



开放科学
(资源服务)
标识码
(OSID)

创新全过程视角下产学研创新团队潜在合作对象识别方法研究

张伟然¹ 王超² 许海云² 武华维³ 李欣²

- 齐鲁工业大学 (山东省科学院) 科技发展战略研究所 济南 250000;
- 山东理工大学管理学院 淄博 255000;
- 西北师范大学档案馆 兰州 730070

摘要: [目的/意义] 识别领域不同创新环节中的潜在合作对象, 形成贯穿基础研究、应用研究与产业应用的多环节与多主体的产学研创新协同团队, 助力科技创新及成果转移转化。[方法/过程] 基于创新全过程视角, 从产业机构出发, 构建产业—技术—科学机构的多层网络分析模型, 识别不同创新层中产学研机构的潜在合作对象。以中国干细胞研究领域为对象进行实证研究, 验证了方法的可行性与有效性。[结果/结论] 创新全过程视角下潜在合作对象识别方法突破了单一视角识别合作对象的局限性, 实现了不同创新环节间创新主体潜在合作对象的识别, 为创新生态下各主体识别与自身需求更匹配的合作伙伴提供了理论支撑与实践启示。

关键词: 合作对象; 创新过程; 创新生态系统; 多层网络; 产学研

中图分类号: G353

Researching the Methodology for Identifying Domain Potential Collaborative Entities from the Perspective of Innovation Process

ZHANG Weiran¹ WANG Chao² XU Haiyun² WU Huawei³ LI Xin²

- Institute of Science and Technology Development Strategy, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Jinan 250000, China;
- School of Management, Shandong University of Technology, Zibo 255000, China;
- Archives of Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

Abstract: [Purpose/Significance] This study aims to facilitate scientific and technological innovation and the transfer of

基金项目 国家自然科学基金项目“基于弱信号时效网络演化分析的变革性科技创新主题早期识别方法研究”(72274113); 山东省自然科学基金项目“基于弱信号分析的变革性创新主题早期识别方法研究”(ZR202111130115)。

作者简介 张伟然(1998-), 硕士研究生, 主要研究方向为数据管理与决策分析; 王超(1988-), 博士, 副教授, 主要研究方向为科技与产业情报分析, E-mail: kingtaoist@yeah.net; 许海云(1982-), 博士, 教授, 主要研究方向为科学计量学; 武华维(1985-), 博士, 副研究馆员, 主要研究方向为知识图谱与知识计算; 李欣(2000-), 硕士研究生, 主要研究方向为科学计量学。

引用格式 张伟然, 王超, 许海云, 等. 创新全过程视角下产学研创新团队潜在合作对象识别方法研究[J]. 情报工程, 2024, 10(3): 28-48.

achievements by establishing a collaborative ecosystem that spans basic research, applied research, and industrial applications within the industry-university-research framework. The primary objective is to identify potential partners across various stages of innovation. [Methods/Processes] Employing a holistic innovation process approach, this research constructs a multi-layer network analysis model encompassing industry, technology and scientific institutions. The model facilitates the identification of potential partners within the industry-university-research nexus across diverse innovation tiers. To validate the feasibility and efficacy of the proposed method, an empirical study centered on stem cell research in China is conducted. [Results/Conclusions] The innovative approach of identifying potential cooperative partners across the entire innovation process surpasses the limitations of one-dimensional analyses, enabling the recognition of potential partners amidst different innovation stages. The resulting partnerships, rooted in a deep understanding of collaborative needs, offer both theoretical and practical support for advancing scientific and technological innovation.

Keyword: Cooperation Partners; Innovation Process; Innovation Ecosystems; Multi-layer Network; Industry-Academia-Research

引言

在国家全新发展格局引领下，产业创新发展面临新形势。为全面提升产业技术创新能力，实现中国产业科技自立，科技部提出要聚焦产业创新关键环节，面向产业需求加强产学研用和中小企业融通创新^[1]。习近平总书记强调我国要加强创新链和产业链对接，关键是要确保产业占据创新主体地位，围绕产业链部署创新链，以消除科技创新的“孤岛现象”，围绕创新链布局产业链，为产业提供创新驱动力，实现高水平自立自强^[2-3]。产学研协同创新是提升企业自主创新能力、加速科技成果转移转化的重要路径。因此，围绕产业机构创新需求，构建以基础研究为依托，以技术供给为核心，基于基础研究到应用研究再到产业应用的创新全过程视角下潜在合作对象的识别方法，对实现产学研主体深度融合创新、创新链中资源的流通、激发各创新主体活力、加速产业升级转型具有重要现实意义。

当前，关于潜在合作对象识别的相关研究众多，但多数研究局限于单一创新环节内，如

基于基础研究范围内以论文为信息载体的潜在合作对象识别研究^[4-5]，基于应用研究范围内以专利为信息载体的潜在合作对象识别研究^[6-7]，但基于多创新环节的潜在合作对象识别更符合当前国家协同创新战略，更具有现实应用价值。本文在创新全过程视角下，以具有合作创新需求的产业机构为服务对象，围绕产业机构创新需求，综合考虑多种合作影响因素，构建了基于多层网络分析模型展开创新全过程下潜在合作对象识别与选择的方法框架，使创新主体能够高效、准确地定位创新全过程视角下的潜在合作对象，为形成产业创新需求与知识技术供给良好互动的创新团队提供了思路。最后以干细胞领域为例进行实证研究，验证了本文提出方法的可行性与有效性。

1 相关研究

1.1 创新过程理论研究进展

经济全球化和信息技术的发展加速了知识技术的交叉渗透，创新活动日益复杂，创新过

程理论不断革新。自 20 世纪以来,学者们对创新过程进行了大量研究,其中三段式创新过程理论和创新生态系统理论最具代表性。

三段式创新过程理论将创新过程划分为三个阶段,如 Timmers^[8] 将创新过程分为“基础研究—技术应用研究—开发应用部署”三个阶段, Turkenbur^[9] 提出了“研究—示范—扩散”三段创新过程理论。创新生态系统是创新主体与环境相互作用构成的开放性复杂系统,旨在实现创新过程中的知识流动与经济价值转换^[10-11]。当前主要聚焦于企业、产业、区域和国家等维度的创新生态系统研究^[12-13]。其中,企业创新生态系统强调围绕核心企业而相互依存的创新主体所形成的复杂关系^[14-15]。Moore^[16] 将企业创新生态系统分为诞生、扩张和领导三个阶段。李军凯等^[17] 认为产业创新生态系统包括理论构想—知识技术孕育孵化—技术产业化—产业规模化等阶段。

综上,无论是三段式创新过程理论,还是创新生态系统理论,均强调创新主体间的合作以及创新过程中知识价值到经济价值的转化。实际上,创新全过程的基本内核是科学知识、技术转化为实际产业应用的过程。

1.2 基于核心机构的潜在合作对象识别

核心机构是指在科研中影响力较大,取得创新成果较多的机构。它们与合作网络中展现出较强的资源配置与信息传递能力,具备高质量的创新资源和最先进的知识技术体系,是创新活动的中坚力量^[18-20]。与其合作建立具有核心竞争力与控制优势的创新团队,能够提高资源搜索与知识转移效率,创造更稳定的创新产

出环境,并吸引更多优质合作者^[21]。

社会网络分析法通过可视化图形展现合作关系与合作网络结构,在分析主体合作关系、识别关键合作对象等方面表现出色^[22-23]。王超等^[24] 利用中介中心性指标在合作网络中识别潜在关键核心机构;王谦等^[25] 结合普赖斯定律与社会网络分析法识别儿科人群药物临床试验领域的核心牵头机构;李纲等^[26] 通过凝聚子群分析和滚雪球等方法分析合著网络、共词网络,识别核心团队的研究主题。核心机构在其领域内具有不可替代性^[27],筛选创新全过程中各创新环节的核心机构强强联合,能形成优势互补、引领协同创新的高水平创新团队。

1.3 基于研究内容相似性的潜在合作对象识别

知识技术的相似性是影响合作对象选择的关键因素^[28-30]。核心机构的研究内容对其领域创新活动具有引领作用^[31]。具有相似研究内容的机构合作能够促进合作网络内知识融合与创新,更易形成高效的合作创新关系^[32]。

基于研究内容的对象识别方法仅考虑研究内容而不涉及社会关系,能够实现不连通网络间潜在合作对象的识别^[33]。其基本思路是:从各主体所发表成果的文本内容出发,运用文本挖掘和自然语言处理等方法计算研究内容相似度,根据相似度识别潜在合作对象。丁敬达等^[4] 融合关键词耦合分析法和链路预测法识别潜在合作关系。Chuan 等^[34] 使用 LDA 模型研究不同个体研究内容相似性,但该模型存在工作量大以及耗时长等问题。陈卫静等^[35] 通过 TF-IDF 关键词加权方式计算作者间研究内容相似

度,根据相似度得分挖掘作者间潜在合作关系。但此方法只考虑词的频率而未考虑语义,结果准确率有待商榷。Word2vec模型在自然语言处理中表现良好,但忽略了词汇语序对文本内容的影响。为完善这一问题,Le等^[36]提出了Doc2Vec文档向量模型,文本相似度计算更为精确。

1.4 基于地理距离的潜在合作对象识别

隐性知识具有较强的本地依赖性^[37],尽管当前通信与交通十分便捷,但由于隐性知识的存在,知识溢出仍具有本地化特征。因此,合作对象的选择有必要考虑地理邻近性。Katz等^[38]研究了地理位置等因素对合作的影响,发现主体合作可能性随地理距离的增大而减小。选择邻近机构作为合作对象不仅能降低合作风险和成本,还有利于各方知识技术的转移^[39-40]。贺超城等^[41]发现尤其是在生物学领域,复杂的实验设备等使主体间的合作表现出地理聚集倾向。地理距离近的机构在相似的制度环境下更易进行密集的沟通,有助于合作效率的提升和合作双方信任的建立^[32,42]。

综上,由于指标融合困难或数据源单一等原因,现有潜在合作对象识别方法多基于单一角度或指标,且局限于单一创新活动范围内。例如仅考虑合作网络关系而忽略主体的研究内容关系与地理距离^[43]、仅考虑研究内容相似性却未考虑合作网络关系及地理距离^[44]、考虑合作网络关系与主题相关性却忽略主体距离^[45]。现实中的合作关系建立受多种因素影响,基于单一指标或方法识别合作对象存在局限性,综合各类方法进行潜在合作对象的识别更具有现

实应用价值。

鉴于此,本文尝试在创新全过程视角下结合多个指标识别不同创新环节中机构的潜在合作对象。一方面,立足于创新活动全过程,旨在识别包含科学、技术、产业多元化主体,囊括基础研究、应用研究与产业应用多环节,构建科学、技术、产业上下贯通发展的创新团队;另一方面,综合各类指标与方法,对潜在合作对象层层考察与挖掘,以识别出最合适的潜在合作对象。

2 创新全过程理论模型研究

2.1 创新全过程概述

各领域内完整的创新活动不仅需要发散思维的科学基础研究,也需要解决技术问题的创新应用研究,更离不开将科技成果转化为具有现实应用价值的产品或服务的产业应用研究。总体来看,创新包括从理论到应用、从应用到产业的全过程,其核心在于科学知识、技术的流动,以及其产业价值的实现^[46]。由此可见,科学、技术、产业是实现高质量创新的三个关键要素^[47]。本文将创新全过程定义为涵盖从问题假设到理论知识、从理论知识到技术专利、从技术专利到最终应用于产业的一系列创新目标集合的三段式创新过程。根据各主体的创新目标,将创新全过程划分为基础研究、应用研究与产业应用三个创新环节。根据创新环节中的关键要素,使不同的创新环节对应不同的创新层,不同的创新层中又包含不同类型的创新主体,如表1所示。

表1 创新全过程

创新环节	创新目标	创新层	创新主体
基础研究	科学问题—理论知识	科学层(S)	高校、科研院所
应用研究	理论知识—专利技术	技术层(T)	高校、科研院所、企业
产业应用	科技成果—产品或服务	产业层(I)	以企业为主

2.2 创新过程中的知识载体

本文以不同创新层的机构为研究对象，科技论文、专利文献和以产品说明书为主

的产品数据分别作为科学层机构、技术层机构、产业层机构的创新内容表现载体，如表2所示。

表2 创新过程中的知识载体

创新环节	基础研究	应用研究	产业应用
创新内容表现载体	科技论文	专利文献	以产品说明书为主的产品数据
数据来源	论文数据库	专利数据库	产品市场数据统计网站

2.3 基于创新全过程的多层网络分析模型

在创新全过程中，不同创新层的主体有不同的创新目标。只有识别贯穿不同创新层的潜在合作对象，形成立足于创新全过程的合作团队，才能实现各创新环节的串联与创新目标的上下衔接。韩菁等^[48]基于多层网络分析模型，采用链路预测法识别不同领域间的潜在合作对象；刘晓燕等^[49]通过多层网络探索技术融合机理，为不同类型创新机构合作提供了参考。多层网络模型为本研究基于创新全过程视角下产学研创新机构潜在合作对象的识别提供了思路，有助于展示处于不同创新环节机构间的潜在合作关系识别过程^[50]。不同创新层的主体合作会形成复杂的合作关系，因此，本文借鉴多层网络分析模型，利用多个指标构建涉及产业、技术、科学三个创新层机构的多层合作网络，展现创新全过程视角下潜在合作对象的识别过程。

产业层机构作为创新过程中知识产出的需求方，在科技成果转化中起关键作用。目

前中国科技创新成果大多集中于科学层和技术层机构，易导致科技成果与产业需求不匹配以及产业机构创新活力的下降，各主体无法有效对接与合作，科技成果转化困难，阻碍创新活动进程。只有以产业机构的发展趋势和创新需求为导向，围绕产业进行科技创新，才能创造出符合市场需求的创新成果^[51]。提高产业创新绩效需要与应用研究成果形成良好对接，提高技术吸收与转化能力，而应用研究又以基础研究所产生的科学知识积累为支撑来解决现实问题^[52]。因此，本文基于创新全过程视角，综合考虑多种合作影响因素，按照产业—技术—科学(I-T-S)的顺序构建多层合作网络(图1)，展现贯穿产业应用、应用研究、基础研究的创新全过程下的潜在合作对象识别过程。其中，层内连线代表创新层内现有合作关系，层间连线代表不同创新层之间的潜在合作关系，层间箭头代表多层合作网络的构建顺序(I-T-S)。

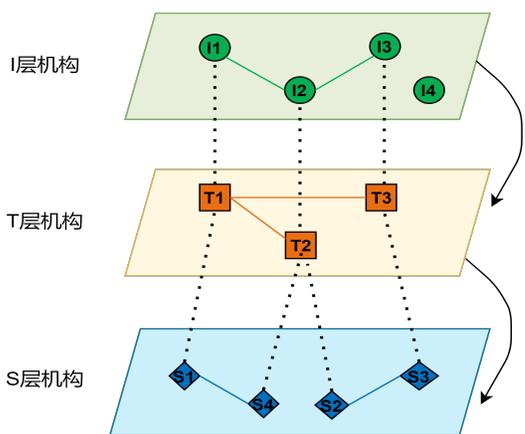


图1 多层合作网络示意图

3 基于创新全过程的潜在合作对象识别方法

本文基于创新全过程视角构建了从产业机构出发的潜在合作对象识别方法，主要包括以下5个环节，识别方法及流程如图2所示。

(1) 确定候选机构集合。本文将科技论文的发文机构、技术专利的申请机构、产品的生产发起机构分别作为科学层、技术层、产业层的候选机构。

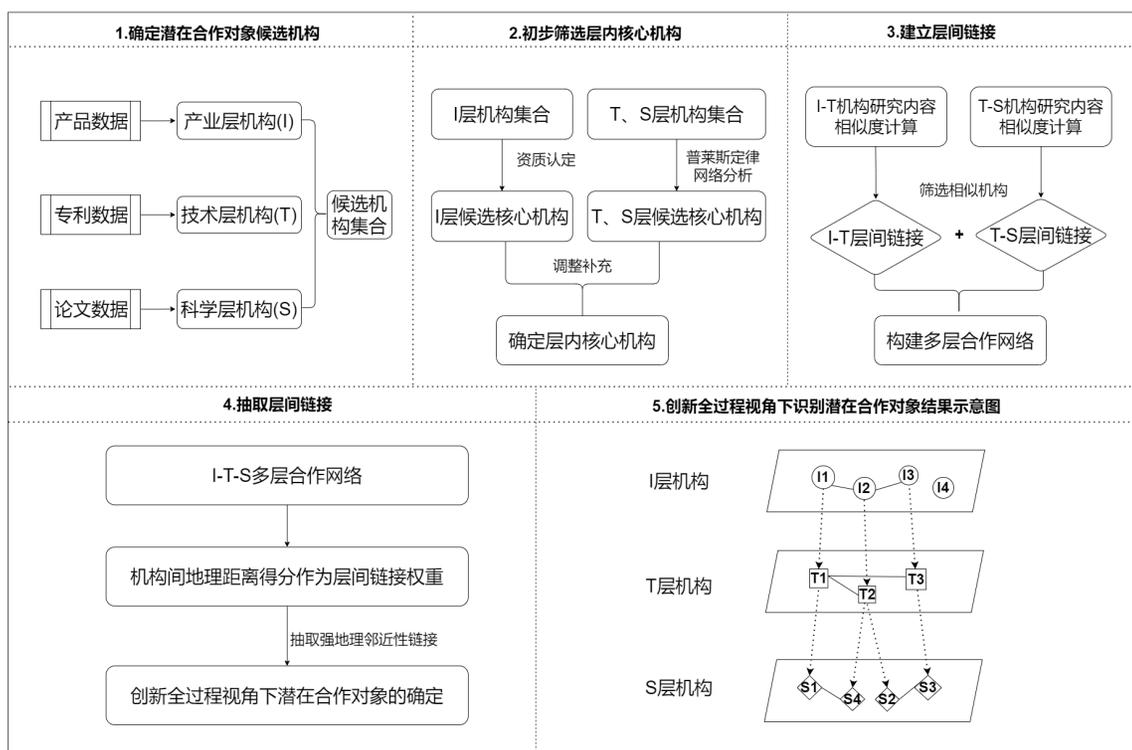


图2 创新全过程视角下潜在合作对象识别方法及流程

(2) 筛选层内机构。根据机构的自身特性、合作关系以及产出能力等指标分别筛选出产业(I)层、技术(T)层、科学(S)层的核心机构，完成层内核心机构的筛选。

(3) 建立层间连接。从产业层机构出发，按照产业—技术—科学(I-T-S)的顺序计

算不同层核心机构间的研究内容相似度，为不同层中有合作可能性的机构建立层间连接，构建从产业层出发产生连接的三层合作网络。

(4) 抽取层间连接。将机构之间的地理距离得分作为层间连接权重，设定权重阈值抽取

层间连接，完成创新全过程视角下潜在合作对象的筛选与识别。

(5) 选择创新合作对象。识别出潜在合作对象后，进入合作伙伴选择阶段。产业机构根据自身创新战略需求选择最合适的合作对象以形成立于创新全过程的合作团队。

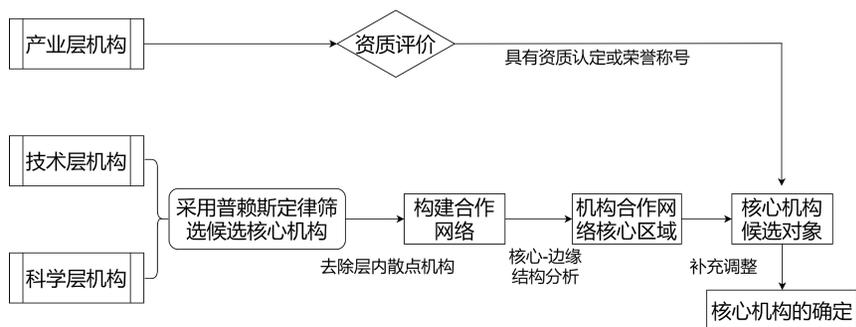


图3 核心机构遴选方法及流程

(1) 核心机构的初步筛选

①初步筛选I层核心机构。在I层中，核心机构的筛选主要针对该层内的主要创新主体，即企业机构。对于非企业核心机构，将在后续步骤中进行补充。由于各企业产品的生产在同领域内具有竞争排他性，且目前未有适合的方法来表示企业的合作关系^[54]。因此本文暂不对I层内的企业构建合作网络，而是通过判定各企业是否具有相应的资质认定或荣誉称号来筛选产业层内核心机构。原因如下：首先，政府对企业的资质认定或荣誉评定有着严格的审核标准，通过审核的企业在创新表现与经济绩效均优于普通企业^[55-56]；其次，国家的扶持政策对企业的研发投入和创新水平均有显著正向激励效应^[57]；最后，其所拥有的创新产出条件又为科技成果转化与产业创新提供有力支撑。

综上，获得资质认定或荣誉的企业在各方面均优于普通企业，更适合作为领域内的核心

3.1 核心机构的遴选

核心机构对其领域内其他机构起到引导作用，更有能力与其他创新层中的机构合作以实现高效创新^[19,53]。本文筛选各层中具有高产出、高影响力的核心机构作为创新全过程视角下潜在合作对象的初步候选机构，具体步骤见图3。

机构。目前，企业资质认定或荣誉称号有高新技术企业、瞪羚企业、雏鹰企业、独角兽企业等。由于中国大多数资质认定以及称号评定针对在大陆注册的企业，因此对于港、澳、台地区的企业，本文通过评估企业官网信息以及咨询专家等方式来判断其是否能够作为核心企业。

②初步筛选T、S层核心机构。随着科研领域创新难度的提升，机构很难独自开展科技创新研究，合作已成为科研创新的主要方式^[58-59]。T、S层中机构的创新成果多以合作发明专利、合著论文等形式呈现，机构间合作关系密切，竞争性较弱。因此，本文采用社会网络分析法来筛选T、S层内的核心机构。

首先，采用普赖斯定律对机构进行初步筛选。各层中机构合作网络节点较多且连接复杂，为改善可视化效果，需对机构进行初步筛选。本文根据普赖斯定律^[60]，将发文量大于或等于N篇的机构分别作为T、S层内的候选核心机构。

普赖斯定律计算公式如下：

$$N=0.749 * \sqrt{n_{\max}} \quad (1)$$

其中， n_{\max} 为各层内拥有成果最多的机构发表成果的数量， N 表示入选候选核心机构的成果最低数量。

其次，针对 T、S 层内候选核心机构的合作关系分别构建技术层、科学层机构合作网络。未建立合作关系的机构一般合作意向较弱或排他性强，因此去除合作网络中的散点机构。

最后，对机构合作网络采用核心—边缘模型分析。合作网络中的核心节点在合作关系中占据重要地位，核心区可以带动非核心区的发展。通过分析节点联系的紧密程度将机构合作网络划分为核心区域和边缘区域，将核心区域内的机构确定为核心机构。

(2) 调整补充并确定核心机构数量

同时涉及多层的机构拥有更丰富的创新资源，与这类机构合作能够加强集成创新优势。例如产业层中隶属于高校或科研院所的机构能够实现产品或服务的生产，说明其不仅具有理论与技术创新能力，还具有科技成果转化的实力与集成创新能力。其中，涉及多层的机构主要分为以下几类，如图 4 所示：

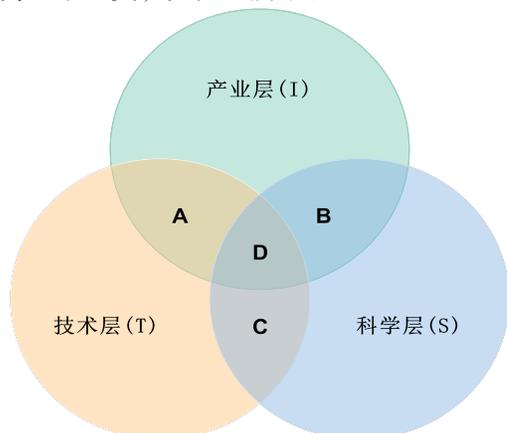


图 4 涉及多创新层的机构

①涉及两个创新层的机构。

A 表示跨产业、技术层，但不涉及科学层的机构；

B 表示跨产业、科学层，但不涉及技术层的机构；

C 表示跨技术、科学层，但不涉及产业层的机构；

②同时涉及三个层的机构 (D)：跨产业层、技术层、科学层的机构。

因此，本文筛选各层内涉及两个及以上创新层的机构并将其补充至各层的核心机构中，最终确定各创新层内的核心机构。

3.2 根据机构合作可能性构建层间连接

合作双方具有知识技术相似性是高效开展合作的基础。本文旨在为处于不同创新环节中的核心机构识别跨创新层的潜在合作对象，因此，处于不同创新层内的核心机构应具有相似的研究内容或方向，才能形成创新全过程视角下在某一研究领域囊括三大创新环节、创新目标上下衔接的创新协同组。根据前文理论研究，本文假设内容相似度排名在 TopN 的机构组合有合作可能性，为不同层中有合作可能性的机构建立层间连接。从产业层机构出发，按照产业—技术—科学 (I-T-S) 的顺序，构建从产业层出发产生连接的三层合作网络。具体步骤如下：

(1) 基于 Doc2Vec 算法的文本向量化

本文使用 Doc2Vec 模型对机构的文本内容进行向量化表示。Doc2Vec 算法改进与完善了 Word2Vec 算法，常用于对文档进行分类及向量化应用。提取产业层、技术层、科学层核

心机构的文本内容后, 对其进行预处理, 采用 Doc2Vec 模型对文本信息进行向量化表示, 并以此代表各层核心机构的研究内容。

(2) 计算机构研究内容相似度

采用向量余弦值计算不同机构研究内容相似度。余弦相似模型通过计算向量间的夹角余弦值来测量向量相似性, 性能较好且响应速度较快^[61-62]。采用 Doc2Vec 模型对机构研究内容进行向量化表示后, 通过向量余弦值计算不同层间核心机构研究内容的相似度。

(3) 构建层间连接

根据需求设定 N 值, 选取内容相似度排名在 TopN 的机构组合, 为具有合作可能性的不同层核心机构建立层间连接。具体步骤如下:

① 筛选与 I 层机构具有合作可能性的 T 层机构。从产业层出发, 计算产业层机构与技术层机构的研究内容相似度并排序, 筛选与产业层机构内容相似度排名 TopN 的技术层机构。

② 筛选与 T 层机构具有合作可能性的 S 层机构。将上一步骤中筛选出的所有技术层机构去重后, 计算所筛选的技术层机构与科学层机构的研究内容相似度并排序, 筛选与技术层机构内容相似度排名 TopN 的科学层机构。

③ 为不同层具有合作可能性的机构建立层间连接。将 I 层机构与①中筛选的 T 层机构建立 I-T 连接。对已与 I 层建立连接的 T 层机构, 将其与②中筛选的 S 层机构建立 T-S 连接。构建从产业机构出发的 I-T-S 三层合作网络(图 5), 识别了层间合作的可能性, 完成对创新全过程视角下潜在合作对象的进一步筛选。

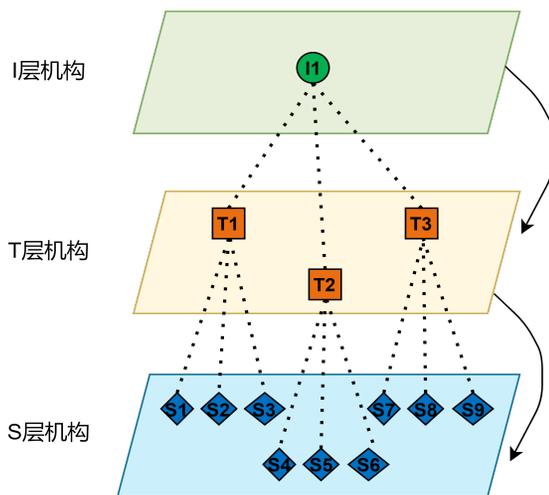


图 5 根据机构相似性构建层间连接示意图 (N=3)

3.3 根据地理距离得分抽取层间连接

与具有地理邻近性的对象合作更易实现协同创新, 更有利于知识交流与相似性技术的融合^[63-64]。结合现有研究, 地理位置越近的机构, 成为合作对象的可能性越大。本文根据机构间的地理距离得分为多层合作网络中的层间连接赋权, 设定阈值, 抽取权重超过阈值的层间连接, 完成创新全过程视角下潜在合作对象的最终识别。具体步骤如下:

(1) 地理空间距离的计算

不同机构所在城市间的地理距离可以用干线公路距离、航线距离、导航路径距离等方式测度, 也可以综合多种方法测度。尽管上述方法的测度结果更接近城市间的真实距离, 但存在路径选择困难、数据规模大等问题。本文借鉴嵇正龙等^[65]关于地理空间距离的表征, 采用机构所在城市经纬度计算城市间距离, 该方法简化计算更适用于对多个距离进行分析比较。根据机构城市经纬度计算两点近似距离的公式如下:

$$D_{AB}=R*\arcsin[\cos(Y1)*\cos(Y2)*\cos(X1-X2)+\sin(Y1)*\sin(Y2)] \quad (2)$$

其中, $X1$ 、 $X2$ 分别为机构 A 、 B 的经度, $Y1$ 、 $Y2$ 分别为机构 A 、 B 的纬度, R 为地球的半径, $R=6371.0 \text{ km}$ 。

(2) 为层间连接赋权

根据现有研究, 假设机构间合作可能性随地理距离增大而减小。本文用 Q_{AB} 表示机构间的地理距离得分, 作为多层合作网络层间连接的权重。 Q_{AB} 越大, 机构间合作的可能性就越大。

计算公式如下:

$$Q_{AB} = \frac{1}{D_{AB}} \quad (3)$$

其中, D_{AB} 表示机构 A 与机构 B 所在城市中心点经纬度距离, 当机构 A 与机构 B 在同一城市时, $Q_{AB}=1$ 。

为多层合作网络的层间连接赋权后, 根据需求设定距离得分阈值, 抽取层间连接, 如图 6 所示, 最终完成创新全过程视角下潜在合作对象的识别。

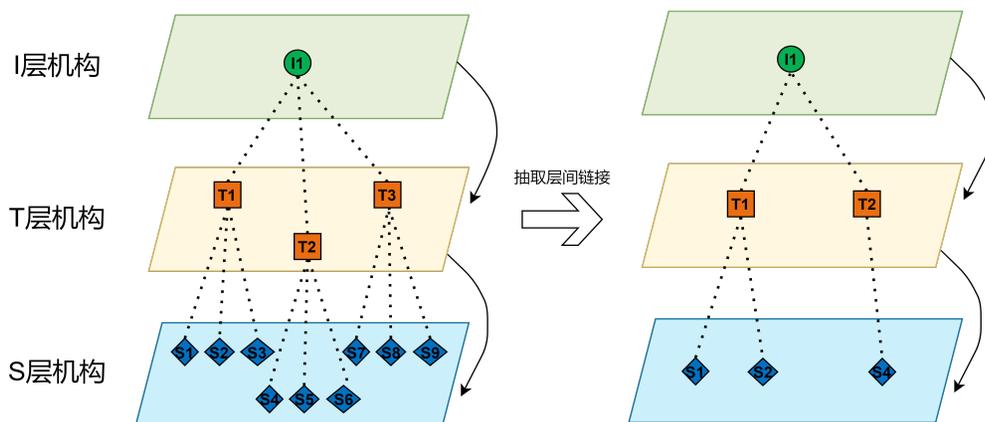


图 6 根据距离得分抽取层间连接

4 实证分析

干细胞研究是当代最前沿的生命科学交叉学科之一, 在多种重大疾病治疗方面潜力巨大。世界各国对干细胞研究高度重视, 中国也将干细胞研究提升至国家战略高度, 加大基础研究和人才储备投入, 倡导干细胞领域产业链、创新链、政策链融合发展, 打破创新闭环, 推动干细胞应用转化, 打造科技创新生态。相较于传统学科, 干细胞研究领域更能有效验证本文提出的创新全过程视角下潜在合作对象识别方法的可行性与有效性。

4.1 数据处理

4.1.1 数据来源

本文科技论文、专利文献、产品数据分别来源于 Pubmed 论文数据库、Derwent 专利数据库、Cortellis 产品数据库。检索时间为 2016 年 1 月 1 日至 2020 年 12 月 31 日, 检索式为 ((ALLD=((“stem cells” OR “stem cell”) NOT (“stem cellulose” or “stem cellular” or “cello” or “cellar” or “cell-phone”))) OR ALLD=((ESC or ASC or iPS or PGC or MSC or CS5C or LSC or TSC or ADSC

or HSC) near (cells OR cell)), 检索获得 63892 篇干细胞领域相关的科技论文, 涉及国内 4033 个科学层机构; 获得 7912 篇干细胞领域相关专利文献, 涉及国内 2169 个技术层机构; 获得 91 个与干细胞领域相关的产品数据, 涉及国内 66 个产业层机构。3 名研究人员独立筛选文献及产品数据、提取资料信息, 并进行交叉核对, 最终获得以上数据。

4.1.2 数据清洗

由于机构数据信息存在标注格式不统一的问题, 包括同一机构拥有若干标注形式、曾用名与现用名混用、缩写与全称混用等问题。为保证研究结果准确性, 本文结合机构官网信息、“企查查”企业信息查询平台对机构名称进行规范化处理, 将机构名称统一为标准形式, 规范过程如表 3 所示。

表 3 机构标注格式规范问题(部分)

不规范问题类型	规范前	规范后
同一机构拥有若干标注形式	Renji Hospital, Shanghai Jiao-Tong University School of Medicine	Renji Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine
	The Renji Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine	
	Zhejiang A&F University	Zhejiang A&F University
	Zhejiang Agriculture and Forestry University	
机构与机构合并后名称标注不统一	Qilu University of Technology	Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences)
	Qilu University of Technology, Shandong Academy of Sciences	
名称标注颠倒	University of South China	University of South China
	South China University	

此外, 现实中有些机构在全国不同地市拥有分支机构, 如山东大学在济南、青岛、威海等城市均有校区。对此类机构, 本文选取机构总部所在城市代表其地理位置。

4.2 核心机构的遴选

(1) 核心机构的初步筛选

①初步筛选产业层(I)核心机构。对产业层(I)内的企业机构, 结合“企查查”企业信息查询平台以及企业官网, 筛选具有资质认定及荣誉称号的企业, 统计到符合条件的企业一共有 41 家, 如表 4 所示。

②初步筛选技术层(T)核心机构。首先, 根据普赖斯定律计算公式, 在技术层机构数据集中, 发文量最高的为广州赛莱拉干细胞科技

股份有限公司, 其发文量为 361 篇, N 取值约等于 14。将发表 14 篇以上专利文献的机构选为技术层候选核心机构, 共计 85 个。其次, 构建技术层(T)候选核心机构合作网络, 剔除散点机构后, 整体网络共包含 22 个节点, 30 条边, 见图 7。其中, 节点大小表示节点的度, 节点越大表示机构的合作数量越多, 节点颜色深浅表示机构发文量的多少, 连线粗细表示机构间的合作次数。

由图 7 可以看出, 技术层(T)候选核心机构合作网络中存在明显的核心区域, 该区域中机构合作数量较多且较为密集。接着对合作状况进一步分析, 构建机构合作共现矩阵并导入到 Ucinet 软件中, 对技术层(T)机构的合作关系进行核心-边缘分析, 并计算出节点核心

表 4 I 层核心机构资质认定情况(部分)

机构名称	能力资质 / 荣誉
Tianjin AmCellGene Engineering Co., Ltd.	高新技术企业
Stemirna Therapeutics Co., Ltd.	高新技术企业、独角兽企业
Shenzhen iStem Regenerative Medicine Technology Co., Ltd.	高新技术企业、科技型中小企业
Scnow (Beijing) Bioengineering Co., Ltd.	高新技术企业、瞪羚企业
Qilu Pharmaceutical Co., Ltd.	高新技术企业、国家级企业技术中心、国家级技术创新示范企业

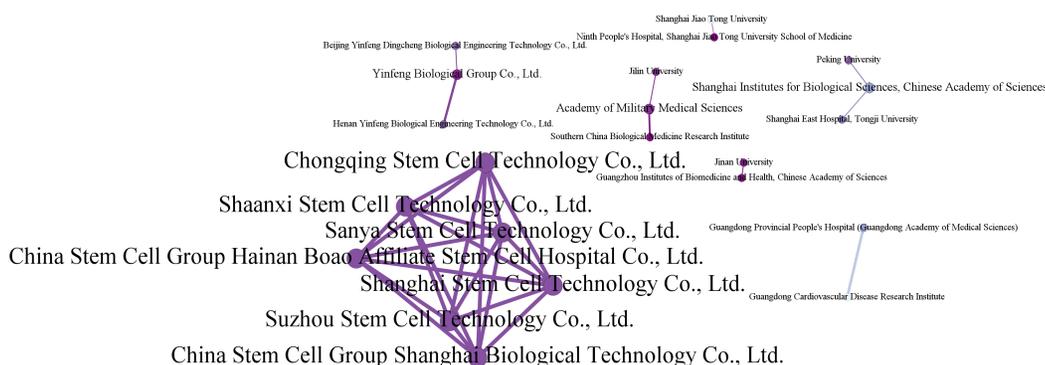


图 7 T 层候选核心机构合作网络

表 5 T 层机构合作关系核心—边缘分析结果(部分)

区域类型	成员机构
核心区	Chongqing Stem Cell Technology Co., Ltd.; China Stem Cell Group Hainan Boao Affiliated Stem Cell Hospital Co., Ltd.; Shaanxi Stem Cell Technology Co., Ltd.; Suzhou Stem Cell Technology Co., Ltd.; Sanya Stem Cell Technology Co., Ltd.; Shanghai Stem Cell Technology Co., Ltd.; China Stem Cell Group Shanghai Biological Technology Co., Ltd.
边缘区	Guangdong Cardiovascular Disease Research Institute; Guangdong Provincial People's Hospital (Guangdong Academy of Medical Sciences); Yinfeng Biological Group Co., Ltd.; Henan Yinfeng Biological Engineering Technology Co., Ltd. 等

度，从而对合作网络中每个机构节点的位置有一个量化的认识。T 层机构合作关系核心—边缘分析结果见表 5，核心—边缘密度矩阵见表 6，各机构在合作网络中的核心度见表 7。

表 6 T 层机构合作关系核心—边缘密度矩阵

	核心区域	边缘区域
核心区域	24	0
边缘区域	0	0.39

表 7 T 层合作网络机构核心度(部分)

机构名称	核心度
China Stem Cell Group Hainan Boao Affiliated Stem Cell Hospital Co., Ltd.	0.380
Shaanxi Stem Cell Technology Co., Ltd.	0.379
Suzhou Stem Cell Technology Co., Ltd.	0.378
Shanghai Stem Cell Technology Co., Ltd.	0.378
Sanya Stem Cell Technology Co., Ltd.	0.377
China Stem Cell Group Shanghai Biological Technology Co., Ltd.	0.377

核心—边缘分析结果显示,在T层的22个机构中,处于核心区域的机构共8个,这些机构间联系密切并处于合作网络的核心位置。处于边缘区域的机构共14个,这些机构之间联系程度较低。从密度矩阵来看,核心区域节点间的互动联系较为密集,密度为24,说明技术层(T)内关键机构之间交流频繁,具有较强合作创新能力。因此本文选取处于核心区域的8个机构作为T层的核心机构。

③初步筛选科学层(S)核心机构。首先,

根据普赖斯定律计算公式,在科学层机构数据集中,发文量最高的为中国科学院大学,其发文量为864篇,N取值约等于22.016。将发文量大于22的机构选为科学层候选核心机构,共计494个。

其次,构建科学层(S)候选核心机构合作网络。去除散点机构后,网络共包含494个节点,14247条边。为更直观展示合作关系,本文将机构合著阈值提高到10,即仅保留合作次数在10次及以上的强合作关系,并选择合适的布局,结果如图8所示。

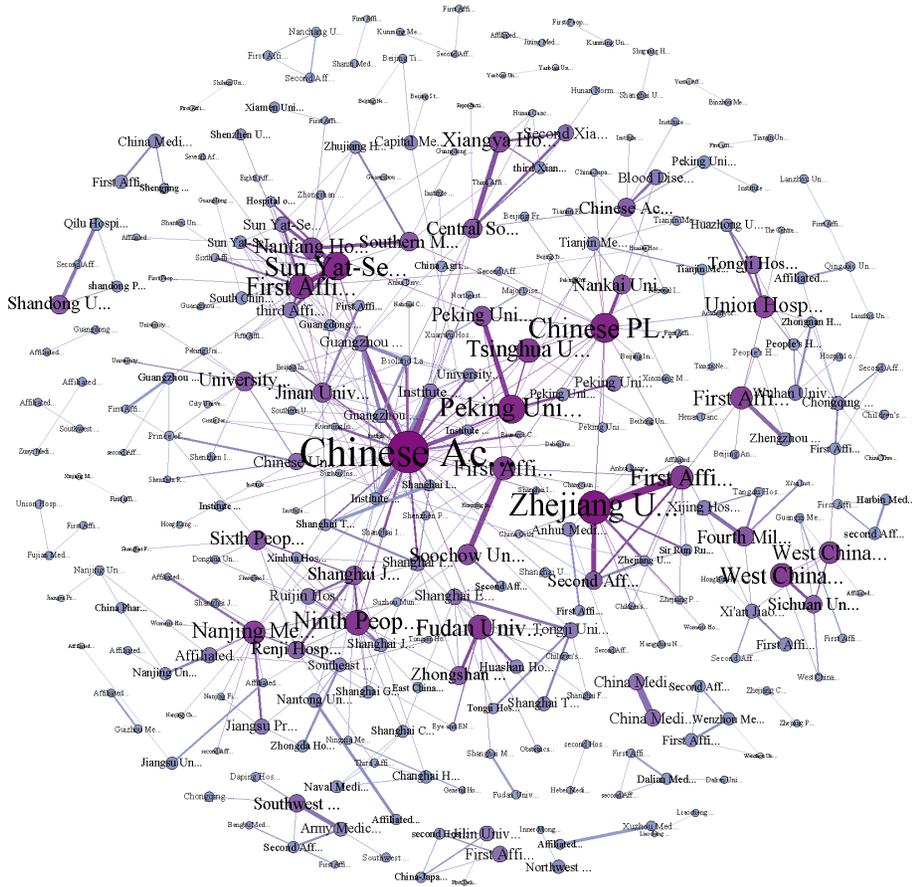


图8 S层候选核心机构合作网络

由图8可以看出,科学层(S)候选核心机构合作网络中明显存在成果产出较多、合作较为密集的中心合作区域,接着对合作关系进行核

心—边缘分析。S层机构合作关系核心—边缘分析结果如表8所示,核心—边缘密度矩阵如表9所示,各机构在合作网络中的核心度如表10所示。

表 8 S 层机构合作关系核心—边缘分析结果(部分)

区域类型	成员机构
核心区	University of Chinese Academy of Sciences; Sun Yat-Sen University; Zhejiang University; Chinese PLA General Hospital; First Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University; Peking University; First Affiliated Hospital, Zhejiang University School of Medicine; Guangzhou Institutes of Biomedicine and Health, Chinese Academy of Sciences; Fudan University; Jinan University; Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College; Nanjing Medical University; Institute for Stem Cell and Regeneration, Chinese Academy of Sciences; Tsinghua University; First Affiliated Hospital, Soochow University; Guangzhou Medical University; Shanghai Jiao Tong University; Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences; Nanfang Hospital, Southern Medical University; Southern Medical University 等
边缘区	West China Hospital, Sichuan University; Nankai University; Soochow University; Fourth Military Medical University (Airforce Military Medical University); Chongqing Medical University; Southeast University; Jiangsu Province Hospital (First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University); Peking University Third Hospital; Shanghai Tenth People's Hospital, Tongji University 等

表 9 S 层机构合作关系核心—边缘密度矩阵

	核心区域	边缘区域
核心区域	5.792	0.720
边缘区域	0.720	0.169

表 10 S 层合作网络机构核心度(部分)

机构名称	核心度
University of Chinese Academy of Sciences	0.454
Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences	0.261
Institute for Stem Cell and Regeneration, Chinese Academy of Sciences	0.250
Guangzhou Institutes of Biomedicine and Health, Chinese Academy of Sciences	0.232
Guangzhou Medical University	0.177
Bioland Laboratory (Guangzhou Regenerative Medicine and Health Guangdong Laboratory)	0.162

核心—边缘分析结果显示，在 S 层的 494 个机构中，处于核心区域的机构共 47 个，这些机构之间合作密切并处于合作网络的核心位置。其中，中国科学院大学在网络中核心度最高，发表成果数量最多，在 S 层机构合作网络中合作最为活跃且影响力最大。处于边缘区域的机构 447 个，这些机构成员之间联系程度较低。从密度矩阵来看，核心区域节点之间的联系较为密集，密度为 5.792，说明科学层(S)内关

键机构之间合作程度较高，对机构间的合作倾向具有引导作用。因此本文选取处于核心区域的 47 个机构作为 S 层的核心机构。

(2) 补充调整各层核心机构数量

筛选各层机构中涉及两个及以上创新层的机构，将其补充到各层核心机构中，调整并最终确定每层核心机构数量。其中，同时涉及三个创新层即跨产业、技术、科学层的核心机构共 7 个，这类机构具备创新的综合实力，选择合作对象时应重点关注。最终确定 I 层核心机构 57 个，T 层核心机构 45 个，S 层核心机构 74 个，如表 11 所示。

4.3 根据机构合作可能性构建层间连接

首先提取干细胞领域内各层核心机构的产品数据、专利数据、科技论文数据。将产品数据中的产品描述、专利的标题与技术信息字段、科技论文的标题与摘要分别作为产业层(I)、技术层(T)、科学层(S)核心机构的研究内容。其次，对研究内容的文本信息预处理，包括分词处理和停用词处理。之后使用 Python 语言中的 Gensim 库进行 Doc2vec 模型的计算，将文本

信息向量化，采用向量余弦值计算研究内容相似度。由于本文研究的是机构间的合作关系，因此涉及多创新层的同一机构不计算内容相似度。

从产业层机构出发，计算 I-T 层之间核心机构研究内容的相似度，计算结果如表 12 所示。其中数值越大，表示机构间研究内容相似度越高。

表 11 各层核心机构(部分)

I 层核心机构	T 层核心机构	S 层核心机构
Jiangxi Xlotus Medical Science and Technology Co., Ltd.	Academy of Military Medical Sciences	Chinese Academy of Sciences
Tianjin AmCellGene Engineering Co., Ltd.	China Stem Cell Group Hainan Boao Affiliate Stem Cell Hospital Co., Ltd.	Sun Yat-Sen University
Guangzhou Saliat Stemcell Science and Technology Co., Ltd.	Chongqing Stem Cell Technology Co., Ltd.	Zhejiang University Chinese PLA General Hospital
Nanjing University	Sanya Stem Cell Technology Co., Ltd.	First Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University
Chinese PLA General Hospital	Shaanxi Stem Cell Technology Co., Ltd.	Peking University

表 12 I-T 核心机构研究内容相似度计算结果(部分)

T 层 \ I 层	Qilu Pharmaceutical Co., Ltd.	TaiGen Biotechnology Co., Ltd.	MabSpace Biosciences Co., Ltd.	Sun Yat-Sen University	...
Jiangsu University	0.709	0.447	0.643	0.797	...
Tongji University	0.674	0.237	0.626	0.722	...
Southeast University	0.662	0.339	0.631	0.743	...
Nantong University	0.654	0.520	0.706	0.718	...
...

综合考虑相似度及机构数量等因素，设定 N=10，即相似度排名在前 10 的机构组合有合作的可能性。从 I 层机构出发，选取与 I 层核心机构研究内容相似度排名前 10 的 T 层核心机构，

为其建立 I-T 层间连接。对已与 I 层产生层间连接的 T 层机构，计算这些机构与科学层核心机构之间即 T-S 层之间的机构研究内容相似度，计算结果如表 13 所示。

表 13 T-S 核心机构研究内容相似度计算结果(部分)

S 层 \ T 层	Jiangsu University	Tongji University	Southeast University	Nantong University	...
Southern Medical University	0.554	0.387	0.496	0.489	...
Shandong University	0.470	0.378	0.505	0.423	...
Sichuan University	0.456	0.374	0.401	0.307	...
Zhejiang University	0.449	0.464	0.510	0.456	...
...

在 T-S 核心机构研究内容相似度计算结果中选取与上述 T 层机构研究内容相似度排名前 10 的 S 层核心机构，为其建立 T-S 层间连接，

构建无权 I-T-S 三层合作网络（图 9），初步识别创新全过程视角下不同创新层机构之间的潜在合作关系。

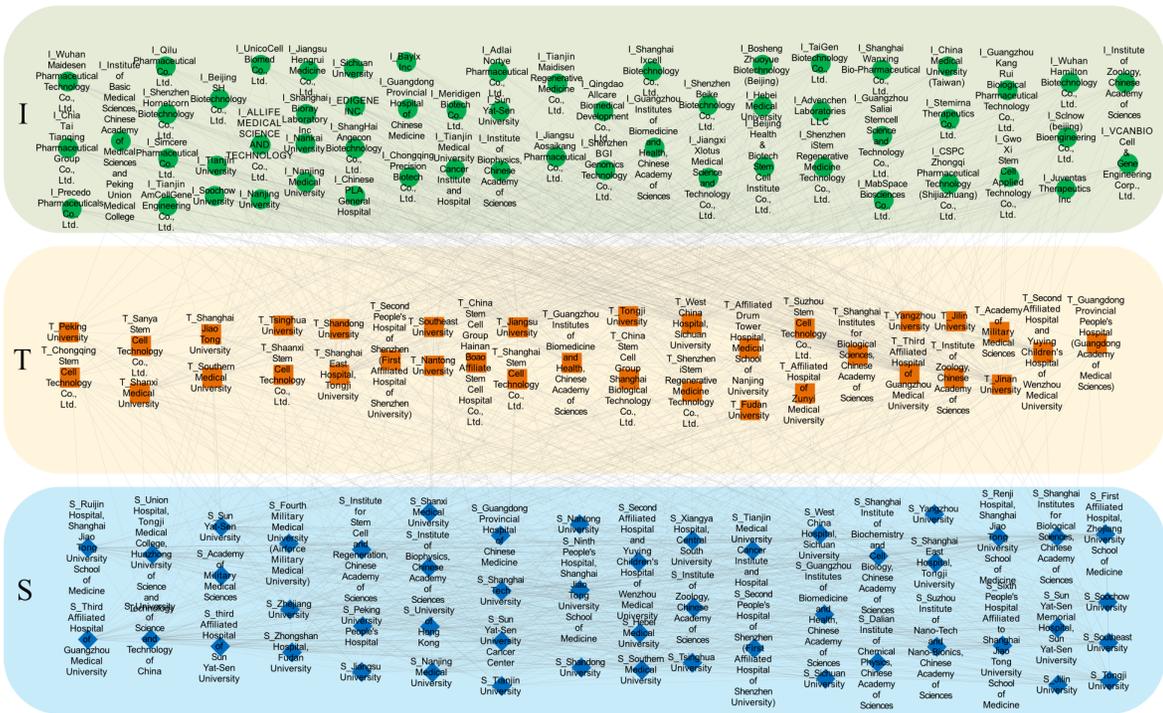


图9 无权 I-T-S 多层合作网络

4.4 根据地理距离得分抽取层间连接

通过百度地图开放平台获取机构所在城市中心点的BD09坐标系经纬度，根据经纬度计算产生连接机构间的地理距离及距离得分。将距离得分作为层间连接权重，构建 I-T-S 有权三

层合作网络。将距离得分均值作为阈值，抽取层间连接，筛选产生层间连接的相似机构中的地理邻近机构，完成创新全过程视角下潜在合作对象的最终识别。识别结果如图 10 所示，其中层间连线越粗代表机构间地理距离越近。

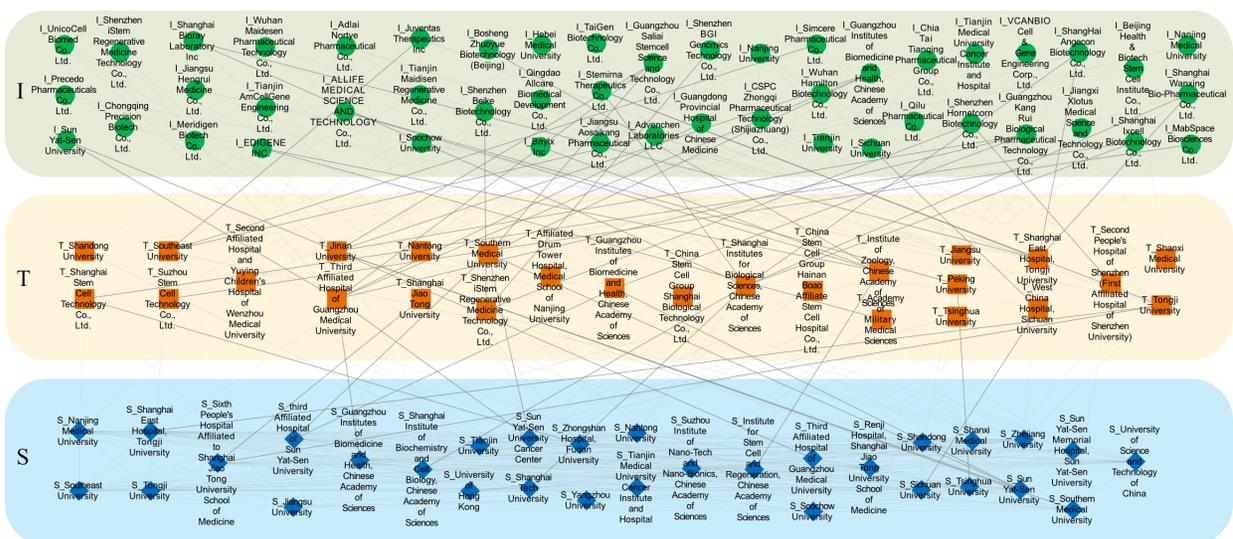


图10 有权 I-T-S 多层合作网络

4.5 结果分析与验证

本文从产业层（I）机构出发，识别跨 I-T-S 多层的潜在合作对象，形成了创新全过程视角下的创新协同组。本文以北京汉氏联合干细胞研究院有限公司（以下简称“汉氏联合”）（Beijing Health & Biotech Stem Cell Institute Co., Ltd.）为例，对识别结果与合作对象选择过程进行解读。选取原因如下：在本文的样本中，①该企业是国家认定的高新技术企业，科技综合实力较强，是中国干细胞产业的先锋企业。为其识别创新全过程视角下的合作对象，围绕其产业链构建创新链，有助于加快干细胞创新产品的研发与生产。②该企业研究生产了关于

人胎盘间充质干细胞、脐带来源间充质干细胞的药品，说明其具备较强的产品开发和科技成果转化实力。但结合其现有合作关系来看，该企业的合作对象均为产业层机构，缺乏科学层、技术层的合作机构来构建创新合作团体，因此有必要为其识别创新全过程视角下的潜在合作对象。③本文研究团队与该企业有过合作往来，便于验证本文的研究结果。

在实证分析中，为“汉氏联合”识别出 6 个贯穿产业、技术、科学层的涉及多环节、多主体的创新协同组，分别由 2 个技术层（T）机构、5 个科学层（S）机构组成，使其能够认识到创新全过程下足够多的潜在合作对象，如图 11 所示。

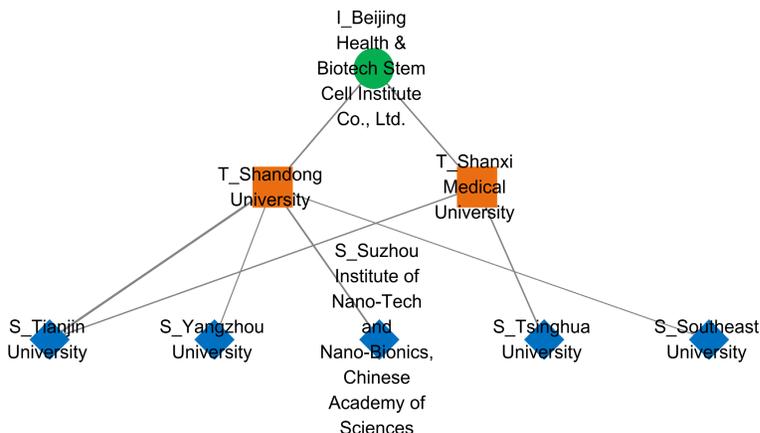


图 11 创新全过程视角下“汉氏联合”的潜在合作对象

以上经过各类指标的层层筛选后识别得到的 6 个创新协同组，是达到可接受预期匹配水平的潜在合作创新团队，所包含的创新活动能够覆盖创新全过程，具备实现基础研究、应用研究、产业应用的能力。

本文提出的潜在合作对象识别方法具有自适应性和可扩展性，产业机构可根据自身创新战略及合作意向在不同创新层中选择具有不同

特征的合作对象形成具有不同功能侧重的创新链团体。为支持“汉氏联合”选择最匹配的合作对象，本文对不同协同组中各机构间的产出能力、研究内容相似度、地理距离进行分析，用机构的产出成果在其所在创新层的核心机构产出成果总数中的占比表示机构的产出能力。对“汉氏联合”潜在协同组的 T 层机构能力分析见表 14、S 层机构能力分析如表 15 所示。

表 14 “汉氏联合”创新团体 I-T 机构能力分析

I 层机构	Beijing Health & Biotech Stem Cell Institute Co., Ltd.	
T 层机构	Shandong University	Shanxi Medical University
机构产出成果占比 (%)	0.341	0.190
机构间内容相似度	0.666	0.662
距离得分	0.003	0.002

表 15 “汉氏联合”创新团体 T-S 机构能力分析

T 层机构	Shandong University				Shanxi Medical University	
S 层机构	Southeast University	Yangzhou University	Tianjin University	Suzhou Institute of Nano-Tech and Nano-Bionics	Tianjin University	Tsinghua University
机构产出成果占比 (%)	0.320	0.191	0.148	0.093	0.148	0.694
机构间内容相似度	0.514	0.512	0.510	0.510	0.494	0.478
距离得分	0.002	0.002	0.004	0.003	0.002	0.003

当“汉氏联合”的创新战略倾向于高产出和研究内容相近时，该企业可优先选择山东大学作为应用研究环节的合作机构，选择东南大学作为基础研究环节的合作机构，形成具有高产出、高竞争力、内容更高关联、目标更加匹配的创新链团体。该合作团队中的创新机构均致力于人类胎盘间充质干细胞应用于慢性伤口修复与炎症的抑制、透明质酸钠用于增强间充质干细胞分泌功能等方面的研究开发，能够实现现有研究领域基础研究、应用研究与产业应用的全面发展，逐步成为引领研究领域发展的中坚力量。

当创新合作需求倾向于地理邻近时，“汉氏联合”可优先选择山东大学作为应用研究环节的合作机构，选择天津大学作为基础研究环节的合作机构，形成具有强地理邻近性、社会文化及经济政策更相似的创新链团体。该团队中各机构间距离较近，便于面对面沟通与交流，提高知识交流和资源互换的效率，为科技成果转化提供了便捷渠道，能够更好地提高创

新绩效。

为验证本文方法的可行性与识别结果的有效性，本文随机抽取产业层核心机构中产品发明量排名前 20 的机构的专家与机构合作事项负责人，将识别过程与结果（包括潜在合作机构所涉及的创新环节、机构能力资质及特点、研究内容或方向、地理位置等信息）以在线咨询或邮件的方式发送给他们，并请他们回复合作意愿以及其所在机构对于合作伙伴的标准和合作需求，邀请他们探讨本文的实证结果。对回复结果统计分析后，发现大多数识别结果符合机构对其合作伙伴的要求，创新合作能力较强、研究方向与本机构相符、地理距离合适更易于交流是其选择合作对象的重要考虑因素。机构合作项目负责人认为本文为其识别的创新团队具备与其合作创新的综合实力，具有一定合作可行性。少数专家对识别结果存在异议，因为识别的潜在合作对象已有固定且成熟的创新合作团队。上述识别结果是未来合作对象的参考选择，在实际创新活动中，各机构是否真正产

生合作, 还受诸多现实因素影响。

5 结论与展望

本文基于创新全过程视角, 综合考虑合作的潜在规律及影响因素, 构建多层合作网络来展现贯穿基础研究、应用研究与产业应用多环节的潜在合作对象识别流程, 提出层层递进的识别方法, 支撑创新主体高效、准确地定位创新全过程视角下的潜在合作对象。以干细胞领域中的创新机构为研究对象的实证分析验证了方法的可行性与有效性。在识别结果的基础上可根据不同的创新战略及合作意向, 选择更符合自身需求的机构形成创新团体, 实现干细胞领域更高效的科技创新。本文提出的方法弥补了已有研究中仅基于单一创新环节或单一指标对主体间潜在合作关系识别的不足, 为各领域有科技创新需求或科技成果转化困难的机构在开放式创新环境下识别合作伙伴提供了理论支撑与实践启示, 且对现有创新团体合作关系的可持续性具有一定预测作用。

本文仍存在一些局限。首先, 随着时间推移, 机构的研究内容处于动态变化过程中, 因此在衡量机构间的研究内容相似度时, 有必要考虑机构研究主题随时间的变化; 其次, 合作对象的遴选过程复杂, 影响因素众多, 不同创新环节的主体有着不同的创新需求, 后续可考虑创新主体的更多属性与合作需求对识别方法进行改进。最后, 未来采用可量化的结果验证方法以消除验证方法中的主观性, 以期获得更具有科学性与实用性的创新全过程视角下的潜在合作对象识别方法。

参考文献

- [1] 光明日报. 科技部 财政部关于印发《企业技术创新能力提升行动方案(2022—2023年)》的通知[EB/OL]. (2022-08-05)[2022-11-08]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-08/15/content_5705464.htm.
- [2] 本刊综合. 省科技厅联合7部门出台政策推动创新链产业链融合发展[J]. 今日科技, 2022(7): 33-34.
- [3] 任志宽. 推动产业链与创新链深度融合[J]. 支部建设, 2020(23): 13-14.
- [4] 丁敬达, 郭杰. 融合内容相似度和路径相似性的潜在作者合作关系挖掘[J]. 情报理论与实践, 2021, 44(1): 124-128, 123.
- [5] 张金年, 罗艳. 基于内容的作者研究相似度与潜在合作网络分析——以图书馆学期刊为例[J]. 情报科学, 2021, 39(8): 86-93.
- [6] 温芳芳. 基于专利权人-分类号耦合分析的潜在合作关系网络研究[J]. 情报学报, 2016, 35(12): 1265-1272.
- [7] 陈浩, 张梦毅, 程秀峰. 融合主题模型与决策树的跨地区专利合作关系发现与推荐——以广东省和武汉市高校专利库为例[J]. 数据分析与知识发现, 2021, 5(10): 37-50.
- [8] TIMMERS P. Building effective public R&D programs[Z]. PICMET Book of Summaries, 1999(1): 591-597.
- [9] TURKENBURG W C. The innovation chain: policies to promote energy innovations[J]. Energy for sustainable development, 2002: 137-172.
- [10] 焦豪, 张睿, 马高雅. 国外创新生态系统研究评述与展望[J]. 北京交通大学学报(社会科学版), 2022, 21(4): 100-112.
- [11] ADNER R. Match Your Innovation Strategy to Your Innovation Ecosystem[J]. Harvard Business Review, 2006, 84(4): 98-107.
- [12] 王高峰, 杨浩东, 汪琛. 国内外创新生态系统研究演进对比分析: 理论回溯、热点发掘与整合展望[J]. 科技进步与对策, 2021, 38(4): 151-160.
- [13] KLIMAS P, CZAKON W. Species in the wild: a typology of innovation ecosystems[J]. Review of Managerial Science, Springer, 2022, 16(1): 249-282.

- [14] 赵程程, 秦佳文. 美国创新生态系统发展特征及启示 [J]. 世界地理研究, 2017, 26(2): 33-43.
- [15] NGONGONI C N, GROBBELAAR S, SCHUTTE C S. Making Sense of the Unknown: Using Change Attractors to Explain Innovation Ecosystem Emergence[J]. Systemic Practice and Action Research, 2022, 35(2): 227-252.
- [16] MOORE J F. Predators and Prey: A New Ecology of Competition[J]. Harvard business review, 1999, 71(3): 75-86.
- [17] 李军凯, 高菲, 龚轶. 构建面向未来产业的创新生态系统: 结构框架与实现路径 [J]. 中国科学院院刊, 2023, 38(6): 887-894.
- [18] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能 [J]. 科学学研究, 2015, 33(2): 242-253.
- [19] 王其冬, 李东, 周艳春, 等. 基于项目合作的社会关系网络中核心社团发现 [J]. 计算机应用与软件, 2020, 37(3): 173-177, 224.
- [20] 王衍喜, 周津慧, 王永吉, 等. 一种基于科技文献的学科团队识别方法研究 [J]. 图书情报工作, 2011, 55(2): 55-58, 98.
- [21] 张克群, 张文, 汪程. 知识组合新颖性、网络特征与核心发明人关系研究 [J]. 情报杂志, 2022, 41(1): 185-191.
- [22] 高楠, 周庆山. 基于有向合著网络的核心团队挖掘研究——以图情领域为例 [J]. 图书情报工作, 2021, 65(20): 81-91.
- [23] 黄维, 陈勇. 中国教育经济学研究者合作网络的社会网络分析 [J]. 现代大学教育, 2010(2): 14-19, 111.
- [24] 王超, 武华维, 董振飞, 等. 重大公共危机中科研协同团队识别研究——以诊断试剂为例 [J]. 科技进步与对策, 2020, 37(9): 21-29.
- [25] 王谦, 丁倩, 郭春彦, 等. 我国儿科人群多中心药物临床试验机构合作关系网络分析 [J]. 中国医院用药评价与分析, 2024, 24(3): 257-260, 264.
- [26] 李纲, 李春雅, 李翔. 基于社会网络分析的科研团队发现研究 [J]. 图书情报工作, 2014, 58(7): 63-70, 82.
- [27] 于永胜, 董诚, 韩红旗, 等. 基于社会网络分析的科研团队识别方法研究——基于迭代的中间中心度排名方法识别科研团队领导人 [J]. 情报理论与实践, 2018, 41(7): 105-110.
- [28] CAPON N, GLAZER R. Marketing and Technology: A Strategic Coalignment[J]. Journal of Marketing, 1987, 51(3): 1-14.
- [29] CRISTIAN G, JORGE H, CHRISTIAN F, et al. Proximity as determinant of business cooperation for technological and non-technological innovations: a study of an agribusiness cluster[J]. Journal of Business & Industrial Marketing, 2017, 32(1): 167-178.
- [30] WANG X, LI R, HUANG Y, et al. Identifying R&D partners for dye-sensitized solar cells: a multi-level patent portfolio-based approach[J]. Technology Analysis & Strategic Management, 2019, 31(3): 356-370.
- [31] 徐健, 毛进, 叶光辉, 等. 基于核心作者研究兴趣相似性网络的社群隶属研究——以国内情报学领域为例 [J]. 图书情报工作, 2018, 62(12): 57-64.
- [32] 王超, 许海云, 方曙. 产学研潜在合作对象识别方法研究 [J]. 科学学研究, 2018, 36(1): 101-113.
- [33] 李仲, 韩红旗, 吴广印, 等. 基于文本稀疏分布式表征的学术合作推荐 [J]. 情报科学, 2019, 37(6): 113-118.
- [34] CHUAN P, SON L, ALI M, et al. Link Prediction in Co-authorship Networks based on Hybrid Content Similarity Metric[J]. Applied Intelligence, 2018, 48.
- [35] 陈卫静, 郑颖. 基于作者关键词耦合的潜在合作关系挖掘 [J]. 情报杂志, 2013, 32(5): 127-131.
- [36] LE Q, MIKOLOV T. Distributed Representations of Sentences and Documents[J]. Eprint Arxiv, 2014(4): 1188-1196.
- [37] GERTLER M S. Tacit knowledge and the economic geography of context, or The undefinable tacitness of being (there)[J]. Journal of Economic Geography, 2003, 3(1): 75-99.
- [38] KATZ J S, MARTIN B R. What is research collaboration?[J]. Research Policy, 1997, 26(1): 1-18.
- [39] ARINO A, ABRAMOV M, SKOROBOGATYKH I, et al. Partner Selection and Trust Building in West European-Russian Joint Ventures: A Western Perspective[J]. International Studies of Management & Organization, Taylor & Francis, Ltd., 1997, 27(1): 19-37.
- [40] 温芳芳. 基于专利文献计量的我国校企科研合作

- 现状分析[J]. 情报杂志, 2014, 33(12): 71-76.
- [41] 贺超城, 吴江, 魏子瑶, 等. 科研合作中机构间科研主导力及邻近性机理——以中国生物医学领域为例[J]. 情报学报, 2020, 39(2): 148-157.
- [42] AUTANT-BERNARD C, FADAIRO M, MASSARD N. Knowledge diffusion and innovation policies within the European regions: Challenges based on recent empirical evidence[J]. *Research Policy*, 2013, 42(1): 196-210.
- [43] NEWMAN M E J. The structure of scientific collaboration networks[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2001, 98(2): 404-409.
- [44] SCHUEMIE M J, KORS J A. Jane: suggesting journals, finding experts[J]. *Bioinformatics*, 2008, 24(5): 727-728.
- [45] COHEN S, EBEL L. Recommending collaborators using keywords[C]//*Proceedings of the 22nd International Conference on World Wide Web*. Rio de Janeiro Brazil: ACM, 2013: 959-962.
- [46] 吴晓波, 吴东. 论创新链的系统演化及其政策含义[J]. *自然辩证法研究*, 2008, 24(12): 58-62.
- [47] 王超. 基于创新链的区域产业竞争力分析方法研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2018.
- [48] 韩菁, 唐箫, 余乐安. 基于多层网络链路预测的潜在合作关系识别研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2021, 41(4): 1049-1060.
- [49] 刘晓燕, 侯文爽, 单晓红. 基于多层网络的科技创新政策府际合作机理[J]. *科研管理*, 2021, 42(3): 97-108.
- [50] ZHANG G, TANG C. How could firm's internal R&D collaboration bring more innovation?[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2017, 125: 299-308.
- [51] XU H, WANG C, DONG K, et al. A Study of Methods to Identify Industry-University-Research Institution Cooperation Partners based on Innovation Chain Theory[J]. *Journal of Data and Information Science*, 2018, 3(2): 38-61.
- [52] 李政, 王思霓. 基础研究与应用研究的产业创新效应[J]. *武汉大学学报(哲学社会科学版)*, 2021, 74(5): 91-104.
- [53] 王崇锋, 崔运周, 王世杰, 等. 冠状病毒防疫领域的专利技术合作网络特征研究[J]. *科学与管理*, 2021, 41(1): 1-9.
- [54] 王超, 张伟然, 许海云, 等. 突发公共卫生危机中科研应急力量的协同整合研究——以诊断试剂应急研发为例[J]. *情报理论与实践*, 2021, 44(1): 138-146.
- [55] 刘家树, 石洪波, 齐昕. 创新链视角下高新技术企业认定效应与机制研究[J]. *科研管理*, 2022, 43(6): 22-31.
- [56] 党兴华, 郑登攀. 技术创新网络中核心企业影响力评价因素研究[J]. *科研管理*, 2007(S1): 19-25, 18.
- [57] 雷根强, 郭玥. 高新技术企业被认定后企业创新能力提升了吗?——来自中国上市公司的经验证据[J]. *财政研究*, 2018(9): 32-47.
- [58] 李志宏, 王娜, 周广刚. 国内管理科学领域高校间的学术论文合著网络分析[J]. *研究与发展管理*, 2012, 24(4): 71-80.
- [59] 刘明信, 李丹丹, 李荣, 等. 专利视阈下产业技术创新合作网络演化分析——以肿瘤疫苗为例[J]. *图书情报工作*, 2022, 66(9): 117-127.
- [60] 丁学东. 文献计量学基础[M]. 北京: 北京大学出版社, 1992: 220-236.
- [61] JEONG Y K, SONG M, DING Y. Content-based author co-citation analysis[J]. *Journal of Informetrics*, 2014, 8(1): 197-211.
- [62] VAN ECK N J, WALTMAN L. Appropriate similarity measures for author co-citation analysis[J]. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 2008, 59(10): 1653-1661.
- [63] ANSELIN L, VARGA A, ACS Z. Local Geographic Spillovers between University Research and High Technology Innovations[J]. *Journal of Urban Economics*, 1997, 42(3): 422-448.
- [64] 许海云, 隗玲, 庞弘桑, 等. 产学研潜在合作对象识别方法研究[J]. *情报学报*, 2016, 35(5): 521-529.
- [65] 嵇正龙, 宋宇. 融合空间距离测度市场分割指数的方法设计与应用[J]. *统计与信息论坛*, 2021, 36(7): 10-17.