

新颖组合与团队协作的双重奏 ——基于超图模型的科学基金青年资助项目的创新影响作用分析

李欣哲^{1,2}, 鲁晓^{1,2}

(1. 中国科学院科技战略咨询研究院, 北京 100190

2. 中国科学院大学公共政策与管理学院, 北京 100149)

摘要:本研究运用超图模型分析中国国家自然科学基金委员会(NSFC)管理科学学部青年资助项目的影响作用维度。通过构建内容超图和团队背景超图,计算了研究内容新颖性、团队背景多样性两项关键指标,并探讨了关键指标与科研影响力和颠覆性创新之间的作用关系。研究发现,被引次数与研究内容新颖性呈现显著的正相关关系,而颠覆性指数与内容新颖性整体近似负相关。团队背景多样性与被引次数和颠覆性均呈现非线性关系,反映出适度的成员知识多样性和相似性组合在产出高影响力和颠覆性成果方面的潜力。此外,研究发现,获得青年科学基金项目A类、B类资助的青年科研人员,已形成一定影响力,其研究内容新颖性、团队背景多样性和成果影响力通常更高,而学术生涯刚起步的青年科研人员,受到青年科学基金项目C类的资助,其成果颠覆性更高。这表明处于不同职业阶段的青年科研人员,在推动领域发展中发挥着互补作用。这些发现为优化科研资助策略、促进创新和平衡不同类型研究的发展提供了重要依据,同时也为理解我国科学基金青年人才资助体系的特点和挑战提供了新的视角。

关键词:研究新颖性;团队多样性;科研影响力;颠覆性创新;科研资助政策

中图分类号:G353.1,G316

文献标识码:A

在当今快速发展的科技环境中,创新已成为推动经济增长和社会进步的关键驱动力。然而,尽管科研投入不断增加,真正突破性的科学发现和技术创新似乎越来越难以实现^[1-3]。这一现象引发了学术界对科研活动本质及其影响因素的深入思考。其中,知识组合和团队构成被认为是影响科研成果创新性的两个关键因素^[4,5],因为它们能促进跨学科创新、提供多元视角,增加突破性发现的可能性。

传统上,科研成果主要通过论文数量和引用次数等指标来评估。然而,这些指标可能无法全面反映科研工作的创新性和长期影响。近年来,学者们开始关注科研成果的“颠覆性”(disruptiveness),试图从新的角度评估科研成果对学科发展的贡献^[3,6]。在中国,国家自然科学基金委员会(NSFC)通过多层次的人才资助体系支持不同发展阶段的科研人员,这部分资助及成果数据为考察科研人员在不同职业阶段的创新行为提供了一定基础。

本研究聚焦NSFC管理科学学部资助的青年项目及其团队,运用Shi和Evans提出的超图模型^[7],分别构建了反映研究内容和团队背景的超图网络。这种方法能够考虑多个因素之间的复杂相互作用,为理解科研成果的产生过程提供新的视角。通过分析这两个维度对科研成果影响力和颠覆性的影响,本文试图揭示知识创新的内在机制。

本文重点关注以下研究问题:首先,研究内容新颖性和团队背景多样性如何影响科研成果质量和颠覆性创新程度?其次,这种影响在不同层次的科研人员之间是否存在差异?最后,现有的资助和评价体系是否充分激励了真正具有颠覆性的研究?

经过实证分析显示,研究内容新颖性和团队背景多样性对科研成果的影响存在明显差异。有趣的是,这两个维度对传统的影响力指标(如被引次数)和新兴的颠覆性指标的影响并不是一致的。具体而言,研究内容新颖性与被引次数呈现显著的正相关

关系,但与颠覆性指数整体近似负相关。团队背景多样性则与被引次数和颠覆性均呈现非线性关系。这一发现不仅凸显了评价科研成果时需要采用多维度指标的重要性,也预示了科研人员在追求成果影响力和创新性之间可能面临的权衡。

更值得注意的是,研究观察到不同层次科研人员的创新模式存在显著差异。随着职业发展,青年科研人员的研究内容新颖性和团队背景多样性总体上呈现上升趋势,但波动性也随之增加。这表明已形成一定影响力的青年科研人员倾向于尝试更具挑战性的研究主题,并建立更多样化的团队,但同时也面临更大的不确定性。同时,青年科研人员(青年科学基金项目C类获得者)的成果往往表现出更高的颠覆性,而已经形成一定影响力的青年科研人员(青年科学基金项目A类、B类获得者)的成果则倾向于获得更多引用。这一现象与科学史上的诸多案例相呼应,许多著名科学家的突破性发现都是在其职业生涯早期做出^[8,9]。青年学者可能更倾向于挑战现有研究范式,而有影响力的学者倾向于深化和发展现有范式,两者共同推动了研究领域的进步。

本研究的发现不仅能够增进对知识创新动态过程的理解,也为优化科研资助和评价机制提供了新的思路。以下章节中将详细阐述研究方法、主要发现及其启示,并就如何平衡研究内容的新颖性、团队构成的多样性以及促进科研成果的影响力和创新性等问题展开讨论,提出建议。

1 文献综述

1.1 研究内容新颖性对知识成果的影响

科学研究的本质是不断探索未知领域,推动人类的知识边界拓展。研究内容的知识整合直接影响着科研成果的价值和影响力。近年来,学者们越来越关注研究内容新颖性对科研成果质量和创新性的影响。

Wang 等人的研究表明^[10],高度新颖的研究内容往往更加难以得到发表和被引。这些研究在短期内可能难以获得认可,但长期来看却更有可能产生重大突破。这一发现揭示了科研评价体系中可能存在的偏见,即对创新性研究的低估。董克等人通过分析论文的语义新颖性与引文影响力之间的关系发现,科研论文越新颖其被引次数越少^[11]。Foster 等人从科研测量的角度探讨了传统与创新之间的关

系^[4]。他们发现,成功的科学家往往在探索已知领域和开拓新方向之间保持平衡。这种平衡策略不仅能保证稳定的科研产出,还能增加产生突破性成果的机会。然而,Azoulay 等人的研究指出^[12],现有的科研资助机制可能不利于高风险、高回报的创新性研究。他们发现,相比传统的项目资助,支持个人长期研究的资助模式更容易产生颠覆性成果,这一发现对科研资助政策的制定具有重要启示。

1.2 团队背景多样性对知识成果的影响

随着科学研究日益复杂化,团队合作已成为科研活动的主要模式。团队成员的背景多样性也对科研成果产生了深刻影响,成为学者们关注的重要问题。

Wuchty 等人的研究表明,团队产出的论文比个人作者的论文更有可能获得高引用。这一发现强调了团队合作在现代科研中的重要性^[13]。然而,仅仅关注团队规模是不够的,团队成员的背景多样性可能更为关键。Jones 等人发现^[14],跨机构合作的论文比单一机构的论文更有影响力。这一结果暗示了团队背景多样性可能带来的优势。然而,他们的研究主要关注机构层面的多样性,而未深入探讨团队成员学术背景的作用。柳美君等人分析了团队成员的国别差异对于团队产出成果影响力的影响,结果发现团队成员差异越大,其成果影响力越低^[15],这表明了成员背景多样性对于成果影响力的负向作用。Wu 等人的研究进一步揭示了团队规模与科研成果创新性之间的关系^[5]。他们发现,小型团队更有可能产生颠覆性成果,而大型团队则倾向于发展既有知识。AlShebli 等人的研究直接探讨了团队多样性与科研影响力的关系^[16]。他们发现,团队的民族多样性与论文引用次数呈正相关。这一发现为理解团队背景多样性的作用提供了重要线索,但仅局限于民族这一维度。

尽管这些研究为理解研究内容新颖性和团队背景多样性的作用提供了重要见解,但它们大多集中在特定领域或仅考虑传统的影响力指标。本研究通过聚焦中国 NSFC 管理科学学部的资助成果,不仅扩展了研究范围,还提供了非西方科研环境下的重要证据。通过构建内容超图和团队背景超图,本文全面捕捉了研究内容新颖性和团队成员学术背景多样性,并同时考察其对科研成果影响力和颠覆性的影响,填补了现有研究的空白。

2 研究设计

2.1 数据来源

本研究选择 Web of Science (WoS)作为主要数据源。作为全球最具影响力的科学文献索引数据库之一,WoS 收录了广泛学科领域的高质量学术期刊,能够提供全面而可靠的科研产出信息。选择 WoS 作为数据源不仅确保了数据的权威性和代表性,还提供了 Web of Science 类别来构建超图网络模型。

为了精确识别和提取与国家自然科学基金委员会(NSFC)人才项目相关的论文,本文利用了 NSFC 提供的项目编号体系。NSFC 为每个学部的不同层次人才项目分配了独特的 8 位数字编号。这个编号系统能够有效地编码项目的关键信息:第 1 位数字(1-7)表示资助项目所属的学部;第 2 位和第 3 位数字(08-18)表示项目的资助年份;第 4 位和第 5 位数字则用于区分不同层次的人才项目,其中 00 表示青年科学基金项目 C 类,22 表示青年科学基金项

目 B 类,25 表示青年科学基金项目 A 类。

采用基金编号系统,本研究在 WoS 数据库中检索了 2008-2018 年间获得 NSFC 青年科学基金项目 A 类、C 类资助,以及 2012-2018 年间获得青年科学基金项目 B 类资助的科研人员在 2008-2023 年间发表的所有论文。考虑到这些项目的平均资助期限通常为 3 至 5 年,本文收集了每位受资助从获得资助当年起,连续 6 年内(包括资助当年)依托该项目发表的所有论文。这种方法不仅涵盖了整个资助期,还考虑到了可能的滞后效应,从而更全面地捕捉了科研人员在受资助期间的学术产出。

图 1 展示了 2008-2018 年间 NSFC 管理科学学部不同层次的青年人才项目资助的科研人员(青年科学基金项目 C 类获得者 2812 名,青年科学基金项目 B 类获得者 44 名,青年科学基金项目 A 类获得者 55 名)发表的 8100 篇英文论文数量分布。整体上,各类项目发表的英文论文数量呈现上升趋势,反映了中国科研人才培养策略在促进国际学术交流和提高科研产出方面的成效。

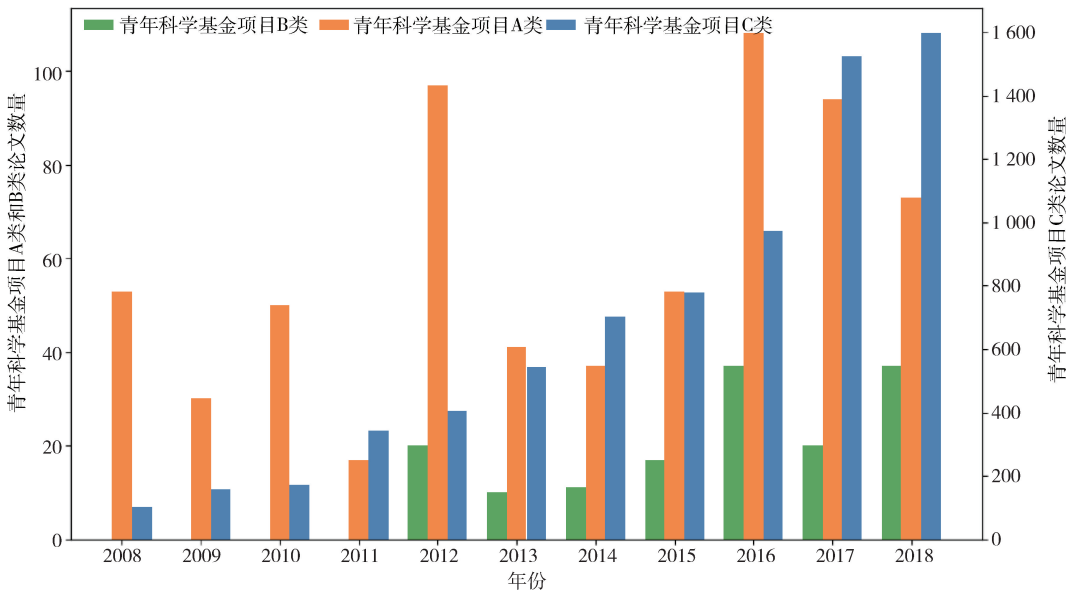


图 1 青年科学基金项目 A 类、B 类、C 类论文数量对比

Figure 1 Comparison of paper quantities in Young Scientists Fund A-class, B-class, and C-class

2.2 指标介绍

(1)新颖性、多样性指标与超图构建

本研究采用基于超图的方法来衡量研究内容新颖性和团队背景多样性^[7]。如图 2 所示,本研究将所有知识嵌入 θ 刻画在流形上,并评估了论文(超边

h_{1-3}) 在新颖组件组合方面的表现。图 2a 中的波浪形曲面代表了知识空间,其中的点(i_1, i_2 等)表示不同的 WoS 类别,每个超边(h_1, h_2, h_3)代表一篇论文,连接了该论文涉及的多个 WoS 类别。模型假设超边 h 形成的倾向性 λ_h 为:
$$\lambda_h = \sum_d \prod_{i \in h} \theta_{id} \times$$

$\prod_{i \in h} r_i$, 其中, θ_{id} 表示 WoS 节点 i 属于维度 d 的概率, r_i 表示节点 i 的显著性。文章 h_1 和 h_3 代表了在 θ 中将科学或技术组件组合在相近位置的项目, 使得每个组合的概率高而新颖性低 ($\approx \epsilon$)——类似于过去的许多典型论文。相比之下, 论文 h_2 绘制了一个与过去任何论文都不同的新颖组件组合, 使其

具有低概率和高新颖性 ($\gg \epsilon$)。图下方的公式 $Novelty(h) = -\log \sum_d \prod_{i \in h} \theta_{id}$ 表示了计算新颖性的方法, 其中考虑了每个类别组合的概率。概率较低的组合 (如 h_2) 被认为具有较高的新颖性, 而概率较高的组合 (如 h_1 和 h_3) 则被视为较为常见或传统的研究^①。

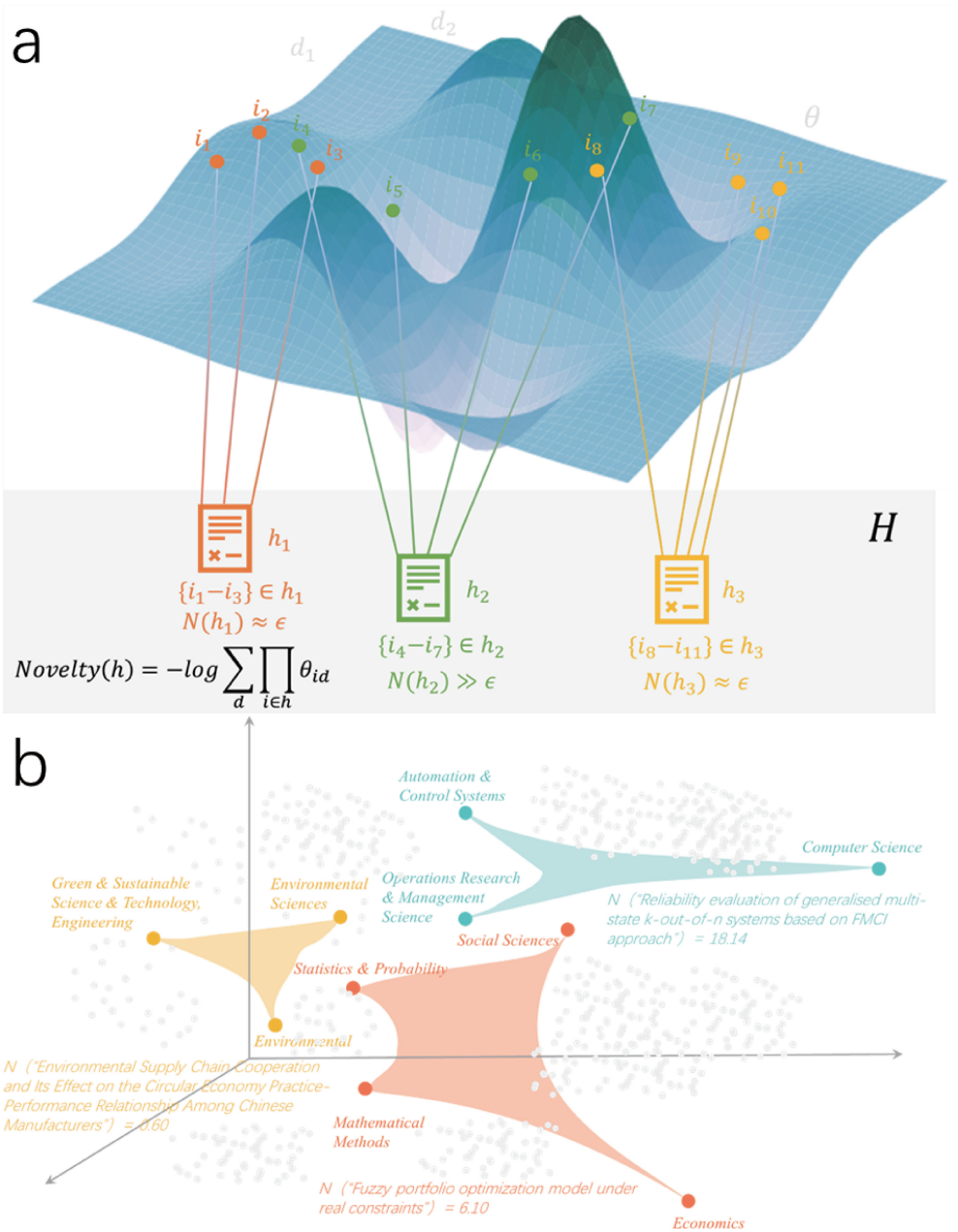


图 2 嵌入空间与示例组合
Figure 2 Embedding space and example combinations

① 超图网络构建和参数训练详细步骤可参考: <https://github.com/KnowledgeLab/hyper-novelty>。

图2b则展示了来自样本文章的WoS(Web of Science)类别嵌入的模拟三维投影。图中包括论文样本中,最具新颖性的文章(右侧的组合),最不具有新颖性的文章(左侧的组合),以及介于两者之间的普遍文章(中间的组合)。通过这种方式,可以量化和可视化不同研究领域之间的创新组合,从而识别出具有高度创新性和跨学科特征的研究工作。

如图3所示,研究框架详细介绍了构建内容超图和团队背景超图的流程。内容超图基于论文的WoS分类构建,反映了基于知识组合的研究内容新颖性。团队背景超图则基于团队成员历史发表论文(共计203,191篇论文)中的WoS分类的并集构建,反映了基于成员知识多样性的团队背景多样性。最终,本文将内容新颖性和团队多样性进行标准化处理,使其分布区间处于0-1之间,高知识新颖性通常表明论文连接了知识空间中距离较远的组件,团队多样性高则表明成员之间知识背景差异较大。

(2) 被引数

本研究使用论文发表后的累计被引次数作为传统的影响力指标。这种方法与Shi和Evans做法保持一致^[7],保留了被引数据的原始特征,有利于观察和分析实际的引用模式。尽管论文被引数可能因发表时间产生差异,但本文为大部分的论文预留了足够长的观察时间,这可以保证论文能够有效积累引用数据。

(3) 颠覆性指数

本文采用的颠覆性指数的计算方法如下,主要统计论文发表后5年内的引文信息(共计5,634,044篇论文),从而计算每篇论文的CD_s index^[3, 6]:

$$D_i = \frac{n_i - n_j}{n_i + n_j + n_k}$$

其中, n_i 表示只引用核心论文 i (即受资助论文)而不引用其参考文献的出版物数量。 n_j 表示同时引用核心论文 i 及其参考文献的出版物数量,而 n_k 表示只引用核心论文 i 的参考文献的论文数量。每篇论文可能通过引入新概念来颠覆以往的科学认识,也可能通过提供支持性证据来进一步发展现有研究。当 $D_i > 0$ 时,说明论文挑战了现有知识体系,而 $D_i < 0$ 时,说明论文发展了已有的观点。中性论文的特征是 $D_i = 0$ 。

2.3 研究方法

研究方法遵循图3所示的研究框架,主要包括以下步骤:

(1)数据收集与处理:从WoS数据库中提取NSFC管理科学学部资助的论文信息。通过使用NSFC的项目编号体系,能够识别2008-2018年间获得三类项目资助的科研人员在2008-2023年间发表的所有论文。进一步,本文获取了这些论文的引文网络和作者历史发文情况。

(2)超图构建:基于收集的数据分别构建内容超图和团队背景超图。内容超图反映研究内容新颖性,团队背景超图反映团队背景多样性。

(3)指标计算:基于超图模型计算研究内容新颖性和团队背景多样性指标。同时,还计算了论文被引数作为传统影响力指标,以及颠覆性指数作为创新性指标。

(4)新颖性、多样性与成果影响力和创新性关系分析:探讨研究内容新颖性和团队背景多样性如何影响论文的被引数和颠覆性指数。

(5)不同层次青年资助项目比较:比较分析受青年科学基金项目A类、B类、C类资助的科研人员在各指标上的表现差异。这一比较有助于理解不同层次科研人员的创新特征。

通过这个研究框架,能够全面地分析研究内容新颖性和团队背景多样性对科研成果质量和创新性的影响,为理解基于科学基金的我国青年人才资助体系的特点和挑战提供实证依据。

3 研究发现

3.1 研究内容和团队背景多样性的分布特征

图4展示了研究内容新颖性和团队背景多样性的分布特征。研究内容新颖性(图4a)呈现出一个独特的分布:大部分研究集中在低新颖性区域(0-0.2),但值得注意的是在高新颖性区域(接近1)也存在一个显著的峰值。这种分布反映了虽然大多数研究倾向于在现有框架内进行,但仍有相当一部分研究展现出高度的新颖性,体现了学者们在追求创新知识组合方面的努力。团队背景多样性(图4b)则呈现出一个右偏的分布:峰值出现在较低新颖性区域(约0.1-0.2),随后迅速下降,尾部较长但数值很低。这表明大多数研究团队的背景多样性较低,只有少数团队展现出较高的背景多样性。

这种分布模式揭示了管理科学研究中创新和多样性的不同特征:虽然在研究内容上存在一定程度的创新尝试,但在团队构成方面,大多数研究仍倾向

于由背景相似的成员组成。这反映了专业化与多样化之间的平衡,以及在组建研究团队时面临的实际

挑战。

自然科学基金委青年科学基金资助项目编号

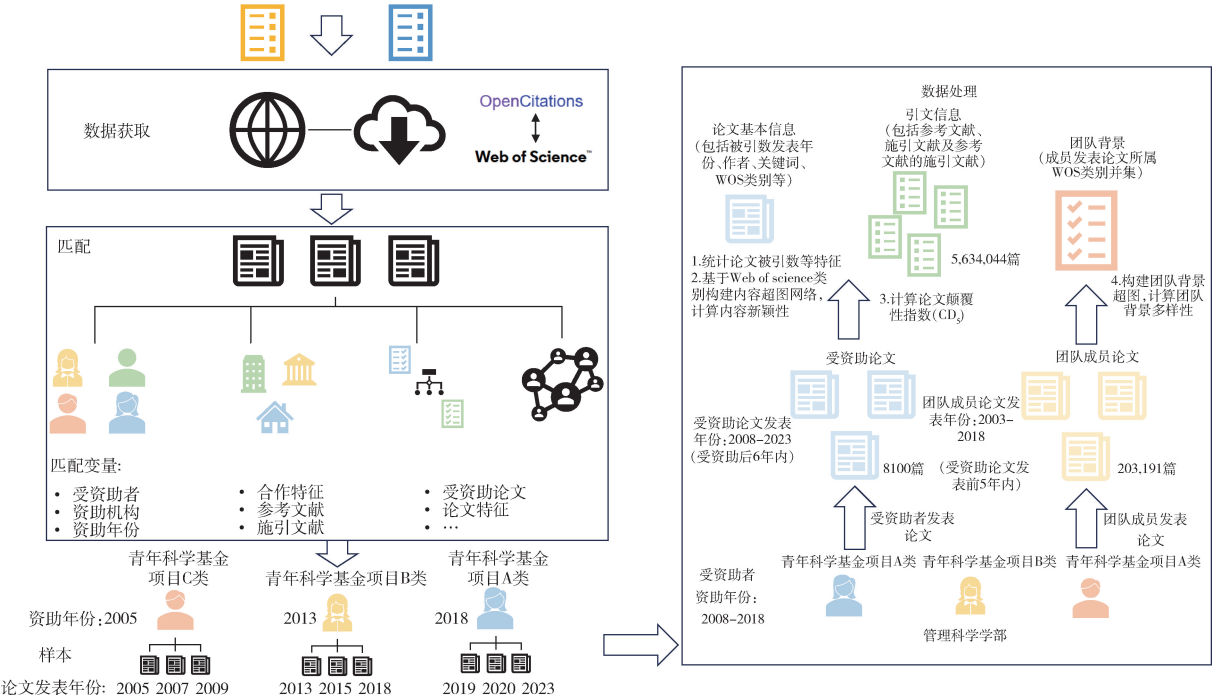


图 3 研究框架

Figure 3 Research framework

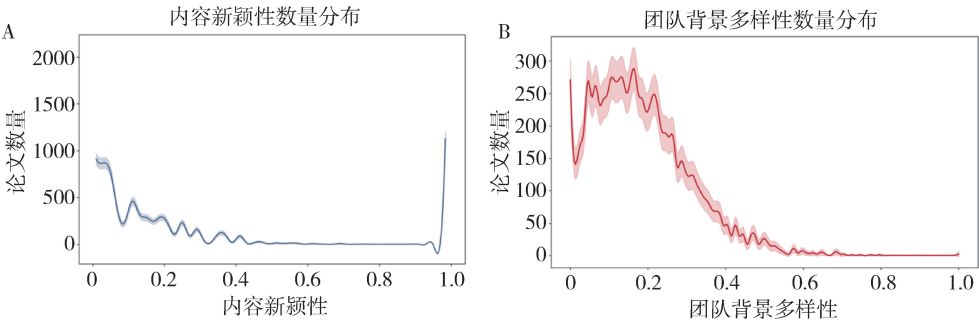


图 4 新颖性、多样性特征分布

Figure 4 Distribution of novelty and diversity features

这种分布模式与科学创新的一般模式相一致。例如,Foster 等人在分析科学家的研究策略时也发现^[4],大多数科学家倾向于在已建立的领域内进行渐进式创新,但仍有少数科学家会冒险探索全新的研究方向。研究结果表明,我国管理科学研究也遵循这种模式。同时,虽然目前高度多样化的团队仍属少数,这种分布反映了中国管理科学研究正处于从传统同质化团队向更多元化团队转变的初期阶段^[17]。

这些发现为理解我国管理科学领域的创新动态提供了重要线索。它们不仅揭示了当前的研究格局,还暗示了未来可能的发展方向。例如,高度新颖的研究内容虽然罕见,但可能代表了潜在的重要性工作。同时,团队背景多样性的广泛分布可能预示着更多跨学科合作的机会。

3.2 关键指标与科研影响力、研究颠覆性的关系

本研究将论文划分为引文十分位和颠覆性十分位,并标准化新颖性和多样性分数,将其划分为百分

位,探讨了研究内容新颖性和团队背景多样性与科研影响力(以被引次数衡量)、研究创新(以颠覆性指数衡量)之间的关系。这一分析旨在揭示创新性研究在学术界获得认可的模式。

(1)与科研影响力的关系

图 5a 和 5c 展示了被引次数十分位与研究内容新颖性和团队背景多样性百分位之间的关系。

研究内容新颖性(图 5a)与被引次数的关系呈现出明显的正相关趋势。在被引次数较低的区域

(0-40 分位),新颖性百分位保持在较低水平且变化不大。然而,从 40 分位开始,新颖性百分位随着被引次数的增加而显著上升,在最高被引次数区域(80-100 分位)达到峰值。这表明,高度新颖的研究内容更有可能获得高引用。这一发现与 Lee 等人的研究相呼应^[18],他们发现在生物医学领域,新颖的研究更可能产生高影响力的成果。本研究进一步表明,这种关系在管理科学领域同样存在,且可能更为显著。

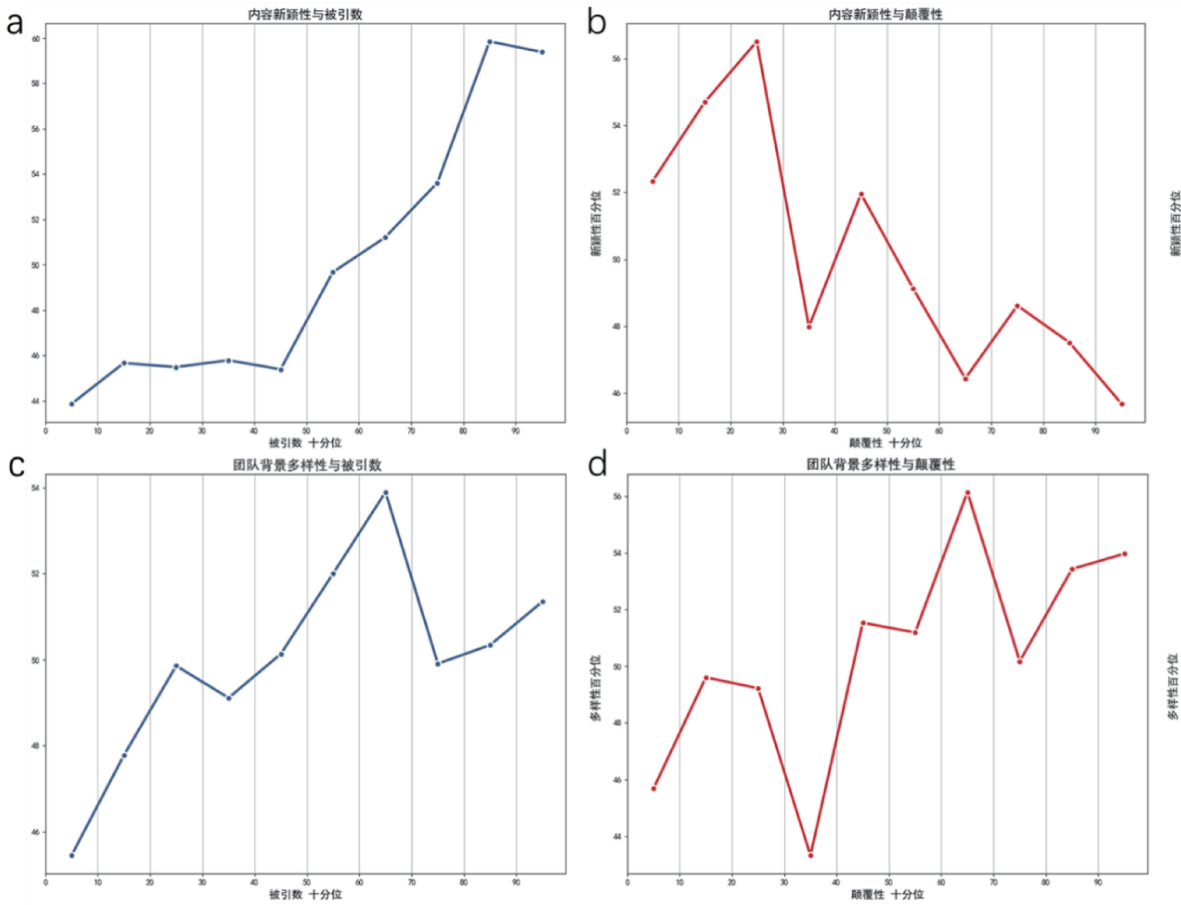


图 5 新颖性、多样性与知识产出特征

Figure 5 Novelty, diversity and knowledge output characteristics

团队背景多样性(图 5c)与被引次数的关系则呈现出更加复杂的非线性特征。在被引次数较低的区域(0-30 分位),多样性百分位随被引次数增加而上升;在中等被引次数区域(30-70 分位)出现波动;在高被引次数区域(70-100 分位)再次显著上升,并在 90 分位处达到峰值。这种模式表明,虽然成员背景高度多样化的团队总体上与高引用相关,但这种关系并非简单的线性关系。这一复杂的关系

可能反映了 Leahey 等人所描述的跨学科研究的双重效应^[19]:虽然多样化的团队可能带来创新的视角,但也可能面临沟通和整合的挑战。

(2)与研究颠覆性的关系

图 5b 和 5d 展示了颠覆性指数十分位与研究内容新颖性和团队背景多样性百分位之间的关系。

研究内容新颖性(图 5b)与颠覆性指数的关系呈现出复杂的非线性关系,但整体上呈现负相关。

在颠覆性较低的区域(0 - 20 分位),新颖性百分位随颠覆性增加而快速上升;在中等颠覆性区域(20 - 40 分位)出现显著下降;而在高颠覆性区域(40 - 100 分位),新颖性百分位总体呈下降趋势,但存在波动。这种复杂的关系表明,高度新颖的研究内容不一定总是产生高度颠覆性的影响。这一发现与 Wu 等人的研究结果相似^[5],他们发现在科技领域,突破性创新往往来自于对现有知识的重组,而不仅仅是引入全新的概念。

团队背景多样性(图 5d)与颠覆性指数的关系也呈现出非线性关系,但总体上呈现正相关。在颠覆性较低的区域(0 - 30 分位),多样性百分位波动较大;在中等到高颠覆性区域(30 - 100 分位),多样性百分位总体上随颠覆性增加而上升,尽管存在一些波动。这表明,多样化的团队背景更有可能产生颠覆性研究,但这种关系并非简单的线性关系。这一发现支持了 Uzzi 等人的观点^[20],即非常规的知识组合更可能导致科学突破,但同时也强调了这种关系的复杂性。

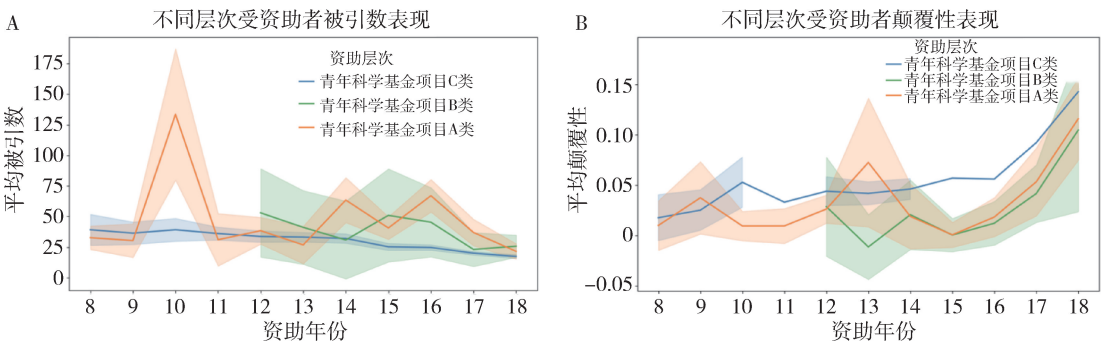


图 6 不同职业阶段受资助者知识产出表现

Figure 6 Performance of knowledge outputs of grantees at different career stages

图 6 展示了不同职业阶段受资助者论文的被引数和颠覆性表现。从图 6a 中可以观察到,随着职业阶段的提高,论文的平均被引数呈现上升趋势。青年科学基金项目 A 类获得者的论文平均被引数最高,其次是青年科学基金项目 B 类获得者,青年科学基金项目 C 类获得者最低。这一发现与 Azoulay 等人的研究结果一致,他们发现更高层次的资助往往与更高的研究影响力相关^[12]。

然而,在颠覆性方面(图 6b)观察到了有趣的反向趋势。青年科学基金项目 C 类获得者的研究成果颠覆性最高,其次是青年科学基金项目 A 类、B 类获得者。这可能反映了刚起步青年科研人员更愿意

总的来说,这些发现揭示了新颖性和多样性与科研影响力和创新性之间的复杂关系。特别是挑战了对于研究内容新颖性的传统理解——研究内容的新颖性似乎有助于提高引用率,但却与研究的颠覆性近似负相关。这一发现说明有必要需要重新考虑新颖知识组合在科研中的作用。相比之下,团队背景的多样性似乎在提高引用率和增加研究颠覆性方面都起到了更加积极的作用,尽管这种关系更为复杂。而这些发现与 Wang 等人关于新颖性研究的“高风险,高回报”特性的观点相呼应^[10],表明科研人员对于研究内容的选择面临着抉择困境。这些结果强调了区分研究内容新颖性和团队背景多样性的重要性,因为它们可能通过不同机制影响研究的影响力和创新性。

3.3 不同职业阶段受资助者的研究表现

在分析了关键指标与科研影响力和研究创新的整体关系后,本研究进一步探讨了不同职业阶段受资助者在这些指标上的表现差异。

(1) 被引数与颠覆性表现

挑战现有研究范式,而已经有一定研究积累的青年科研人员可能更倾向于在已建立的研究方向上深耕。这一发现与 Jones 等人的研究相呼应^[21],他们指出科学家在职业生涯早期可能更有创造力。同时,本文发现不同职业阶段受资助者的颠覆性表现呈现上升趋势,这也凸显出人才资助计划在推动科研人员产出颠覆性成果方面取得了积极效果。

(2) 研究内容新颖性和团队背景多样性分布

图 7 展示了不同资助年份的各类职业阶段受资助者论文的研究内容新颖性和团队背景多样性分布。在研究内容新颖性方面(图 7a),青年科学基金项目 C 类获得者的研究内容新颖性相对稳定,略有

下降趋势。这反映了刚起步青年科研人员倾向于在已建立的研究范式内逐步推进,采取相对保守的创新策略。这种模式可能是由于他们需要在学术生涯初期建立稳固的基础。青年科学基金项目 B 类获得者展现了更高的研究内容新颖性,但波动较大。这表明他们在创新模式上更为灵活,能够在保持稳定研究方向和探索新领域之间切换。这种模式反映

了处于事业中期的科研人员可能更有信心尝试风险较高的研究主题。青年科学基金项目 A 类获得者的研究内容新颖性波动最大,在某些年份甚至超过其他两组。这种模式暗示了青年科研人员中的顶尖研究者的创新策略可能更为多元化和动态。他们可能根据科研前沿的变化和个人兴趣,在不同时期选择保守或激进的创新路径。

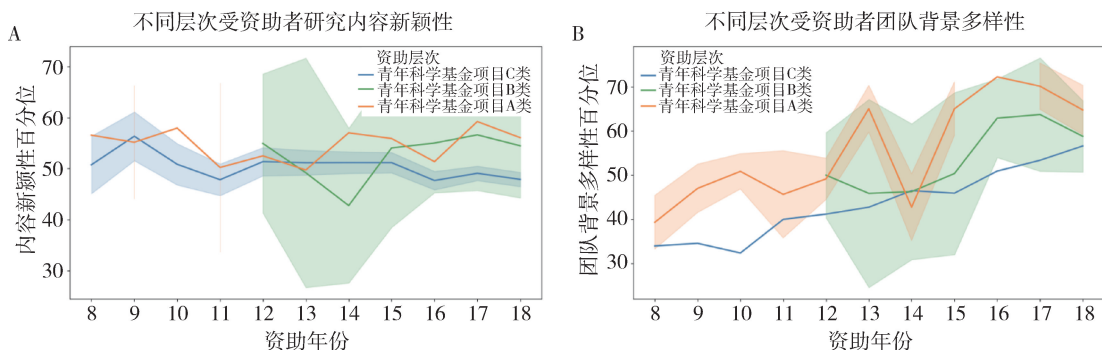


图 7 不同职业阶段资助者研究内容新颖性和团队背景多样性

Figure 7 Novelty of research content and diversity of team context for grantees at different career stages

在团队背景多样性方面(图 7b),存在明显的层级趋势。青年科学基金项目 C 类获得者的团队背景多样性最低,但随时间呈现上升趋势,这反映了刚起步青年科研人员逐渐建立更广泛的合作网络的过程。青年科学基金项目 B 类获得者的团队背景多样性整体上高于青年科学基金项目 C 类获得者,并在后期呈现明显的上升趋势,这表明他们正在积极拓展跨学科合作。青年科学基金项目 A 类获得者的团队背景多样性在大部分时间里都高于其他两组,尽管也存在波动,这反映了他们利用自己的学术地位和资源建立更多样化研究团队的能力。这种层级模式揭示了不同职业阶段研究者在组建多样化团队方面的差异。这与 Bercovitz 和 Feldman 的研究结果一致^[22]。他们发现职业发展后期的科学家更有能力建立和维持跨学科合作。

这些发现揭示了科研人员在职业生涯不同阶段的创新模式和合作策略的变化。在研究内容新颖性方面,随着职业发展,科研人员倾向于尝试更具挑战性和新颖性的研究主题,但同时也面临更大的不确定性。这种趋势可能反映了有影响力的科研人员更愿意冒险探索新领域,同时也有能力整合不同的研究方向。然而,这种高新颖性可能带来引用量的增加,却不一定产生颠覆性的影响,这一点值得进一步探讨。在团队背景多样性方面,随着职业发展,科研

人员普遍倾向于建立更多样化的团队,这可能反映了他们逐渐扩大的学术网络和跨学科合作的增加。

4 结 语

4.1 主要结论与实践启示

本研究以获得自然科学基金青年资助项目的文献数据为样本,运用超图模型深入探讨了研究内容新颖性和团队背景多样性对科研成果影响力和颠覆性的影响,以及这种影响在不同发展阶段的青年科研人员中的表现差异。本文的分析揭示了科研创新过程中的一些关键矛盾和挑战。

首先,研究内容新颖性与科研影响力和颠覆性之间存在复杂的关系。高新颖性内容虽然能吸引更多引用,但并不必然导致高颠覆性。这一发现对于资助政策具有参考意义,整体资助体系应该需要重新思考如何评估和支持真正具有变革潜力的研究。

其次,团队背景多样性对研究成果的影响呈现非线性特征,反映了多样化团队在科研创新中的潜力和挑战。这一结果强调了在组建研究团队时需要平衡专业化与多样化,以及克服跨学科合作中的沟通障碍。正如 Uzzi 等人指出,有影响力的研究成果通常是在常规和非常规知识组合的共同作用下产生的^[20]。

同时,研究发现不同职业阶段的科研人员在创新模式上存在显著差异。职业初期的青年科研人员倾向于产出更具颠覆性的成果,而已经形成一定影响力的青年科研人员则更容易获得高引用。这种差异性反映了青年科研人员在职业生涯不同阶段面临的独特机遇和挑战。

本研究也表明当前人才资助计划在推动科研人员产出颠覆性成果方面取得了积极效果,受资助科研人员的成果颠覆性水平正在稳步增加,但也暗示了现有科研评价体系可能存在的偏差,即专注于论文发表和引用的评价体系潜在限制了突破性成果的产出。

这些发现对科研政策制定具有重要启示。首先,资助体系应该重新思考如何评估和支持具有颠覆性的研究项目,为那些看似“疯狂”但可能改变范式的想法留有空间,探索非共识性项目的遴选和支持机制,而不是仅仅关注论文产出数量和被引数。其次,针对不同职业阶段的研究者,需要制定差异化的支持策略。对于刚起步的青年科研人员,可以提供更多资源和自由度来探索新颖的研究方向;而对于已经崭露头角的青年科研人员,可以鼓励他们利用自己的经验和资源建立多样化的研究团队。最后,在人才培养中加强跨学科训练,培养研究者的多维思考能力和跨学科合作技能,推动多元化科研团队的建设。这些建议旨在创造一个更加包容和多元的科研环境,既鼓励大胆创新,又保持对扎实研究的重视。通过优化科研资助和评价机制,可以更好地平衡短期影响和长期潜力,为我国科研事业的可持续发展和国际竞争力的提升奠定基础。

4.2 研究局限及未来研究方向

尽管本研究提供了许多有价值的见解,但仍存在一些局限。本文的分析主要基于量化指标,可能无法完全捕捉科研创新的质性特征。此外,研究范围限于 NSFC 管理科学学部,可能无法完全代表其他学科领域的情况。研究的时间跨度也可能不足以完全反映长期的科研影响,特别是对于颠覆性研究而言。

未来的研究可以考虑结合定性方法,如案例研究或深度访谈,深入探讨新颖性背后的具体机制和研究者的决策过程。扩展研究范围至其他学科领域,进行跨学科比较研究也将有助于更全面地理解科研创新的模式。开展更长期的纵向研究,追踪科研成果的长期影响和颠覆性潜力的实现过程,可以

提供更丰富的洞察。此外,探索不同国家和地区的科研资助体系,比较制度环境对研究创新的影响,也是一个值得关注的方向。

参考文献:

- [1] Bloom N, Jones C I, Van Reenen J, et al. Are ideas getting harder to find? [J]. *American Economic Review*, 2020, 110(4): 1104 – 1144.
- [2] Chu J S, Evans J A. Slowed canonical progress in large fields of science [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2021, 118(41): e2021636118.
- [3] Park M, Leahey E, Funk R J. Papers and patents are becoming less disruptive over time [J]. *Nature*, 2023, 613(7942): 138 – 144.
- [4] Foster J G, Rzhetsky A, Evans J A. Tradition and innovation in scientists' research strategies [J]. *American Sociological Review*, 2015, 80(5): 875 – 908.
- [5] Wu L, Wang D, Evans J A. Large teams develop and small teams disrupt science and technology [J]. *Nature*, 2019, 566(7744): 378 – 382.
- [6] Funk R J, Owen – Smith J. A dynamic network measure of technological change [J]. *Management Science*, 2017, 63(3): 791 – 817.
- [7] Shi F, Evans J. Surprising combinations of research contents and contexts are related to impact and emerge with scientific outsiders from distant disciplines [J]. *Nature Communications*, 2023, 14(1): 1641.
- [8] Galenson D W, Weinberg B A. Age and the quality of work: The case of modern American painters [J]. *Journal of Political Economy*, 2000, 108(4): 761 – 777.
- [9] Watson J D, Crick F H. Molecular structure of nucleic acids; A structure for deoxyribose nucleic acid [J]. *Nature*, 1953, 171(4356): 737 – 738.
- [10] Wang J, Veugelers R, Stephan P. Bias against novelty in science: A cautionary tale for users of bibliometric indicators [J]. *Research Policy*, 2017, 46(8): 1416 – 1436.
- [11] 董克,陈晓萍,吴佳纯. 科研论文创新性与引文影响力相关性研究——基于语义视角的测度[J]. *情报理论与实践*, 2023, 46(10): 24 – 31. Dong K, Chen X P, Wu J C. Research on the correlation between creativity and citation impact of scientific research paper: Measurement from semantic perspective [J]. *Information Studies: Theory & Application*, 2023, 46(10): 24 – 31.
- [12] Azoulay P, Graff Zivin J S, Manso G. Incentives and creativity: Evidence from the academic life sciences

- [J]. The RAND Journal of Economics, 2011, 42(3): 527 – 554.
- [13] Wuchty S, Jones B F, Uzzi B. The increasing dominance of teams in production of knowledge [J]. Science, 2007, 316(5827): 1036 – 1039.
- [14] Jones B F, Wuchty S, Uzzi B. Multi – university research teams: Shifting impact, geography, and stratification in science [J]. Science, 2008, 322 (5905): 1259 – 1262.
- [15] 柳美君,步一,杨斯杰. 科研团队成员国别差异性的测度、演变及其与团队产出影响力的关系[J]. 情报学报, 2024, 43(7): 818 – 838. Liu M J, Bu Y, Yang S J. The measurement, evolution, and relationship between country disparity and team impact [J]. Journal of the China Society for Scientific and Technical Information, 2024, 43(7): 818 – 838.
- [16] AlShebli B K, Rahwan T, Woon W L. The preeminence of ethnic diversity in scientific collaboration [J]. Nature Communications, 2018, 9(1): 5163.
- [17] Wagner C S, Roessner J D, Bobb K, et al. Approaches to understanding and measuring interdisciplinary scientific research (IDR): A review of the literature [J]. Journal of Informetrics, 2011, 5(1): 14 – 26.
- [18] Lee Y – N, Walsh J P, Wang J. Creativity in scientific teams: Unpacking novelty and impact [J]. Research Policy, 2015, 44(3): 684 – 697.
- [19] Leahey E, Beckman C M, Stanko T L. Prominent but less productive: The impact of interdisciplinarity on scientists' research [J]. Administrative Science Quarterly, 2017, 62(1): 105 – 139.
- [20] Uzzi B, Mukherjee S, Stringer M, et al. Atypical combinations and scientific impact [J]. Science, 2013, 342(6157): 468 – 472.
- [21] Jones B F, Reedy E, Weinberg B A. Age and scientific genius [J]. The Wiley Handbook of Genius, 2014: 422 – 450.
- [22] Bercovitz J, Feldman M. The mechanisms of collaboration in inventive teams: Composition, social networks, and geography [J]. Research Policy, 2011, 40(1): 81 – 93.

The dual play of novel combinations and teamwork – analysis of innovation impact in youth science foundation projects based on hypergraph modeling

LI Xin – zhe^{1,2}, LU Xiao^{1,2}

(1. Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2. School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100149, China)

Abstract: This study employs hypergraph modeling to examine how research content novelty and team background diversity influence scientific impact and research disruptiveness in projects funded by the Management Science Department of China's National Natural Science Foundation (NSFC). We focus specifically on youth funding projects to understand how these key dimensions of scientific research affect knowledge production and paradigm shifts in different career stages. Through constructing two distinct types of hypergraphs – content hypergraphs reflecting research content novelty and team context hypergraphs capturing team background diversity – we analyze 8,100 English publications by NSFC – funded researchers from 2008 to 2023, including 2,812 Young Scientists, 44 Outstanding Young Scientists, and 55 Distinguished Young Scientists. The content hypergraphs are built based on the Web of Science categories of each paper, while team context hypergraphs are constructed using the historical publication records (203,191 papers in total) of team members, allowing us to comprehensively capture both the novelty of knowledge combinations and the diversity of team academic backgrounds. Our analysis reveals complex relationships between these dimensions and research outcomes. Research content novelty shows a significant positive correlation with citation counts but, surprisingly, demonstrates a generally negative relationship with disruptiveness indices. This finding challenges conventional assumptions about novel research and breakthrough innovations, suggesting that while novel knowledge combinations may attract scholarly attention, they don't necessarily lead to paradigm – shifting discoveries. Team background diversity exhibits non – linear relationships with both citation impact and disruptiveness. The analysis indicates that moderate levels of knowledge diversity among team members may be optimal for producing both high – impact and disruptive research outcomes. This "sweet spot" in team composition suggests that while diversity brings fresh perspectives and innovative approaches, some degree of common knowledge foundation remains essential for effective collaboration and knowledge integration. Examining these relationships across different career stages reveals distinct patterns of innovation. Young Scientists tend to produce more disruptive findings despite

receiving fewer citations, suggesting a greater propensity to challenge existing paradigms. In contrast, Distinguished Young Scientists generate research with higher content novelty and team diversity, resulting in more citations. This pattern demonstrates the complementary roles that researchers at different career stages play in scientific advancement. The distribution analysis of our indicators shows that while most research concentrates in low – novelty regions, there exists a significant peak in high – novelty areas, reflecting researchers’ strategic choices between incremental advances and radical innovation. Team background diversity shows a right – skewed distribution, indicating that while most research teams maintain relatively homogeneous backgrounds, there is a growing trend toward more diverse team compositions, particularly among senior researchers. These findings have important implications for science funding policies and talent development strategies. First, evaluation criteria should be redesigned to better support potentially disruptive research, particularly from early – career scientists, whose innovative contributions might be undervalued by traditional metrics. Second, differentiated support mechanisms should be developed for researchers at various career stages, recognizing their distinct approaches to innovation. Third, funding programs should actively promote interdisciplinary collaboration while maintaining domain expertise. Our results suggest that current evaluation metrics focusing primarily on citation counts might systematically undervalue young researchers’ contributions to scientific disruption. This indicates a need to develop more sophisticated assessment systems that can capture different dimensions of scientific impact. These insights contribute to our understanding of how research novelty and team diversity influence scientific outcomes in China’s research funding system, offering practical guidance for optimizing funding mechanisms to foster both steady knowledge advancement and breakthrough discoveries.

Key words: research novelty; team diversity; research impact; disruptive innovation; research funding policy

(上接第 50 页)

specific process of sequential AI – Human collaboration to exploring the path to improving the synergy of the "AI – human" system in management decision – making.

This article proposes that we can use the scoring results of AI to eliminate some low – quality submitted papers before the editor starts the initial screening work. Then, the editor screens the remaining papers with higher scores. In this process, AI’s filtering effect will reduce the number of papers reviewed by editors. Therefore, we can use the sequential AI – Human collaborative mode to improve the overall efficiency of paper review work. That is to say, the key to this type decision – making lies in designing AI screening thresholds based on an evaluation of AI’s screening effectiveness.

Firstly, this article introduces Spearman correlation and innovatively designs priority comparison coefficient to evaluate the overall decision – making efficiency of AI. Secondly, by defining the negative and positive states of the screening results, sensitivity, specificity, and accuracy indicators were introduced to evaluate the AI’s decision screening effectiveness; Then, the design of evaluating benchmarks is carried out by aggregating human collective judgments, and it is proposed that the judgments of multiple human experts can be combined, enhanced, and jointly determined to form different evaluation benchmarks. These benchmarks can avoid the limitation of using a single evaluation benchmark that cannot accurately reflect AI’s decision – making ability; Finally, by designing the minimum retention rate as an indicator, the threshold setting method for AI in screening decision was clarified. This indicator not only reflects AI’s screening effectiveness, but also enables the rapid implementation of AI applications in the specific scenario. The analysis of three groups of papers in a journal demonstrates that by retaining 75% of the papers during the initial screening phase using existing large language models, high – quality papers identified in relevant evaluation benchmarks can be effectively covered. This reduces editorial workload by approximately 25%, increases overall editorial efficiency by about 15%, and improves the efficiency of the entire editorial process by roughly 8%.

The research is not limited to the level of AI (or LLM) capabilities, but focuses on how to effectively introduce AI into management decision – making on the basis of existing AI capabilities, so as to accelerate the pace of AI implementation and application. The relevant evaluation indicators of AI decision – making capability and their usage logic proposed in this article can not only be applied to decision screening in other scenarios, but also adapt to the dynamic evolution of LLM capability. After significant changes in AI capability, the threshold for AI decision screening can be reanalyzed and calculated, achieving continuous improvement in the synergy level of the "AI – human" systems.

Key words: AI – Human Collaboration; management decision – making; peer review; screening effectiveness; minimum retention rate