



开放科学
(资源服务)
标识码
(OSID)

基于成员角色的科研团队结构复杂性研究

邢晓昭 郑彦宁

中国科学技术信息研究所 北京 100038

摘要: [目的/意义] 组织结构是科研团队开展科研活动的载体, 对组织结构进行研究有助于开展科研团队的精准识别和适时适度培育。但是, 组织结构具有不显著性和不确定性, 是一个复杂系统。[方法/过程] 本文通过对团队自组织演化过程的分析, 结合网络位置理论, 提出一种基于成员角色的团队结构复杂性分析方法: 首先通过成员所处网络位置判别成员角色, 其次通过团队内角色构成判别其结构复杂性程度。在此基础上, 提出基于科研合作网络的定量测度方法并开展实证研究。[结果/结论] 结果显示, 该方法对于识别科研团队组织结构具有良好效果。

关键词: 成员角色; 结构复杂性; 自组织; 社会网络分析; 科研团队识别

中图分类号: G35

Research on the Complexity of Scientific Research Team Structure Based on the Member's Role

XING Xiaozhao ZHENG Yanning

Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038, China

Abstract: [Objective/Significance] Organizational structure is the carrier of scientific research activities carried out by scientific research teams. The research on the organizational structure is helpful for the accurate identification and appropriate cultivation of scientific research team. However, the organizational structure is not significant and uncertain, and it is a complex system. [Method/process], this paper proposes an analysis method of team structure complexity based on member's role through the analysis of the self-organization evolution process of scientific research teams and combined the network location theory. Firstly the role of members is identified by their network location. Then, the complexity of the structure is determined by the role composition within the team. Finally, a quantitative measurement standard suitable for scientific cooperation network is put forward and

基金项目 中信所青年基金“基于社会网络分析的科研团队演化规律研究”的研究成果(QN2020-02)。

作者简介 邢晓昭(1988-), 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为科研团队识别、专利分析研究, E-mail: xingxz@istic.ac.cn; 郑彦宁(1965-), 研究馆员, 博士生导师, 主要研究方向情报理论与方法研究。

a empirical research is carried out. [Result/conclusion]The results show that this method has good effect on identifying the organizational structure of scientific research team.

Keywords: Member's role; structural complexity; self-organization; social network analysis; scientific research team identification

引言

大科学时代,科研团队是一种普遍存在的创新组织形式,对其的发现和识别是推动技术创新过程的有效措施之一。受到形成原因、合作基础、个体水平和外部环境等因素的影响,不同的科研团队之间具有差异性,仅对团队成员进行发现是不够的,掌握不同类型团队、以及团队发展不同阶段的核心特质和需求,才能有针对性地开展团队培育和人才资助政策。团队结构是团队刻画的重要切入点,刘则渊^[1]认为人才群体的结构包括学科专业结构、智力能级结构、思维类型结构和年龄结构等,而这些结构最终决定了成员在科研团队中分工结构,即组织结构。组织结构是科研团队开展科研活动的载体,这种结构具有不显著性和不确定性,却又反映在成员之间相互合作的社交网络中,是一个复杂系统。开展科研团队结构分析,不仅能使科研主管部门更准确地把握科研机构的人才队伍状况,为政策制定提供支撑,也是对现有基于社交网络来识别科研团队,并剖析其合作特征的方法补充。

1 基于成员角色的科研团队结构复杂性分析方法

科研团队作为一个复杂系统,其从形成到

发展的过程是一个自组织过程,即存在一个由无组织边界到有组织边界,且组织结构复杂性不断提高的过程(本文之后提到的结构复杂性都指组织结构复杂性)。而团队整体组织结构下沉到每一个个体,则表现为成员之间的角色分工,分工的不同决定其在每次创新活动中的合作对象和发挥作用不同,这进而又表现为网络位置的差异性。本文利用这种差异性来识别成员角色,再从成员角色构成角度对团队结构复杂性进行研究。

1.1 研究现状

国内外学者在对团队进行定义的时候大多都提到了三个特质:共同目标、专业或才能互补,以及相互依赖与协调^[2-4]。科研团队是以科学研究与开发为主要内容,成员之间具有共同的科研目的。差异性科研人员之间合作的根本动机,它使得团队科研绩效大于个人绩效之和,同时也是结构产生的基础。成员之间的相互合作产生分工,同时这些合作轨迹会映射到网络空间,产生大量丰富而具有活力的网络数据,如合作网络,引文网络等。Stviliay等^[5]的研究表明学科多样性对团队绩效具有积极影响,性别多样性对团队绩效作用不明显,而工作资历的多样性对科研绩效有负效应。Bai X等^[6]指出,地理距离也会影响团队绩效。徐婧等^[7]提出了基于年龄分布、教育背景、合作模式三个维度

的科研群体结构特征分析模型。李纲等^[8]提出一种科研团队发现方法：首先对合著网络进行中心性分析识别团队领导人，其次基于派系分析识别团队核心成员，最后通过滚雪球方法识别团队非核心成员。上述研究主要从团队的人口统计学特征来分析团队结构，或基于角色对团队成员进行发现，基于成员角色来揭示团队整体组织结构的研究较少。此外，社会网络分析中的一些理论与方法，如网络位置理论和社团发现算法等可以更好地被用于科研团队识别。本文通过对团队自组织演化过程的分析，提出一种研究科研团队结构的新视角：基于成员角色来测度科研团队结构复杂性程度，而成员角色通过其所处的网络位置识别，以期对科研团队识别和探析团队演化规律提供借鉴。

1.2 研究方法

1.2.1 科研团队的自组织演化过程

科研团队是由于科学家的自由探索与自发合作而形成的，科学家根据自身的兴趣、条件，以及周围同行的研究做出选择，以达到提升科研效率的目的，而个体选择在更高层次上达到了扩展科学共同体整体成就的效果。个体选择的不确定性以及其对团队整体表现的非线性影响决定了科研团队的复杂性，而自组织是复杂性的特性之一^[9]。吴彤^[9]认为，自组织作为一种过程演化的哲学上的概念抽象，包含着三类过程：1. 由非组织到组织的过程演化；2. 由组织程度低到组织程度高的过程演化；3. 在相同组织层次上由简单到复杂的演化。周跃进等^[10]提出自组织团队具有开放性、自主性、适应性、复杂性、非线性、动态性等特征。

科研团队的自组织演化过程，是一个在内部机制的驱动下，由无序向有序、由低级向高级，不断提高自身复杂性和成员分工精细度的发展过程。在科研团队成立初期或处于雏形阶段时，成员之间根据兴趣结合，地位相对平等，而且沟通交流很充分，不同思想的碰撞是重大创新萌芽的沃土。但成员各据一方、合作具有随机性，此时团队的组织特性不明显，呈现无序的状态。随着其与环境进行物质、能量和信息的交换，系统中的新元素与原有元素发生相互作用，使系统远离平衡态，向有序方向发展。这一过程可以抽象为团队成员按照某种简单的机制与新成员连接，以及原有成员之间的链接增长过程。新成员具有择优连接性，就是当新成员加入时，更易选择与那些连通度大的重要成员合作，即富者愈富现象。成员之间具有竞争性：成员在团队中的成长速度和角色并不单独依赖于他加入的时间，还与他自身的一些本质特性有关。例如，有些人就更加善于在短时间内聚集资源、获得大量链接。由于在能力、性格、社会地位等方面存在差异，成员之间在不断的磨合过程中出现角色分化，中心人物形成，并以该人物为主组织创新活动。随着团队的成长和新成员的加入，团队规模增大并继续远离平衡态，团队成员受兴趣爱好及合作偏好的影响形成不同的技术小组，成员分工进一步细化，组织复杂性和有序程度进一步提高。此时，团队会进入一个较为高产的时期，团队运行效率大大提升。之后，团队会向成熟阶段发展，成熟团队管理有序、等级森严，成员分工很细、核心成员较为稳定。成熟团队的运行效率很高，但是资源分布不均匀，少部分人掌握大部分资源，并享

受大部分利益,这使团队在接下来会面临分裂或者组织层次的跃升。

1.2.2 基于成员角色识别科研团队结构复杂性

科研团队通过自组织的方式演化,系统才能发展出原来没有的特性、功能和结构,这就意味着复杂性的增长。林渊博^[11]从水平复杂性、垂直复杂性和空间复杂性三个维度建立了企业的组织结构复杂性评价指标体系。科研团队的自组织演化过程映射于网络空间,表现为复杂网络演化的自组织现象,很多学者通过网络结构熵来测度复杂网络复杂性^[12-14]。网络结构熵的本质是度量网络结构的差异性,从而弱化了网络节点的重要性差别。对于一支科研团队来说,与普通成员之间的差异性相比,我们更关心那些核心成员,比如他们是否已经出现,以及他们之间是如何分工的,因为这些才是一个团队发展阶段的重要标志。

在社会学意义上,角色之所以重要,是因为它向我们展示了个体行动所遵循的规则模式。而个体所扮演的角色是以成员间彼此交互的形式存在的,是由其所处的社交网络中的位置决定的,同一位学者在不同科研团队中可能扮演不同角色,因此网络位置的划分是角色识别的基础^[15]。网络位置的划分主要考察各个位置成员接收和发送关系,基于结构对等性原则,把相似的行动者分到互斥的派别中。Burt^[16]将网络位置分为四类:孤立位置、领导者位置、终结者位置和追随者位置。Wasserman等^[17]在此基础上细化了四类位置的定义,并将各个位置的规模考虑在内。本文在划分成员角色时将借

鉴上述分类方法。

2 测度方法研究

成员在整个团队中的角色是由其在每次创新活动中扮演的角色积累而成。在每次创新活动中,成员可能扮演三种角色:1.领导者 2.参与者 3.缺席者。一般而言,在一件科技成果中所有署名者至少扮演参与者角色,而第一署名人主导整个研究并扮演与其他署名人不同的角色,因此科研合作网络可以被用于识别成员角色。本文假设,第一署名人在本次创新活动中扮演领导者角色,其他署名人扮演参与者角色,其他署名人对第一署名人是支持的关系,构建从其他署名人指向第一署名人的有向合作网络。

2.1 成员角色识别

本文通过考察团队成员的领导力和配合力来确定其角色。在团队内有向合作网络中,成员节点的带权重入度(Indegree)表示其在历次创新活动中获得其他成员支持的总次数,综合考虑了个人生产力及能够获得的人力资源,可以作为领导力的综合考量指标。成员节点的带权重出度(Outdegree)表示该成员支持其他团队成员的总次数,可以作为配合力的考察指标。将成员角色定义为领导者、中介者、技术骨干、主要参与者、一般参与者和外围成员6中类型,其中领导者、中介者、技术骨干为核心成员,主要参与者、一般参与者和外围成员为非核心成员,角色识别标准如表1所示。

表 1 团队成员角色特点及识别标准

角色类型	角色特点	识别标准	是否核心成员
领导者	团队参与度高, 且领导力强于配合力	Indegree和Outdegree都排名前1/2且Indegree大于Outdegree	是
中介者	团队参与度高, 且配合力强于领导力	Indegree和Outdegree都排名前1/2且Outdegree大于Indegree	是
技术骨干	团队参与度一般, 但领导力较强	Indegree排名在前1/2, 且Outdegree排名后1/2	是
主要参与人	团队参与度一般, 但配合力较强	Indegree排名后1/2, 且Outdegree排名前1/2	否
一般参与人	团队参与度低, 领导力和配合力都较弱	Indegree排名后1/2, 且Outdegree排名后1/2	否
外围成员	并非其主要合作者的主要合作对象	Indegree等于0, 且Outdegree等于0	否

2.2 结构复杂性判别

本文通过科研团队中包含的核心成员角色种类来反映其组织结构的复杂性程度。根据核心成员的所有角色可能性, 结构复杂性包含四个等级。没有核心成员的团队结构复杂性为 1, 有一类核心成员的团队结构复杂性为 2; 有两类核心成员的团队结构复杂性为 3; 有三类核心成员的团队结构复杂性为 4。

3 实证——以电动汽车领域专利发明人团队为例

论文和专利是科学研究中两种最为重要的经过认定且公开发表的成果形式, 论文中主要记载科学理论成果, 而专利中蕴含了丰富的应用技术成果。目前, 科研团队识别主要以论文作为数据来源。专利文献内容的专业性和技术性较强, 需要更为持续的研究, 因此发明人之间的合作也更加稳定, 具有进行团队挖掘的价值。本文以电动汽车领域专利发明人团队为例开展应用分析。

3.1 数据来源与实验步骤

实证数据来源于中国科学技术信息研究所《电动汽车专题数据库》, 共采集获得 1988-2017 年间申请的中国专利 6832 条, 涉及专利发明人 9403 名。由于发明人存在重名现象, 基于专利申请人、申请地址和合作者对发明人进行重名消解处理, 最终获得发明人 10227 位。对专利申请人进行拆分, 最终获得电动汽车领域申请人 2747 个, 包含发明人合作关系的 1523 个, 其中机构 1226 家, 自然人 297 位。

详细研究步骤如表 2 所示。受到物理距离和管理体制等因素影响, 紧密的科研合作更容易发生在同一机构的成员之间。为限定研究边界, 实证研究中依次基于单个专利申请人的无向合作网络来发现科研团队成员。Louvain 算法是 Blondel 等^[18]于 2008 年提出的一种基于模块度最大化的启发式社区发现算法, 具有效果好、效率高和容易实现等优点, 本文采用该算法对社团进行划分。从团队内有向合作网络中识别成员角色和团队结构复杂性, 识别方法如第 2 章所述。

表 2 研究步骤

步骤	内容
1	采集电动汽车领域专利数据，并进行预处理
2	构建机构内无向网络，基于louvain算法发现科研团队成员
3	构建团队内有向网络，基于节点网络位置对成员角色进行识别
4	识别科研团队结构复杂性

3.2 结果分析

3.2.1 成员角色识别结果

2201 支团队中共包含领导者角色 110 个，

中介者角色 83 个，技术骨干 2487 个，主要参与人 1467 个，一般参与人 5951 个，外围成员 488 个。一般参与人数量最多，在所有角色中占比 56%，核心成员整体占比 25%。同一发明人在不同的团队中可能扮演不同的角色，比如任勇在重庆长安汽车股份有限公司 0 号团队中扮演中介者角色，而在重庆大学 1 号团队中扮演主要参与人角色（见图 1），任勇本人隶属于长安汽车，但与重庆大学的研究者密切合作密切，因此成为两个团队的媒介之一。

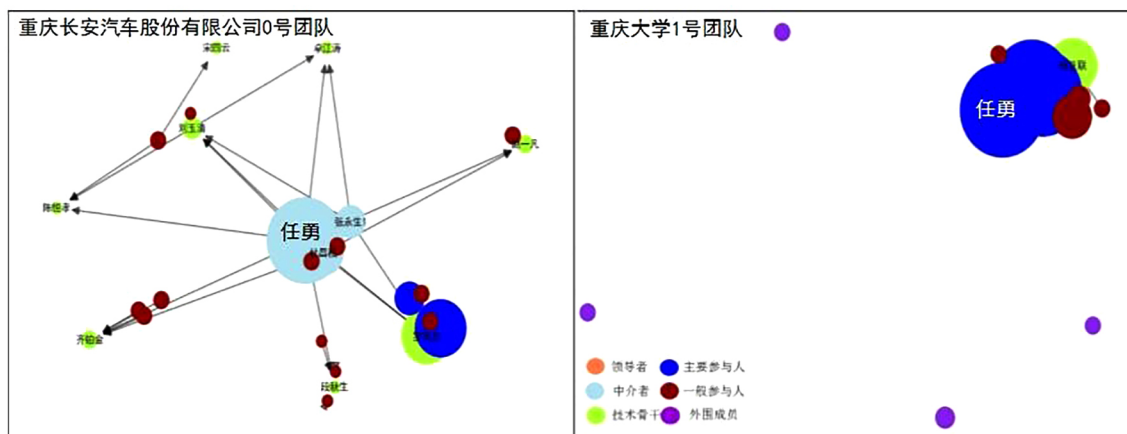


图 1 重庆长安汽车股份有限公司 0 号团队和重庆大学 1 号团队合作网络图

3.2.2 各类团队特征分析

结构复杂性为 1 的团队中没有形成中心人物，成员之间的关系较为平等，这一般是团队创立之初所处的状态；结构复杂性为 2 的团队开始出现层级分化，形成核心成员和非核心成员。核心成员可能是一位技术骨干、多位技术骨干甚至领导者，非核心成员可能是一般参与人、主要参与人或外围成员，这类团队是一支稳定科研团队的初级阶段；结构复杂性为 3 的团队中包含两类核心成员：领导者和技术骨干，

或者中介者和技术骨干，后一种情况下中介者近似领导者角色。团队由三个层级构成，并出现技术分组，领导者领导整个团队，而技术骨干领导一个技术小组，这类团队是一支稳定科研团队的中级阶段；结构复杂性为 4 的团队是经过长期发展演化，和成员间不断磨合碰撞而形成的，是一支稳定科研团队的高级阶段。团队中包含领导者、中介者和技术骨干，中介者有时候辅助领导者，充当领导者和技术骨干之间媒介，有时候是整个团队的灵魂和核心，身

份凌驾于领导者之上。如清华大学4号团队（如图10所示），中介者欧阳明高是中国科学院院士，两位领导者杨福源和徐梁飞都是清华大学汽车工程系车用动力方向的高级研究人员，其

中徐梁飞是欧阳明高的博士，并且7位技术骨干中有5位是欧阳明高的博士，由此可见该团队是一支以中介者欧阳明高为核心而组织起来的团队。

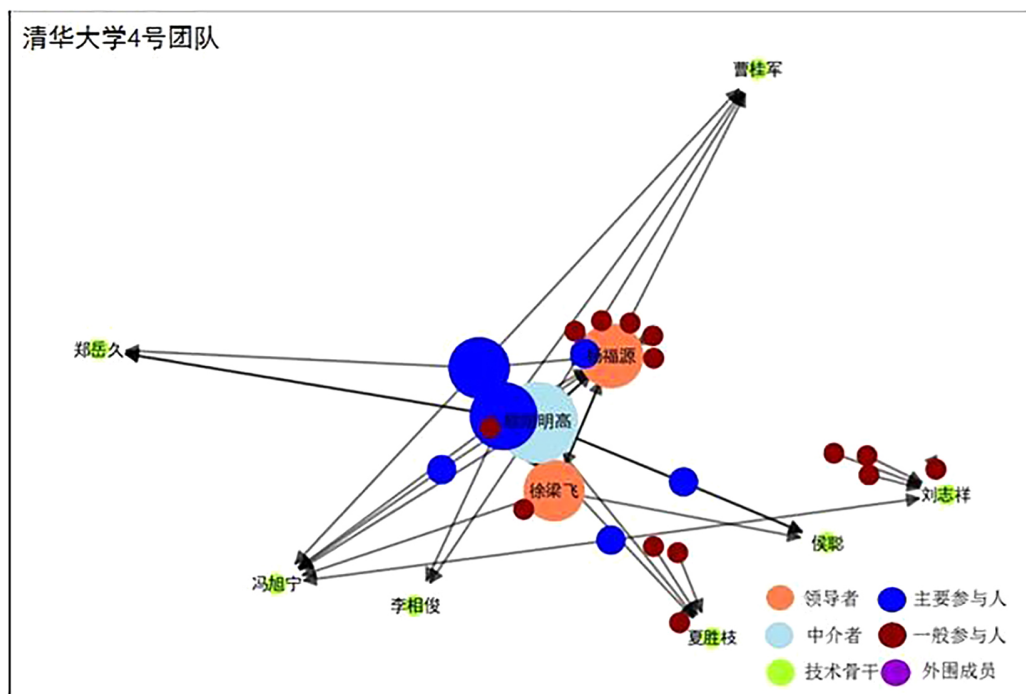


图2 清华大学4号团队合作网络图

在结构复杂性为1的团队中，有些团队所有成员都是外围成员，团队成员之间没有相互支持的行为发生。其形成的原因主要是由于这些外围成员共同支持少数中心人物，彼此之间没有相互支持，但是中心人物并没有和他们分在一个团队。在结构复杂性2的团队中，有些团队只进行过一次合作，成员之间的合作状态及合作模式都是暂时，它们未来可能会向结构复杂性升高或降低的方向发展，也可能因为成员之间的合作终止而消失。我们将这两类特殊的团队分别称为边缘型团队和临时型团队，并对其进行单独探讨。

基于成员角色构成对团队结构复杂性进

行判别，共得到复杂性程度为1的团队111支（5.04%），其中边缘型团队100支（4.54%）；复杂性程度为2的团队1994支（90.6%），其中临时型团队1319支（59.93%）；复杂性程度为3的团队67支（3.04%）；复杂性程度为4的团队29支（1.32%）。由此可知，包含一类核心成员的二级结构是构成国内电动汽车领域科研团队的最主要结构类型，而其中大多数团队是仅合作过一次的临时型团队，该类团队占到总数的一半以上。

各种类型团队的基本指标如表4所示。随着结构复杂性增长，团队中成员数量、专利产出、

团队年龄和包含的角色类型数依次增长,而网络密度依次降低。由此可知,随着科研团队从创立向组织化方向发展,团队的组织复杂性程度提高,层级越来越多,同时呈现出规模增大、

产量提高、成员分工细化,成员之间交流减少的总体趋势。边缘型和临时型团队作为两种特殊类型的团队,其成员数量、专利产出、平均角色类型低于总体平均值。

表 4 不同结构复杂性团队的基本指标

结构复杂性	平均成员数	平均专利产出	平均年龄	平均角色类型	无向网络密度	有向网络密度
1 (非边缘)	3.09	2.36	6.73	1.55	0.90	0.53
2 (非临时)	5.25	3.42	6.84	2.38	0.81	0.28
3	14.09	11.84	9.48	3.99	0.55	0.14
4	19.21	18.28	10.97	5.17	0.41	0.10
1 (边缘型)	3.88	1.66	7.27	1	0.96	0
2 (临时型)	3.88	1	5.99	2	1	0.32
总体	4.81	2.34	6.48	2.17	0.95	0.29

3.3 科研团队演化的动力

团队成员之间的相互竞争与合作,会使团队内部产生一种统一的“力量”,推动团队结构发生质变。这种统一的“力量”即为序参量。序参量并不是系统中某个占支配地位的子系统,而是通过大量子系统的集体运动而产生,序参量形成后反过来对子系统起支配作用。许多系统在以上过程中,形成的序参量不止一个,这些序参量之间的协同带来系统的演化。曾卫明^[19]认为影响科研团队自组织演化中熵变的因素可归为三类:(1)科技创新能力,主要保证团队开放性。(2)组织管理能力,使团队不断地远离平衡状态。(3)市场能力,影响团队的非线性和随机涨落。在团队发展的不同阶段,各序参量的重要程度及协同方式也会有发生变化。当团队处于初级阶段(即复杂性为0或为1)时,科技创新能力的提高至关重要。

这时团队尚未形成明确的科研目标,也没有稳定的资金来源,只有不断积累知识和经验,培养团队的优势和特色,在业内树立口碑,才能吸引更多资源注入。当团队处于中级阶段(即复杂性为2)时,组织管理能力的优化更为关键。经过初级阶段的适应和磨合,这一阶段的团队一般已经获得一定规模的项目资助,只有合理安排和协调组织项目过程,激发成员积极性,使合作价值最大化,才能高效、保质完成项目任务。当团队处于高级阶段(即复杂性为3)时,成员之间的合作相对稳定,管理制度和文化氛围已经形成,但成员期待从团队中获得成长和新的机遇,团队面临转型,这时市场能力成为首要的序参量,市场能力决定团队的项目机会。

基于协同学思想与自组织理论,当团队成员以科研项目目标为导向、在竞争与合作中形

成能够充分发挥潜能的分工、并与外部环境协调一致时,动机、需求、能力和耐力才能结合产生一种特殊的协同力推动整个团队发展。

4 结论与展望

科研团队的自组织演化过程从微观角度表现为成员分工的精细化,从宏观角度表现为复杂性的增长,本文提出一种基于成员角色的团队结构复杂性分析方法:首先通过成员所处网络位置判别成员角色,其次通过团队内角色构成判别其结构复杂性程度。并进一步提出了基于科研合作网络的定量测度方法,将科研团队成员划分为领导者、中介者、技术骨干、主要参与人、一般参与人和外围成员6种角色,将科研团队的结构复杂性划分为4个等级。最后,针对电动汽车领域专利发明人合作网络开展实证研究,对不同结构复杂性的科研团队特征进行了分析,并针对边缘型和临时型两类特殊团队进行了单独讨论。结果显示:复杂性程度越高的科研团队,呈现出规模更大、产量更高、存续时间更长、分工更细和内部交流更少等特征,这些特征与科研团队自组织演化的理论推演吻合,说明基于成员角色的结构复杂性分析方法对于识别科研团队结构具有良好效果。

本研究对于团队自组织过程的考察仍属于静态视角,下一步将基于社会网络的动态演化识别方法跟踪每一支科研团队的演变过程。用于实证研究的专利数据存在一定局限性,下一步将考虑采用国际专利数据库,并选取两到三个领域进行对比研究。

参考文献

- [1] 刘则渊. 略谈人才群体结构[J]. 医学与哲学, 1982(3):38-39
- [2] Katzenbach J R, Smith D K. The wisdom of teams: creating the high-performance organization[J]. Academy of Management Executive, 1993, 7(3):100-102.
- [3] Swezey R W, Salas E E. Teams: Their Training and Performance[M]. New Jersey: Ablex, 1992:3-29.
- [4] 陈春花, 杨映珊. 科研组织管理的新模式——团队运作[J]. 科学管理研究, 2002, 20(1):28-30.
- [5] Composition of scientific teams and publication productivity at a national science lab[J]. Journal of the Association for Information Science & Technology, 2014, 62(2):270-283.
- [6] Bai X, Hou J, Du H, et al. Evaluating the Impact of Articles with Geographical Distances between Institutions[C]. International Conference on World Wide Web Companion. International World Wide Web Conferences Steering Committee, 2017.
- [7] 徐婧, 方曙, 陈云伟. 科研机构人才群体结构特征分析方法及实证[C]. 2019年全国情报学博士生学术论坛(NDSIS), 北京大学, 2019.
- [8] 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.
- [9] 吴彤. 自组织方法论论纲[J]. 系统辩证学学报, 2001, 9(2):4-10.
- [10] 周跃进, 郝已玥, 张连敏, 等. 自组织团队特征分析[J]. 管理学报, 2010, 7(8):1159-1170.
- [11] 林渊博, 杜纲, 吕佳. 结构复杂性度量 and 复杂结构组织[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2009, 11(3):20-23.
- [12] Zhang Q, Li M, Deng Y. A betweenness structure entropy of complex networks[J]. Arxiv Eprint Arxiv: 1407.0097, 2014.

- [13] Zhang Q, Li M, Deng Y. A new structure entropy of complex networks based on non-extensive statistical mechanics[J]. International Journal of Modern Physics C, 2016, 27(10): 1650118.
- [14] 罗鹏, 李永立, 吴冲. 利用网络结构熵研究复杂网络的演化规律 [J]. 复杂系统与复杂性科学, 2013, 10(4):62-68
- [15] 张树森, 梁循, 齐金山. 社会网络角色识别方法综述 [J]. 计算机学报, 2017, 40(3):649-673.
- [16] Burt R S. Position in networks[J]. Social focus, 1976, 55(1):93-122.
- [17] Wasserman S, Faust K. Social network analysis: methods and applications[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- [18] Blondel J D, Guillaume J L, Lambiotte R, et al. Fast unfolding of communities in large networks [J]. Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, 2008(10):155-168.
- [19] 曾卫明. 高校科技创新团队自组织演化研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2008.