------|
| A01B | 24   | 1    | 3    | 0    | 0    |
| A01C | 1    | 70   | 0    | 0    | 0    |
| A01D | 3    | 0    | 37   | 4    | 4    |
| A01F | 0    | 0    | 4    | 19   | 0    |
| A01G | 0    | 0    | 1    | 0    | 8    |

图1 IPC4分类号共现矩阵示例

元格中的数字代表一对IPC4分类号在当年某产业所有专利中共现的次数。随后采用社会网络分析法和Gephi软件对矩阵进行技术融合网络图谱分析。图2展示了一个典型的技术融合网络图谱。图中网络节点为IPC4分类号,节点之间的连线表示IPC4分类号之间的共现关系,即一对技术领域之间的融合关系。

构建上述技术融合网络后,计算每期网络中每个IPC4分类号的技术融合距离。其计算公式为:

$$d_{it} = \frac{\sum_j m_{ji}}{r_{it}} \quad (1)$$

公式(1)中  $r_{it}$  表示时期  $t$  在技术融合网络中与IPC4分类号  $i$  发生直接融合关系的其他IPC4分类号的数量。 $m_{ji}$  表示发生直接融合关系的IPC4分类号  $j$  与  $i$  之间的技术融合距离。则  $d_{it}$  测度某个IPC4分类号某期所发生的所有技术融合关系之技术融合距离的均值。根据Caviggioli<sup>[1]</sup>推荐的方法,任意两个IPC4分类号之间技术融合距离的计算公式如下:

$$m_{ji} = w_1 \times \text{DISTIPC1} + w_2 \times \text{DISTIPC3} + w_3 \times \text{WIPO5} + w_4 \times \text{WIPO35} \quad (2)$$

其中DIS TIPC1表示IPC4分类号  $i$  与  $j$  前一位字符是否相同,如果相同则取值为0,如果不同则取值

为1。DIS TIPC3表示这两个IPC4分类号前3位字符是否相同,如果相同则取值为0,如果不同则取值为1。WIPO5表示参照世界知识产权组织发布的ISI-OST-INPI分类体系,这两个IPC4分类号是否属于同一个技术部门(secto),如果是则取值为0,如果不是则取值为1。WIPO35表示参照世界知识产权组织发布的ISI-OST-INPI分类体系,这两个IPC4分类号是否属于同一个技术领域(field),如果是则取值为0,如果不是则取值为1。另外,  $w_1=0.3, w_2=0.2, w_3=0.3, w_4=0.2$ 。当IPC4分类号  $i$  与  $j$  前一位字符不相同或者不属于同一个技术部门(secto),相对其他情况而言此时的技术异质性程度越高。Caviggioli<sup>[1]</sup>认为这样的权重赋值综合了IPC和ISI-OST-INPI两种分类体系对技术异质性进行测度,从而更加全面和平衡;此外,它能充分反映出技术融合距离随着两个IPC4分类号之间相对技术领域跨度的增加而增加。因此,  $m_{ji}$  的取值范围为[0 1],取值越大则技术融合距离越远。

2. 基于多维度特征向量的聚类分析研究技术融合距离动态发展过程中的聚类特征

聚类分析根据某些特征维度对观测对象进行分

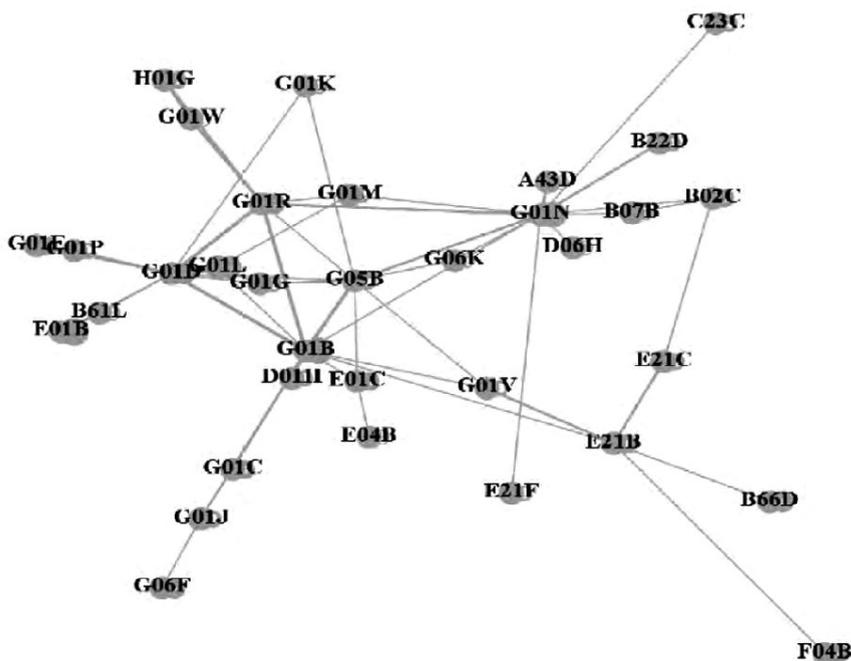


图2 技术融合网络示例

组,使组内观测对象的相似性最高,而组间观测对象的异质性最高,被广泛用于对观测对象的内在特性进行探索性研究<sup>[17]</sup>。目前存在两种聚类分析方法,即层次聚类法(hierarchical clustering)和非层次聚类法(non-hierarchical clustering)。层次聚类法通过计算观测对象在一个或多个维度上的相似性以构建一种嵌套聚类树,从而将观测对象分为多组,组内观测对象具有相似特征。它主要包括单连接(single linkage)、全连接(complete linkage)、平均连接(average linkage)、中心连接(centroid linkage)、最小离差平方和法(ward's method)。而非层次聚类法则按照事先确定的分组个数进行聚类分析,在确定每组的初始观测对象之后,其他观测对象按照相似度最高的原则被归并入特定的组。Ketchen和Shook<sup>[17]</sup>认为采用层次聚类法时事先缺乏对样本结构的理解从而难以选择最合适的算法,并且其分析结果不稳定,难以对明显存在缺陷的结果进行修正。而非层次聚类法不仅更少受样本极端值的影响,其分析结果也能够更好的实现组内同质性和组间异质性。因此,根据Ketchen和Shook<sup>[17]</sup>、Milligan和Sokol<sup>[18]</sup>的建议,本研究首先采用层次聚类法确定每个产业内部的分组数量,然后以此为依据采用非层次聚类法对每个产业样本分别进行聚类分析。本研究采用层次聚类法中的平均连接算法,因为其适用性更好,而且分析结果更稳定<sup>[19]</sup>。对于非层次聚类法,本研究采用Kmeans算法,因为其分析结果更稳健<sup>[2]</sup>。

技术融合距离动态发展过程中的分类特征是本研究关注的焦点之一,构建反映样本时空动态变化信息的特征向量以进行聚类分析可以更好的挖掘观测对象的动态变化特征<sup>[20]</sup>。因此,本研究以每个产业30年IPC4共现矩阵为初始样本,构建技术融合距离全时平均增速、技术融合力全时均值、技术融合历史三个特征向量作为聚类分析的特征维度,以挖掘不同技术领域的时空变化特征。随后,计算每个IPC4分类号的技术融合距离全时均值,选择每个产业中该指数位列前10%的IPC4分类号所对应的技术领域作为聚类分析的样本。因此,本研究的聚类分

析主要研究三大产业中技术融合距离最远的技术领域及其动态发展过程中的聚类特征。由于不同类型的观测对象存在不同的量纲和数量级,Hair等<sup>[21]</sup>建议首先进行标准化和无量纲处理,然后再进行聚类分析。但Blashfield和Aldenderfer<sup>[22]</sup>、Ketchen和Shook<sup>[17]</sup>认为标准化和无量纲处理后的数据用于聚类分析,难以直观揭示其结果的经济意义。基于后者观点,本研究直接利用未经标准化处理的特征向量数据进行聚类分析。

技术融合距离全时均值的计算公式如下:

$$A_i = \frac{\sum_{t=1}^T d_{it}}{T} \quad (3)$$

其中, $A_i$ 为IPC4分类号*i*的技术融合距离全时均值。 $d_{it}$ 为*i*在第*t*期的技术融合距离。 $T$ 表示*i*的总观测时期数。该指数测算某个技术领域在全部样本观测期内技术融合距离发展的绝对水平。

技术融合距离全时平均增速的计算公式如下:

$$G_i = \frac{\sum_{t=2}^T \frac{d_{it} - d_{i(t-1)}}{d_{i(t-1)}}}{T - 1} \quad (4)$$

公式(4)中 $G_i$ 为IPC4分类号*i*的技术融合距离全时平均增速。 $d_{it}$ 为*i*在第*t*期的技术融合距离。 $T$ 表示*i*的总观测时期数。根据上述计算公式,该特征向量表征某个技术领域在全部样本观测期内的平均增长趋势。

技术融合力全时均值的计算公式如下:

$$C_i = \frac{\sum_{t=1}^T r_{it}}{T} \quad (5)$$

$C_i$ 为IPC4分类号*i*的技术融合力全时均值。 $r_{it}$ 为*i*于时期*t*在技术融合网络中的度中心性。度中心性计算*i*在当期技术融合网络中与多少个其他IPC4分类号发生融合关系,能够反映其技术融合力的大小<sup>[4]</sup>。 $T$ 为*i*的总观测时期数。该特征向量反映了某技术领域在全部样本观测期内技术融合力发展的绝对水平。

技术融合历史的计算公式如下:

$$h_i = t_{it} - t_{ij} \quad (6)$$

$h_i$ 为IPC4分类号*i*的技术融合历史。 $t_{it}$ 表示*i*在全部样本观测期内最新发生技术融合的年份, $t_{ij}$ 表示

$i$ 最早发生技术融合年份。该特征向量测度某个技术领域在多长时间时期内存在技术融合现象。

### 3. 基于Tobit模型研究技术领域之技术融合距离的影响因素

为了进一步解释技术融合距离的影响因素,本研究以技术融合网络中IPC4分类号所对应的技术领域的技术融合距离为因变量建立多元回归方程。因变量的取值范围为[0, 1],属于受限因变量,此时适宜采用Tobit模型进行计量分析<sup>[23]</sup>。为了与因变量的统计口径保持一致,本研究借鉴Cavaggioli<sup>[1]</sup>所推荐的方法,使所有解释变量和控制变量的统计口径皆为每个产业中各个IPC4分类号所对应的技术领域。因此,该部分实证研究从技术领域层面研究技术融合距离的影响因素。

现有研究对技术融合距离的探讨是多元化的,本研究从多个维度选择解释变量进行计量分析。从组织间合作的角度,Curran<sup>[24]</sup>指出异质知识以无形资产的形式分散于不同组织中,组织间合作有利于促进异质性程度较高的知识被整合。然而,一系列研究也指出随着合作关系数量的增加,其治理与协调成本也不可避免的上升。其中包括合作主体自身吸收能力的局限性<sup>[25]</sup>、搭便车<sup>[26]</sup>、套牢与要挟<sup>[27]</sup>等恶性成本。这些消极成本可能对异质知识的整合产生抑制作用。因此,本文将每个产业专利数据中某个技术领域的申请人合作团队规模及其二次项作为主要解释变量引入回归模型,以检验其非线性关系是否存在。从发明人团队的角度,Gruber等<sup>[28]</sup>、汤超颖和丁雪辰<sup>[29]</sup>认为发明人团队教育背景和知识结构的多样性、通用性影响跨领域技术整合的方式。而Kotha等<sup>[30]</sup>研究发现发明人团队内部同样存在治理和协调成本。当团队尝试整合异质性较高的知识时,这种成本尤其突出。因此,每个产业专利数据中某个技术领域发明人团队规模及其二次项也纳入模型作为主要解释变量,以检验发明人团队规模与技术融合距离之间是否存在非线性关系。从产学研合作的角度,Soh和Subramanian<sup>[31]</sup>指出大学与企业之间的合作能够促进异质知识的整合。因此,本文将每个产业

某个技术领域中大学与企业合作团队的数量引入模型,作为产学研合作的代理变量,分析其与技术融合距离之间的关系。从政府干预的角度,李彰和苏竣<sup>[32]</sup>、饶凯等<sup>[33]</sup>认为公共科技计划投入弥补“市场失灵”问题,推动前瞻性、通用性领域科学技术的繁荣,通过“增量效应”和“信号功能”引导私营部门对基础研究成果的应用与产业化。本文将中国政府科技计划投入纳入模型,作为重要环境变量,挖掘其与产业中技术领域的技术融合距离之间的关系。此外,技术自身的复杂度、成熟性、通用性也影响其发生技术融合的概率以及融合距离的远近<sup>[24]</sup>。因此,技术领域的融合历史、融合倾向、专利存量、产业属性被纳入回归模型作为控制变量。回归模型设定如下:

$$\text{Technological\_distance}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{Assignee}_{it} + \beta_2 \text{Assignee}^2_{it} + \beta_3 \text{Inventor}_{it} + \beta_4 \text{Inventor}^2_{it} + \beta_5 \text{U\_I\_collaboration}_{it} + \beta_6 \text{S\&T\_funding}_{it} + \beta_7 \text{Converging\_age}_{it} + \beta_8 \text{Converging\_tendency}_{it} + \beta_9 \text{Patent\_stock}_{it} + \beta_{10} \text{IT\_industry}_i + \beta_{11} \text{Automobile\_industry}_i + \beta_{12} \text{Year\_2009}_i + \beta_{13} \text{Year\_2010}_i + \beta_{14} \text{Year\_2011}_i + \beta_{15} \text{Year\_2012}_i + \beta_{16} \text{Year\_2013}_i + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

模型(7)中,Technological\_distance<sub>it</sub>代表技术领域的技术融合距离。Assignee<sub>it</sub>表示技术领域中申请人合作团队规模。Inventor<sub>it</sub>表示技术领域中发明人团队规模。U\_I\_collaboration<sub>it</sub>表示技术领域中大学—企业合作团队的数量。S&T\_Funding<sub>it</sub>表示中国政府科技计划投入。Converging\_age<sub>it</sub>表示技术领域的融合历史。Converging\_tendency<sub>it</sub>表示技术领域的融合倾向。Patent\_stock<sub>it</sub>表示技术领域的专利存量。IT\_industry<sub>i</sub>为电子信息产业属性虚拟变量。Automobile\_industry<sub>i</sub>为汽车产业属性虚拟变量。Year\_2009<sub>i</sub>、Year\_2010<sub>i</sub>、Year\_2011<sub>i</sub>、Year\_2012<sub>i</sub>、Year\_2013<sub>i</sub>为年份虚拟变量。

### 数据

电子信息、汽车、装备制造产业的专利数据是构建技术融合网络、获取技术融合距离指数以及其他相关变量的主要数据来源。专利数据来源于国家知识产权局的“国家重点产业专利信息服务平台”。该平台收录了历年来电子信息、汽车、装备制造产业等

十大产业的中国专利数据。该平台针对每个产业提供单独的检索入口,对专利的产业属性界定清晰。从该平台获取了1985-2014年三大产业的所有专利数据,总量约240万专利。由于该平台定期更新数据,最新年份的专利数据不稳定,因此对专利数据的获取截至2014年。每条专利题录数据包括该专利的申请时间、分类号、申请人、发明人、摘要等信息,从而为本研究所涉及的技术领域、申请人团队、发明人团队、专利存量、产业属性、年份等变量提供数据来源。外观设计专利采用洛迦诺分类体系,与发明专利和实用新型专利的IPC分类体系截然不同。因此本研究仅采用发明专利和实用新型专利。中国政府

科技计划投入的数据来源于《中国科技统计年鉴》。包括2005-2014年中国政府对863计划、基础研究计划、科技支撑计划、科技基础条件建设、星火计划、火炬计划、国家重点新产品计划、科技型中小企业技术创新基金、国际科技合作与交流专项经费、科研院所技术开发专项的年度投入经费总额。

### 实证分析结果

#### 1. 技术融合网络演化分析

基于前文所述的方法,本研究分别为三大产业构建了1985-2014年间的技术融合网络。图3-图5说明了三大产业各自技术融合网络节点数量、链接数量、网络密度的演化趋势。其一,30年间三大产

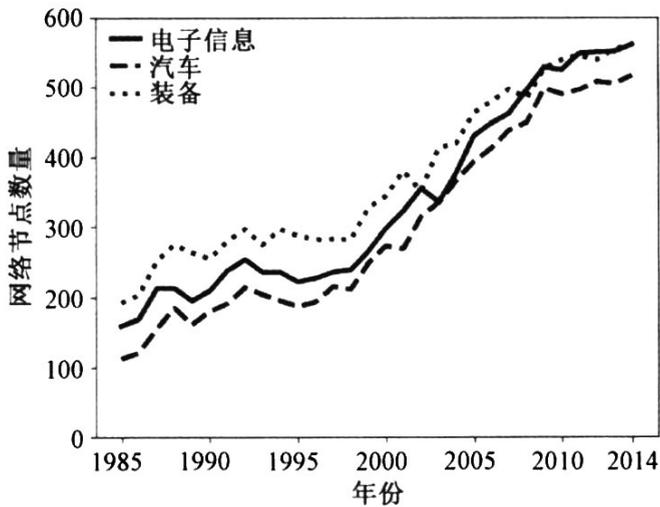


图3 三大产业各自技术融合网络中网络节点数量变化趋势

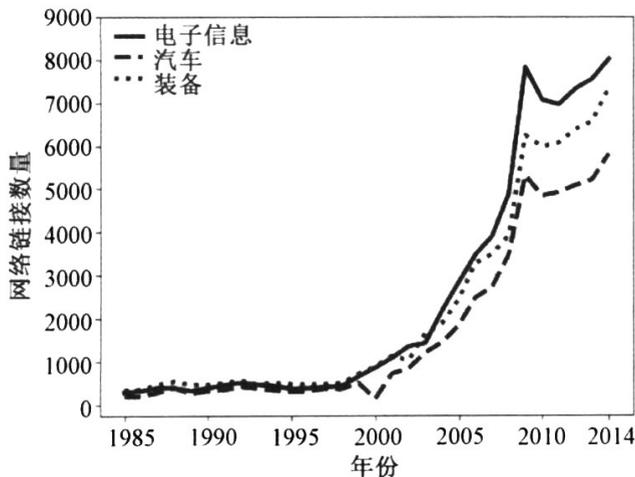


图4 三大产业各自技术融合网络中网络链接数量变化趋势

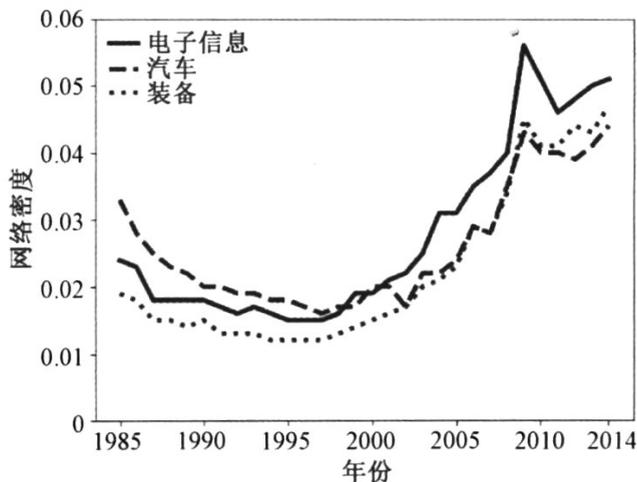


图5 三大产业各自技术融合网络的网络密度变化趋势

业各自的网络节点、网络链接规模都表现出持续扩张趋势,发生融合的技术领域数量不断增长。其二,网络密度呈先下降、后上升的趋势,技术领域之间的多边融合自2000年以后更加突出。其三,三大产业之间存在明显差异,早期电子信息产业技术融合的规模和密集度相对较弱,但后期显著赶超另外两个产业。

图6展示了1985、1994、2004、2014年网络图

谱。该图表明三大产业技术融合网络演化存在下述两个方面的共性。其一,每个产业的整体网络包含一个占据主导地位的核心子网络以及其他类似“孤岛”的小型子网络。核心子网络中的技术领域之间形成相互连通的网路结构,而一系列小型子网络则与核心子网络相互孤立。其二,1985-2014年间三个产业各自技术融合网络中的核心子网络不断规模化、密集化,而孤立的小型子网络日益式微。这说明

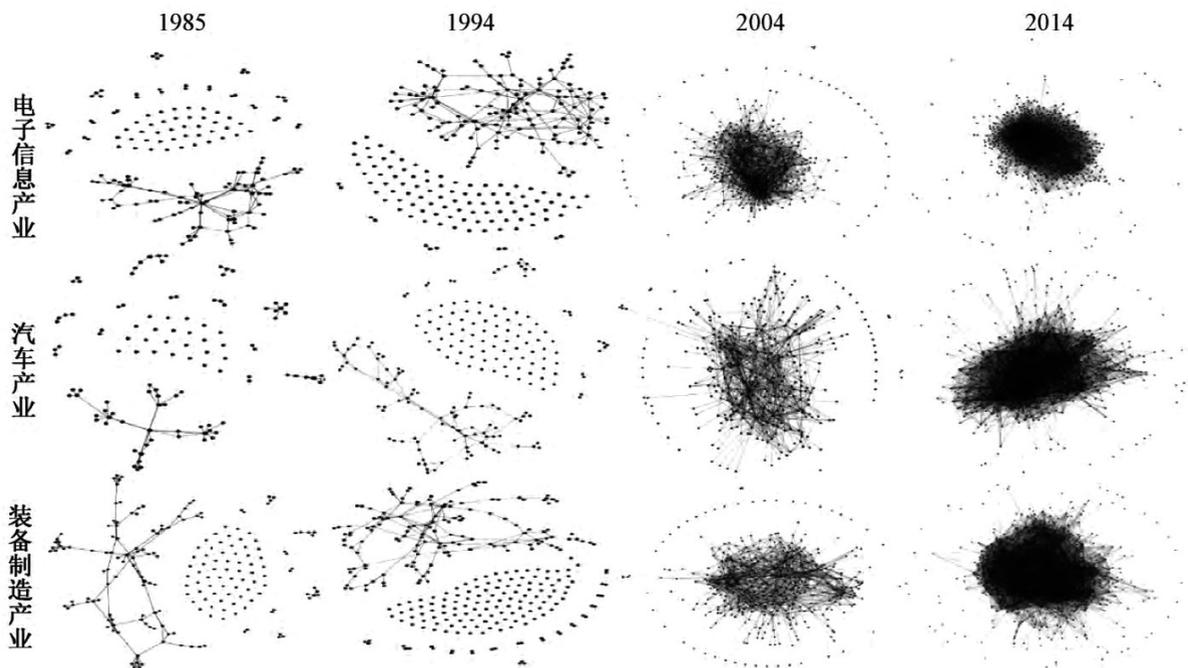


图6 三大产业各自技术融合网络的网络图谱:1985-2014年

曾经作为“孤岛”的某些技术领域,不断被核心子网络吸纳,与产业中的主导性技术领域发生交汇融合。

## 2. 技术融合距离演化分析

三大产业各自技术融合网络中技术融合距离均值的发展趋势如图7所示。图中体现了两个明显的特征。其一,从1985年到20世纪90年代末,三大产业各自的技术融合距离均值保持水平波动态势;但90年代末期以来,三大产业各自的技术融合距离都出现了显著增长。其二,电子信息产业的技术融合距离明显高于另外两个产业,而且这种差距在2000

年以来有扩大的趋势。

图8则汇报了三大产业各自技术融合距离偏态在过去30年的变化趋势。同样呈现两个明显的特征。首先,2000年以前三大产业的技术融合距离在正偏态范围内基本维持水平波动,但在2000年以后迅速下降,并最终转化为负偏态。这说明早期近距离融合发生的频数更高,而后期转变为远距离融合的频数更高。此外,相对于另外两个产业,电子信息产业技术融合距离偏态稳定维持在更低的水平,并且在2000年以后差距进一步扩大。因此,相对另外

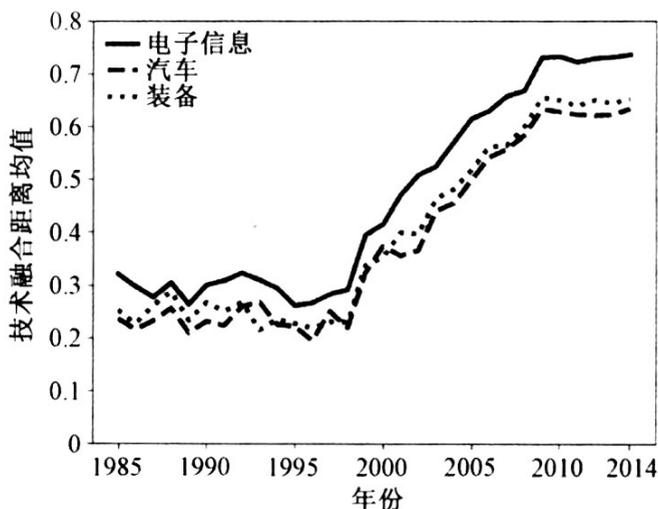


图7 三大产业各自技术融合网络中技术融合距离均值的演化趋势

注:某产业技术融合网络中的技术融合距离均值是指该网络中所有技术领域的技术距离的平均值。

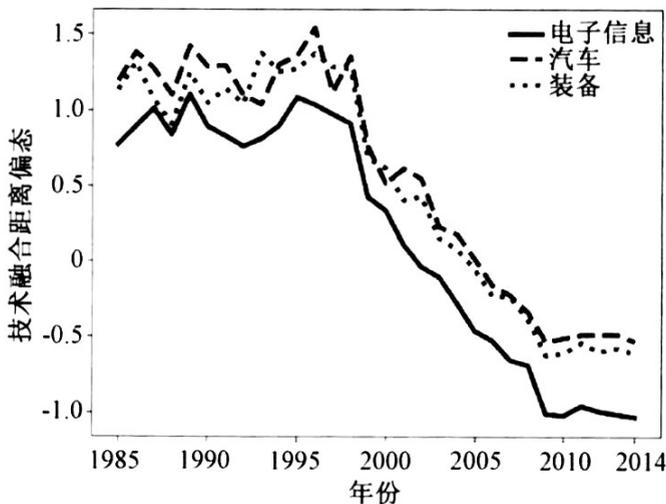


图8 三大产业各自技术融合网络中技术融合距离偏态的演化趋势

注:某产业技术融合网络中技术融合距离偏态是指该网络中所有技术领域的技术距离的偏态。

两个产业而言,电子信息产业中远距离技术融合发生的频数更高。

### 3. 技术融合距离的聚类分析结果

采用基于多维度特征向量的聚类分析方法,本研究选取三大产业技术融合网络中30年间平均技术

融合距离指数位列前10%的技术领域,结合技术融合距离全时平均增速、技术融合力全时均值、技术融合历史三个反映样本时空动态变化信息的特征向量进行聚类分析。表1汇报了三大产业这些技术领域的聚类分析结果。根据技术融合距离全时均值的计

表1 三大产业相关技术领域之技术融合距离的聚类分析结果

| 产业   | 编号 | IPC4数量 | IPC4分类号  | 技术融合距离全时平均增速(组内均值) | 技术融合力全时均值(组内均值) | 技术融合历史(组内均值) | 远距离融合技术领域集群的动态发展特征 |
|------|----|--------|--|--------------------|-----------------|--------------|--------------------|
| 电子信息 | 1  | 9      | B02B、C09H、C13B、D05C、E01H、F02K、F03H、F04F、G21B   | 0.0271             | 1.6756          | 5.4年         | 新兴快速发展、融合领域较少      |
|      | 2  | 6      | A43D、A44B、B04B、B24C、C10J、E05C  | -0.0018            | 2.3734          | 9.6年         | 新兴低速发展、融合领域较少      |
|      | 3  | 6      | A45B、B66B、B67B、D07B、F23N、F41B  | 0.0095             | 3.1428          | 13.3年        | 中期良速发展、融合领域较少      |
|      | 4  | 23     | A01K、A01M、A23G、A41G、A44C、A47J、A62B、A62C、B05B、B07C、B61L、C03B、C21B、D06F、E03B、E21B、E21F、F16K、F17D、F24B、F24F、F25D、F27B | -0.0037            | 8.0001          | 25.6年        | 长期低速发展、融合领域较多      |
| 汽车   | 1  | 11     | A42B、A61C、B01L、B04C、C21B、C25B、D07B、E21C、G03F、G03G、H05H   | 0.0186             | 2.4773          | 9.3年         | 新兴快速发展、融合领域较少      |
|      | 2  | 12     | A45D、A47H、A62B、B02C、B04B、B07C、B09C、E01B、E06C、G02F、G07F、H05C  | 0.0164             | 4.3377          | 18.1年        | 中期快速发展、融合领域较少      |
|      | 3  | 3      | A61L、E05B、G05D   | 0.0096             | 17.3633         | 25.6年        | 长期良速发展、融合领域较多      |
|      | 4  | 7      | A62C、A63B、E01H、E02B、E02F、E21B、E21F   | -0.0033            | 9.4736          | 27年          | 长期低速发展、融合领域较少      |
| 装备制造 | 5  | 9      | A45B、A46B、A47J、A63H、B43L、D06F、F25D、G05F、G10K   | 0.0541             | 3.0894          | 27.6年        | 长期高速发展、融合领域较少      |
|      | 1  | 9      | A23F、A42B、A44B、A44C、B42C、B82B、G21K、H02S、H03L   | 0.1194             | 4.4199          | 7.7年         | 新兴快速发展、融合领域较少      |
|      | 2  | 11     | A24B、A45B、A45D、B04B、C11D、C12H、D04C、G09C、G10D、G10K、H03B   | 0.01               | 2.2187          | 15.3年        | 中期良速发展、融合领域较少      |
|      | 3  | 22     | A24C、A43B、A45C、A47F、A62B、A62C、A63H、B01L、B06B、B07C、B61L、C01D、C02F、C04B、C10C、C11B、D06F、D07B、E01B、F25D、G04C、G05F      | 0.02857            | 5.8799          | 26.5年        | 长期快速发展、融合领域较少      |

算结果,电子信息产业共有44个IPC4分类码对应的技术领域进入产业的前10%,聚类分析将它们分为四组技术领域集群。汽车产业共有42个IPC4分类码对应的技术领域位列前10%,聚类分析将它们分为五组技术领域集群。装备制造产业共有42个IPC4分类码对应的技术领域进入前10%,聚类分析将它们分为三组技术领域集群。

电子信息产业融合距离最远的技术领域超过一半属于第四号集群,其特征是融合历史较长、融合距离低速发展、与较多其他技术领域发生融合。其次是一号集群,拥有九个新兴融合性技术领域,其融合距离在较短时间内快速延伸,但只与少数其他技术领域发生融合。而二号、三号集群中的技术领域数量最少,它们的融合距离发展相对缓慢,与之发生融合的其他技术领域数量有限。

汽车产业融合距离最远的技术领域,新兴融合性技术领域集中在一号集群,这些技术领域的融合距离发展速度相对较快,但其技术融合力有限。其他技术领域的技术融合历史相对较长,但其技术融合距离和技术融合力各有消长。三号集群中技术领域的技术融合力最强,与之发生融合的其他技术领域数量最多,其技术距离也呈良速发展趋势。而五号集群中的技术领域虽然与之发生融合的其他技术领域数量较少,但其技术融合距离发展速度较快。

装备制造产业融合距离最远的技术领域,新兴融合性技术领域数量达到九个,聚集在一号集群,其融合距离在短时间里发展迅速。其他技术领域的融合历史较长,总共33个,集中在二号、三号集群,其技术融合距离的发展速度相对较慢。这些技术领域的技术融合力相对薄弱,与之发生融合的其他技术领域数量十分有限。

总体而言,聚类分析结果表明在融合距离最远的技术领域中,其动态发展过程并非单一化、同质化,而是存在多元化、差异化的分类特征。既有新兴融合性技术领域,以短期内技术融合距离迅速延伸但技术融合力有限为特征;也有中长期持续发展的融合性技术领域,以融合距离逐步延伸但技术融合

力突出为特征。此外,三大产业彼此之间也存在差异。电子信息产业融合距离最远的技术领域中,新兴技术领域的规模达到15个,相对另外两个产业而言规模更大。汽车产业融合距离最远的技术领域中,其发展模式的分化程度更加突出,但在短、中、长期皆有发展趋势突出的技术领域集群。装备制造产业融合距离最远的技术领域中,新兴技术领域规模相对最小,但它们的融合距离的发展速度相对更快。此外,装备制造产业缺乏技术融合力突出的、融合距离远的技术领域。

#### 4. 技术融合距离的影响因素回归分析结果

表2汇报了相关变量的描述性统计和变量构建的具体方法。被解释变量为三大产业中各个技术领域的“技术融合距离”,其取值区间为[0, 1]。因此适合采用受限因变量模型(Tobit)。解释变量的统计口径为某产业中某个技术领域所涉及的所有专利。表3汇报变量相关性分析结果。总体而言,变量相关性水平较低。

本文采用受限因变量模型(Tobit)分析不同技术领域中专利活动的多方面特征,包括申请人合作团队规模、发明人合作团队规模、产学合作、融合历史、融合倾向、专利存量、产业特性,以及国家科技计划投入与技术融合距离之间的关系。表4展示了Tobit模型的分析结果。本文采用层次分析法进行回归。模型1展示了控制变量的回归分析结果。模型2在模型1的基础上引入国家科技计划投入这一环境变量作为主要解释变量之一。模型3到模型5逐步引入技术领域层面的主要解释变量,包括申请人合作团队、发明人合作团队、产学合作。Tobit模型估计系数的符号反映解释变量与被解释变量之间相关关系的方向。

申请人合作团队规模的一次项与技术融合距离之间呈现稳定的、显著的正相关关系,无论是否引入其二次项。在模型4、模型5中引入申请人合作团队规模的二次项以后,二次项不显著,而一次项的估计系数仍然显著为正。申请人合作团队规模与技术融合距离之间存在显著的线性正相关关系。因此,某

表2 Tobit模型变量描述性统计

| 编号 | 变量      | Variable               | 描述   | Mean   | Std.Dev. | Min    | Max    |
|----|---------|------------------------|--|--------|----------|--------|--------|
| 1  | 技术融合距离  | Technological Distance | 技术融合网络中某个IPC4专利分类号与自我中心网络中其他IPC4专利分类号之间技术距离的均值                 | 0.647  | 0.235    | 0      | 1      |
| 2  | 申请人合作团队 | Assignee               | 技术融合网络中某个IPC4专利分类号所涉及的年度全部专利中申请人合作团队规模均值,取t-1、t-2、t-3年的三年平均值   | 0.059  | 0.286    | -1.098 | 1.316  |
| 3  | 发明人合作团队 | Inventor               | 技术融合网络中某个IPC4专利分类号所涉及的年度全部专利中发明人合作团队规模均值,取t-1、t-2、t-3年的三年平均值   | 0.766  | 0.508    | -1.098 | 2.146  |
| 4  | 产学合作    | I-U collaboration      | 技术融合网络中某个IPC4专利分类号所涉及的年度全部专利中校企合作团队数量,取t-1、t-2、t-3年的三年平均值      | -4.183 | 1.388    | -8.624 | 0.287  |
| 5  | 科技计划投入  | S&T funding            | 中国政府年度主要科技计划投入,取t-1、t-2、t-3年的三年平均值                             | 2.576  | 0.020    | 2.539  | 2.600  |
| 6  | 融合历史    | Converging age         | 技术融合网络中某个IPC4专利分类号当期年份减去其首次出现技术融合的年份                           | 2.592  | 0.661    | 0      | 3.332  |
| 7  | 融合倾向    | Converging tendency    | 技术融合网络中某个IPC4专利分类号所涉及的融合性专利占其当期全部专利比重,取t-1、t-2、t-3年的三年平均值      | -0.700 | 0.647    | -4.859 | 0      |
| 8  | 专利存量    | Patent stock           | 技术融合网络中某个IPC4专利分类号所涉及累计专利存量,采用“永续盘存制”方法按照15%的贴现率对往年专利数量折算成当期数量 | 4.186  | 1.605    | 0.944  | 11.492 |
| 9  | 电信产业    | IT industry            | 技术融合网络中某个IPC4专利分类号当期是否属于电信产业                                   | 0.329  | 0.470    | 0      | 1      |
| 10 | 汽车产业    | Automobile industry    | 技术融合网络中某个IPC4专利分类号当期是否属于汽车产业                                   | 0.293  | 0.455    | 0      | 1      |

注:变量2-8进行了对数转换;变量9-10为虚拟变量。

表3 Tobit模型变量相关性分析

| 编号 | 变量        | Variable               | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      |
|----|-----------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1  | 技术融合距离    | Technological Distance | 1      |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 2  | 申请人合作团队规模 | Assignee               | 0.120  | 1      |        |        |        |        |        |        |        |
| 3  | 发明人合作团队规模 | Inventor               | 0.018  | 0.027  | 1      |        |        |        |        |        |        |
| 4  | 产学合作      | I-U collaboration      | -0.091 | 0.020  | 0.234  | 1      |        |        |        |        |        |
| 5  | 科技计划投入    | S&T funding            | -0.041 | -0.068 | 0.246  | -0.012 | 1      |        |        |        |        |
| 6  | 融合历史      | Converging age         | 0.029  | -0.138 | 0.018  | -0.209 | 0.209  | 1      |        |        |        |
| 7  | 融合倾向      | Converging tendency    | 0.033  | 0.097  | 0.081  | -0.294 | -0.110 | -0.207 | 1      |        |        |
| 8  | 专利存量      | Patent stock           | 0.247  | -0.061 | -0.151 | -0.420 | 0.151  | 0.3093 | -0.376 | 1      |        |
| 9  | 电信产业      | IT industry            | 0.259  | 0.068  | -0.040 | -0.179 | -0.005 | -0.018 | 0.232  | 0.165  | 1      |
| 10 | 汽车产业      | Automobile industry    | -0.202 | -0.094 | -0.066 | 0.023  | 0.044  | -0.107 | -0.018 | -0.126 | -0.400 |

注:变量2-8进行了对数转换;变量9-10为虚拟变量。

表4 基于Tobit模型的技术融合距离影响因素分析结果

| 变量              | Variable               | Model1              | Model2              | Model3              | Model4              | Model5              |
|-----------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 申请人合作团队规模       | Assignee               |                     |                     | 0.112***<br>(0.034) | 0.139***<br>(0.046) | 0.148***<br>(0.046) |
| 发明人合作团队规模       | Inventor               |                     |                     | 0.004<br>(0.016)    | 0.002<br>(0.016)    | 0.024<br>(0.019)    |
| 产学合作            | I-U collaboration      |                     |                     | 0.006***<br>(0.002) | 0.006***<br>(0.002) | 0.007***<br>(0.002) |
| 申请人合作团队*申请人合作团队 | Assignee×Assignee      |                     |                     |                     | -0.138<br>(0.163)   | -0.135<br>(0.163)   |
| 发明人合作团队*发明人合作团队 | Inventor×Inventor      |                     |                     |                     |                     | -0.074**<br>(0.035) |
| 科技计划投入          | S&T funding            |                     | 0.037<br>(0.096)    | 0.428**<br>(0.185)  | 0.451**<br>(0.187)  | 0.491***<br>(0.188) |
| 融合历史            | Converging age         | -0.011**<br>(0.005) | -0.018**<br>(0.006) | -0.019<br>(0.018)   | -0.197<br>(0.018)   | -0.020<br>(0.018)   |
| 融合倾向            | Converging tendency    | -0.003<br>(0.003)   | 0.013**<br>(0.005)  | 0.032***<br>(0.009) | 0.032***<br>(0.009) | 0.031***<br>(0.009) |
| 专利存量            | Patent stock           | 0.015***<br>(0.002) | 0.018***<br>(0.002) | 0.023***<br>(0.003) | 0.022***<br>(0.003) | 0.021***<br>(0.003) |
| 电信产业            | IT industry            | 0.108***<br>(0.010) | 0.103***<br>(0.009) | 0.055***<br>(0.012) | 0.055***<br>(0.012) | 0.056***<br>(0.012) |
| 汽车产业            | Automobile industry    | 0.016<br>(0.010)    | 0.008<br>(0.009)    | -0.017<br>(0.013)   | -0.017<br>(0.013)   | -0.017<br>(0.013)   |
| 年份虚拟变量          | Year dummy             | Yes                 | Yes                 | Yes                 | Yes                 | Yes                 |
| 常数项             | Cons                   | 0.495***<br>(0.014) | 0.522***<br>(0.242) | -0.471<br>(0.458)   | -0.526<br>(0.463)   | -0.640<br>(0.465)   |
| 观测数量            | Number of observations | 17228               | 8755                | 1789                | 1789                | 1789                |
| 个体数量            | Number of groups       | 1480                | 1476                | 464                 | 464                 | 464                 |
| Log likelihood  | Log likelihood         | 4403                | 4815                | 2017                | 2018                | 2020                |
| Prob > chi2     | Prob > chi2            | 0.0000              | 0.0000              | 0.0000              | 0.0000              | 0.0000              |

注:1.模型4、模型5中二次项进行了中心化处理以降低变量共线性。2.括号中的是标准误。3.\*表示10%显著性水平,\*\*表示5%显著性水平,\*\*\*表示1%显著性水平。

技术领域申请人团队规模越大,该技术领域倾向于与远距离的其他技术领域发生融合。

发明人合作团队规模一次项的估计系数在各个模型中均不显著。而在模型5中,其二次项的估计系数显著为负。因此,发明人合作团队规模与技术融合距离之间表现为显著的倒U型关系。随着发明人合作团队规模的扩大,技术融合距离表现为先上升后下降的趋势。这说明,某技术领域发明人合作团队规模与该领域的技术融合距离存在复杂的非线性关系。

产学研合作的估计系数在模型3、模型4、模型5中均为正,且在5%的水平上显著。因此产学研合作与技术融合距离存在正相关关系。当某技术领域中的产学研合作越频繁,该技术领域与其他技术领域发生远距离融合的几率越高。

科技计划投入的估计系数在模型3、模型4、模型5中均为正,且显著性水平在5%以上。这说明中国政府的科技计划投入与技术融合距离之间存在显著的正相关关系。科技计划投入规模越大,三大产业中的技术领域发生远距离技术融合的可能性越高。

在控制变量中,融合历史的估计系数的显著性不稳定。而融合倾向、专利存量的估计系数在多个模型中稳定的显著为正,且显著性水平达到1%。这说明融合倾向、专利存量与技术融合距离正相关。某个技术领域在过去所表现的融合倾向越明显、累计专利数量越多,该技术领域与其他技术领域发生远距离技术融合的可能性更高。因此,远距离技术融合依赖于知识和技术的积累。在产业虚拟变量中,电子信息产业虚拟变量的估计系数在各个模型中均显著为正,且显著性水平达到1%。显然,电子信息产业中的技术领域发生远距离技术融合的概率相对更高。而汽车产业、装备制造产业的技术领域发生远距离技术融合的概率相对更低。

## 结论

中国政府的《中国制造2025》、《新一代人工智能发展规划》两项行动纲领提出围绕重点前沿领域探索布局,促进新兴融合性技术领域的快速发展,打造

新的长期经济增长引擎。然而“远跳式”的技术融合面临不同领域之间技术异质性给知识整合所造成的风险与挑战。本文将两个发生融合关系的技术领域之间的技术异质性定义为技术融合距离,从技术领域层面研究技术融合距离的动态发展过程的聚类特征,以及推动远距离技术融合发生的影响因素。采用电子信息、汽车、装备制造产业1985-2014年约240万专利数据,结合聚类分析法和Tobit模型,本研究的贡献主要有下述三个方面。其一,本文研究发现,技术领域中的申请人合作团队规模、产学研合作、专利技术积累显著促进技术融合距离的延伸。而发明人团队规模则对技术融合距离先提升、后抑制。政府科技计划投入也明显刺激技术融合距离延长。其二,融合距离最远的技术领域,其动态发展过程表现出多元化、差异化的聚类特征。既有新兴融合性技术领域,以短期内技术融合距离迅速延伸但技术融合力有限为特征;也有中长期持续发展的融合性技术领域,以融合距离逐步延伸但技术融合力突出为特征。其三,本研究提出一种数据导向的分析方法,基于大规模、长周期、多产业的专利数据,将探索性聚类分析法与严谨的经济计量模型相结合,挖掘技术融合距离动态发展的定性定量特征。

基于前述研究发现,主要有以下四个方面的政策启示:(1)合理鼓励合作创新以刺激跨领域、远距离的技术融合。由于申请人合作、产学研合作对技术融合距离有积极作用,在建设两个行动纲领重点关注的共性技术体系、创新平台的过程中,政府应积极吸纳包括企业、高校在内的多主体联合参与。在相关科技项目的激励与评估体系中弱化对单个主体绩效的考核,而强化对合作团队整体绩效的考核。同时,针对组织间合作的过程与质量管理,优化设计相关激励措施。由于发明人合作对技术融合距离先刺激、后抑制,政府在重大研发任务和基地平台建设的过程中应将研发团队的成员数量维持在中等水平,不宜过多或者过少。同时应将团队成员个体的激励与考核与团队整体的激励与考核相结合,并且适当强化后者。对成员个体实施优胜劣汰,以维持团队

的合理规模。(2)由于专利技术积累对技术融合距离有明显促进作用,远距离的技术融合难以在短时间形成。因此在瞄准重点前沿领域进行探索布局时政府应优先考虑有丰富前期积累的技术领域,而不是盲目过度追逐短期热点技术领域。(3)考虑到政府科技计划投入对技术融合距离的积极作用,政府应持续加大对基础前沿研究、关键共性技术攻关、基地平台建设的财政资金支持力度,尤其应加大对科技项目合作主体、合作团队成员的培养与激励,激发基础前沿研究对技术融合深入发展的引领作用。(4)既然技术融合距离的动态发展过程的聚类特征存在差异性,政府对重点前沿领域的布局应该遵循短期与长期彼此兼顾、融合距离与融合力相互搭配的原则,构建一个融合性技术领域的公共财政资金投入组合。这个投资组合的重点投资对象中既有新兴融合性技术领域,也有中长期持续发展的融合性技术领域。

后继研究可以从下述三个方面进一步拓展对技术融合距离的探讨:(1)本文采用IPC4分类体系对技术领域进行界定,虽然这是现有研究中较为认可的方法,但仍然不可避免的只能从一个层面反映技术融合的发展规律。而技术融合是一个多维度、多层次的系统性变化过程,需要后继研究从其他更多视角揭示技术融合的多面性。(2)本文基于三大产业专利数据进行定量分析,虽然专利数据的周期长达30年,总量达到240万,但仍然只是我国总体专利数据中的一个子样本。基于这个子样本形成的研究发现是否适用于其他产业,仍然需要后继论证。(3)由于数据来源限制,本文主要从专利数据中提取申请人合作团队、发明人合作团队、产学研合作等数据分析技术融合距离的影响因素。但可能存在其他因素对技术融合距离发挥作用,有待后继研究的探索。

#### 参考文献:

[1]Cavaggioli F.. Technology Fusion: Identification and Analysis of the Drivers of Technology Convergence Using Patent Data [J]. Technovation, 2016, 55: 22-32

[2]李丫丫,赵玉林.基于专利的技术融合分析方法及其应用[J].科学学研究,2016,34(2):203-211

[3]Kaplan S., Vakili K.. The Double-edged Sword of Recombination in Breakthrough Innovation[J].Strategic Management Journal, 2015, 36(10): 1435-1457

[4]刘凤朝,马荣康,孙玉涛.基于专利技术共现网络的纳米技术演化路径研究[J].科学学研究,2012,30(10):1500-1508

[5]Kim E., Cho Y., Kim W.. Dynamic Patterns of Technological Convergence in Printed Electronics Technologies: Patent Citation Network[J].Scientometrics, 2014, 98(2): 975-998

[6]Song C.H., Elvers D., Leker J.. Anticipation of Converging Technology Areas—A Refined Approach for the Identification of Attractive Fields of Innovation[J].Technological Forecasting and Social Change, 2017, 116: 98-115

[7]谢康,李礼,谭艾婷.信息化与工业化融合、技术效率与趋同[J].管理评论,2009,21(10):3-12

[8]陶长琪,齐亚伟.融合背景下信息产业结构演化的实证研究[J].管理评论,2009,21(10):13-21

[9]王成东.区域产业融合与产业研发效率提升——基于SFA和中国30省市的实证研究[J].中国软科学,2017,(10):94-103

[10]李晓钟,黄蓉.工业4.0背景下我国纺织产业竞争力提升研究——基于纺织产业与电子信息产业融合视角[J].中国软科学,2018,(2):21-31

[11]王如玉,梁琦,李广乾.虚拟集聚:新一代信息技术与实体经济深度融合的空间组织新形态[J].管理世界,2018,34(2):13-21

[12]Geum Y., Kim M.S., Lee S.. How Industrial Convergence Happens: A Taxonomical Approach Based on Empirical Evidences [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2016, 107: 112-120

[13]Curran C.S., Leker J.. Patent Indicators for Monitoring Convergence—Examples from NFF and ICT[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2011, 78(2): 256-273

[14]黄鲁成,石媛媛,吴菲菲,等.基于技术视角的新兴产业关联研究——以3D打印相关产业为例[J].管理评论,2017,29(2):47-58

- [15] 娄岩, 杨培培, 黄鲁成, 等. 基于专利的技术融合测度方法——以信息技术与电动汽车技术的融合为例[J]. 现代情报, 2017, 37(8): 142-153
- [16] Lee W. S., Han E. J., Sohn S. Y.. Predicting the Pattern of Technology Convergence Using Big-data Technology on Large-scale Triadic Patents[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2015, 100: 317-329
- [17] Ketchen D. J., Shook C. L.. The Application of Cluster Analysis in Strategic Management Research: An Analysis and Critique[J]. Strategic Management Journal, 1996, 17(6): 441-458
- [18] Milligan G. W., Sokol L. M.. A Two-stage Clustering Algorithm with Robust Recovery Characteristics[J]. Educational and Psychological Measurement, 1980, 40(3): 755-759
- [19] Kaufman L., Rousseeuw P. J.. Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis[M]. New York: John Wiley, 1990
- [20] 党耀国, 侯荻青. 基于特征提取的多指标面板数据聚类方法[J]. 统计与决策, 2016, (19): 68-72
- [21] Hair J.F., Anderson R.E., Tatham R.L., et al.. Multivariate Data Analysis with Readings[M]. New Jersey: Prentice Hall, 1998
- [22] Blashfield R.K., Aldenderfer M. S.. Handbook of Multivariate Experimental Psychology[M]. Boston: Springer, 1988
- [23] 范德成, 杜明月. 高端装备制造业技术创新资源配置效率及影响因素研究——基于两阶段StoNED和Tobit模型的实证分析[J]. 中国管理科学, 2018, 26(1): 13-24
- [24] Curran C. S.. The Anticipation of Converging Industries [M]. London: Springer, 2013
- [25] Kloyer M., Scholderer J.. Effective Incomplete Contracts and Milestones in Market-distant R&D Collaboration[J]. Research Policy, 2012, 41(2): 346-357
- [26] Sampson R. C.. The Cost of Misaligned Governance in R&D Alliances[J]. Journal of Law, Economics, and Organization, 2004, 20(2): 484-526
- [27] Diestre L., Rajagopalan N.. Are All 'Sharks' Dangerous? New Biotechnology Ventures and Partner Selection in R&D Alliances[J]. Strategic Management Journal, 2012, 33(10): 1115-1134
- [28] Gruber M., Harhoff D., Hoisl K.. Knowledge Recombination across Technological Boundaries: Scientists vs. Engineers[J]. Management Science, 2013, 59(4): 837-851
- [29] 汤超颖, 丁雪辰. 创新型企业研发团队知识基础与知识创造的关系研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2015, 36(9): 81-92
- [30] Kotha R., George G., Srikanth K.. Bridging the Mutual Knowledge Gap: Coordination and the Commercialization of University Science[J]. Academy of Management Journal, 2013, 56(2): 498-524
- [31] Soh P.H., Subramanian A.M.. When Do Firms Benefit from University-industry R&D Collaborations? The Implications of Firm R&D Focus on Scientific Research and Technological Recombination[J]. Journal of Business Venturing, 2014, 29(6): 807-821
- [32] 李彰, 苏竣. 增量效应与信号功能: 理解政府科技计划的两个前沿问题[J]. 科学学与科学技术管理, 2017, 38(7): 3-14
- [33] 饶凯, 孟宪飞, 徐亮, 等. 研发投入对地方高校专利技术转移活动的影响——基于省级面板数据的实证分析[J]. 管理评论, 2013, 25(5): 144-154