情报学报　2023 年 12 月　第 42 卷　第 12 期
Journal of the China Society for Scientific and Technical Information, Dec. 2023, 42(12): 1412-1423

DOI: 10.3772/j.issn.1000-0135.2023.12.002

融合论文颠覆性与巩固性的学者二元影响力测度

杨　杰[1,2]，孔　嘉[1,2]，张艺炜[1,2]，王　昊[1,2]，邓三鸿[1,2]

（1. 南京大学信息管理学院，南京　210023；2. 江苏省数据工程和知识服务重点实验室，南京　210023）

摘　要　针对当前学者评价研究与实践中存在的准确性与全面性不足的问题，本文从颠覆性影响力的视角出发，基于引文网络的深层互引信息，将被引文献划分为颠覆性被引文献和巩固性被引文献，构建了学者影响力的二元测度框架，凝练出两种不同类型的学术特征，即“颠覆型学者”和“巩固型学者”，并提出颠覆性被引量和颠覆性h指数等指标用于学者影响力测度。实证研究基于APS（American Physical Society）数据集的463348篇论文、9370286条引证链接、234086位消歧后作者以及诺贝尔奖（Nobel Prize）、沃尔夫奖（Wolf Prize）、狄拉克奖（Dirac Medal）3种重要奖项得主数据，综合肯德尔秩相关性、识别比率、平均排名等方法进行指标一致性和收敛有效性分析。研究结果表明，颠覆性被引量和颠覆性h指数与传统指标高度一致，并且在收敛有效性上全面优于基准测度指标。颠覆性影响力能够反映学者的创新水平和潜力，二元测度框架可以对学者影响力进行准确划分，对未来创新科学家的早期识别、学者绩效与奖励制度的改革、基金项目的评审与评价、科研激励政策的制定等具有重要意义。

关键词　科学计量；引文网络；h指数；颠覆性指数；学者影响力

Dual-Dimension Scientist Evaluation Framework Based on the Disruptive and Consolidating Impact of Their Papers

Yang Alex J.[1,2], Kong Jia[1,2], Zhang Yiwei[1,2], Wang Hao[1,2] and Deng Sanhong[1,2]

(1. *School of Information Management, Nanjing University, Nanjing*　210023;
2. *Jiangsu Key Laboratory of Data Engineering and Knowledge Service, Nanjing*　210023)

Abstract: Using the rich mutual citation information in citation networks, the citation links of scientific papers can be categorized into two citation types: disruptive and consolidating. This study adopted a dual perspective to examine a scientist's disruptive and consolidating impact and proposes a measurement framework that divides scientists into two academic characteristics. We can obtain valuable insights by condensing various types of scientists into these two categories. To evaluate the consistency and effectiveness of this framework, we conducted an empirical analysis using the American Physical Society (APS) dataset, which comprises 463,348 papers, 9,370,286 citation links, and 234,086 post-disambiguated scholars. We employed Kendall's tau correlation, the identification proportion, and the average rank as evaluation metrics. The results indicate that disruptive citations and the disruptive h-index indicate a high consistency with traditional indices while surpassing benchmark indices in terms of the convergence efficiency. The disruptive influence of scientists serves as an indicator of their innovation level and potential. The dual measurement framework accurately and effectively captures the influence

收稿日期：2023-02-26；**修回日期**：2023-04-10

基金项目：国家社会科学基金项目“大数据环境下学术成果真实价值与影响的实时预测及长期评价研究”（19BTQ062）。

作者简介：杨杰，男，2000年生，博士研究生，主要研究领域为科学计量、创新评价、复杂网络分析；孔嘉，男，1996年生，博士研究生，主要研究领域为信息计量分析；张艺炜，女，1994年生，博士，主要研究领域为信息分析和数据挖掘；王昊，男，1981年生，教授，博士生导师，主要研究领域为文本挖掘、知识图谱；邓三鸿，通信作者，男，1975年生，教授，博士生导师，主要研究领域为领域知识图谱、科学计量、信息分析与科学评价，E-mail：sanhong@nju.edu.cn。

of scientists, providing a means for the early identification of future innovative researchers, reforming performance and reward systems, reviewing and evaluating funding projects, and formulating incentive policies for scientific research.
Keywords: scientometrics; citation network; h-index; disruption index; scientist impact

0　引　言

科学的进步是一个动态的、发展的系统[1]，大部分研究需要在前人的研究成果之上展开工作[2]，即站在巨人的肩膀上[3]，这种方式构成了科学知识的继承与流动[4]。然而，与常规论文不同的是，高颠覆性（disruption）影响力的研究往往能打破科学知识网络中既有的研究范式[5]，进而开辟出新的知识领域。近年来，发表于*Nature*和*Science*的多篇研究论文基于大样本专利或文献网络数据深入刻画与分析了科学领域中产生颠覆性影响的研究分布与趋势[6-8]，国内的学者也从颠覆性技术[9]、颠覆性创新[10]等视角来测度范式转变型的创新研究技术与成果。与颠覆性这一概念对应的是巩固性（consolidation）[7]，颠覆性反映了对既有范式的破坏式创新，巩固性则反映了对传统领域的继承性延续，颠覆性和巩固性影响力的研究已经成为情报学、科学学和计量学领域的一个重要研究议题[11]。

颠覆性和巩固性是从引文网络的深层信息定量体现的，其公式化表述来源于Funk等[12]在专利文献中提出的巩固性和颠覆性指数（consolidating/disruptive index，CD index），用于衡量专利是否巩固或颠覆了现有的技术趋势。Wu等[6]和Park等[7]分别将其拓展到科学文献领域，通过衡量论文的深层次引用网络结构，对科学研究的巩固性和颠覆性影响力进行测量[13]。颠覆性和巩固性影响力的概念在知识实体的渗透与流动[14]、科研成果的演变规律[7]、诺贝尔奖论文的特征[15]等方面得到了广泛的实证与应用，为衡量科学影响力提供了新视角和新维度。

颠覆性和巩固性的思想可以应用于学者层次的影响力测度与评价[16]，学者影响力的测度在基金申请与评审[17]、绩效评估[2]、职称评定与奖惩制度[18]等方面具有不可或缺的作用。随着论文数量的指数级增长[11]，学者影响力的测度和评价面临着巨大的挑战：一方面，传统的学者计量指标被证明缺乏收敛有效性，且难以衡量学者的创新水平；另一方面，同行评审制度在效率和结果上存在缺陷，难以应对日益增长的论文数量。科学逐渐陷入颠覆性停滞的陷阱[7]，为解决学者的创新评价难的问题，本文基于颠覆性思想将学者的影响力进行二元划分——颠覆性影响力和巩固性影响力，以二元视角刻画和测量学者的影响力[19]。其中，颠覆性影响力作为学者创新水平的直接反映，在评价效度上显著优于基准指标，对于未来人才评估的方法和科技政策的制定具有一定的启示意义。

具体而言，本文从颠覆性影响力和巩固性影响力出发，构建二元测度体系，以更全面地刻画学者的影响力，设计4种定量的计量指标：颠覆性被引量、巩固性被引量、颠覆性h指数和巩固性h指数，基于此构建学者层次的二元测度矩阵。基于颠覆性影响力思想对学者影响力的二元划分，为学术评价和绩效评估提供新方法、新指标和新视角，以期为学者的学术评价和绩效评估提供新的视角和测度方式，提升学者创新水平与潜力评估的合理性和科学性。

1　文献综述

1.1　颠覆性与巩固性概念内涵

颠覆性的概念起源于Bower等[20]的著作*Disruptive Technologies*: *Catching the Wave*，科学技术的发展可以划分为颠覆性的创新和巩固性的继承。国内学者对颠覆性技术的概念和内涵进行了新的阐述[9]，从技术维度、市场维度和影响效果维度定义了颠覆性。在科学技术方面，颠覆性与巩固性最大的区别在于是否具备变革的潜力，巩固性技术在既有范式下，将知识以现有轨迹进行推进[21]；而颠覆性技术则对不同领域知识进行了新颖性的融合[22-23]，或进行科学技术的原始创新[24]，产生范式变革的新知识[5]。

在科学和技术领域，新知识的产生与已有的智慧储备密不可分。变革性的概念往往预示着一些颠覆性知识实体的出现，这些实体的核心从根本上偏离了先前的状态[25-27]。例如，爱因斯坦的相对论彻底改变了传统的科学框架[28]，沃森和克里克发现的DNA双螺旋结构则从根本上重塑了我们对生命本质的认识[29]，BTW（Bak-Tang-Wiesenfeld）模型[30]为物理学领域引入了突破性技术。这些开创性研究都成功颠覆了既有范式，并提出了新的范式，体现了颠覆性创新和科学突破的本质[6,7,31]。颠覆性概念的思想脉络可以追溯到库恩的颠覆性变革观点[5]，

即挑战和超越既定范式作为科学进步的基石，科学进步往往萌芽于违背现行范式的反常现象，而变革性突破则体现为解决这些复杂且反常现象的新思路或新方法的诞生[32]。这一思想与Bower等[20]所阐释的破坏性创新概念巧妙融合，形成科技创新的重要理论。

颠覆性的科学在整个科学进步中发挥着至关重要的作用，它表示范式的巨大转变。这体现为在科学或技术的知识扩散网络中，颠覆性的科学往往形成了网络结构的中断和再生。基于这种理念以及评估科学创新的需求，Funk等[12]提出的颠覆性指数（CD index）以错综复杂的科学技术网络为分析基础，评估研究的新颖性及其催化变革性创新的潜力。在论文或专利的局部网络层面深入分析知识的前向和后向扩散，以知识在网络前后的扩散相互作用表征科学动态演化中的关键转变节点[33-34]。

Azoulay[35]对颠覆性指数的直观解释为，对于某一核心文章FP（focal paper）而言，如果许多引用FP的论文也同时引用了FP的大部分参考文献，那么FP可以被视为巩固了其学科范式；相反地，当FP的未来引文并不承认FP的参考文献时，其可以被视为颠覆了其学科领域的研究范式，甚至开创新的领域。

1.2 学者影响力测度

学者影响力的传统测度指标一般包括发文量、被引量和h指数[36]等，这些指标具备公式简洁、易于计算[37]等优势，但也存在维度单一的局限性，难以衡量学者影响力的深层价值与内在含义[38]。从引文网络的视角出发，传统的计量指标通常只包含引文网络的局部信息，而忽略了高阶信息，难以直接衡量科学研究的颠覆性影响力或巩固性影响力[21]。既有研究也表明，基于引文量的计量指标在测度和评价“里程碑”研究和顶尖学者的影响力时缺乏收敛有效性[39-40]。近年来，学者们通过《旧金山宣言》[41]和《莱顿宣言》[42]提出对传统指标的抵制，并呼吁更全面的计量指标。

从学者视角出发，在目前的学科体系下，与现有范式不符的创新性成果往往难以发表[43]。Jia等[44]认为，巩固性研究更适应于当前的学者评价体系，因为其通常是基于现有范式下被认可的成果，发表的概率更大，并且往往能在短期取得一定的引用。从长远来看，颠覆性研究往往能取得更大的影响力，但是颠覆性研究的高难度、超高的时间成本与其他沉没成本[11]、项目失败以及被拒稿的高风险[17]等因素阻扰了很多的学术创新[45]。对于个体而言，专注于传统领域研究可能是高效而省力的[46]，但从宏观的角度来看，这种行为会阻碍整体科学领域与科学研究范式的开创性发展。对于科学研究而言，现有的评价指标与体系无法准确刻画学者的创新贡献与价值，越来越多的学者放弃颠覆性的研究，最终致使科学陷入颠覆性停滞[7]。

近年来，尽管学界在逐步推进、完善“代表作”测度制度[47]以更科学地衡量学者的创新贡献，然而“代表作”制度也在一定程度上受限于专家的认知偏差、同行选择以及人情关系[47-48]，随着论文呈现指数增长，同行评议和专家评审制度受到效率的局限[48]。在不断呼吁测度体系改革和破“五唯”的当下，急需一种收敛有效性良好的定量指标来精确衡量学者的创新能力和真实贡献，从根本上解决创新评价难的问题。

1.3 颠覆性与巩固性影响力测度研究

自巩固性和颠覆性指数（CD index）[12]被提出以来，产生了大量基于颠覆性和巩固性影响力的研究。比如，Ruan等[49]定量分析了参考文献数量和数据库规模对颠覆性相关指标的影响；Bornmann等[50]基于F1000Prime数据库，对颠覆性指数及改进颠覆性指数[51]进行了收敛有效性分析。还有研究针对论文的颠覆性与科研合作的关系[52]、在里程碑研究中的测度有效性[53]、与基石研究的关系[3]等进行了探索。

巩固性和颠覆性指数是一个值域为[−1,1]的单维度指标，并且容易受到参考文献数量等因素的影响[49]，在论文的影响力测度方面具备一定的局限性[49-50,54]。为此，Leydesdorff等[54]和Chen等[55]在颠覆性指数的基础上，将科学研究的影响力划分为两大维度：颠覆性影响力和巩固性影响力；Bu等[19]则进一步探讨了基于颠覆性和巩固性的论文评价框架。在最新的研究中，颠覆性和巩固性影响力的思想被应用于各个领域和层次，如颠覆性知识实体的渗透与流动[14]、颠覆性科研成果的演变规律[7]、巩固性和颠覆性在诺贝尔奖论文中的分布[15]、在复杂网络中对关键节点排序和识别的应用[33]等。

然而，颠覆性和巩固性的思想尚未在学者层次的影响力测度与评价领域得到充分应用。为此，本文将填补此领域的研究空缺，创新性地提出基于颠覆性和巩固性的学者影响力计量指标，实现对学者颠覆性与巩固性影响力测度，构建二元影响力评价框架，以更全面地评估学者的学术影响力。

2　方法与数据

2.1　指标构建

本文沿用 Funk 等[12]、Wu 等[6]以及 Leydesdorff 等[54]学者对论文颠覆性衡量的思想，首先，将引证网络中论文的引用模式进行二元划分，得到颠覆性引用和巩固性引用。如图 1a 所示，在文献引证网络中，考虑某一篇核心论文 FP，设 FP 的参考文献集合为 $R=\{r_1,r_2,\cdots,r_m\}$，FP 的被引文献集合为 $C=\{c_1,c_2,\cdots,c_n\}$，集合 R、FP 以及集合 C 共同构成了连贯的知识流动子网络，涵盖了引文网络中心节点前向和后向的深层引用信息。为进一步地挖掘文献间的隐式关系，考虑集合 R 的被引文献集合 $\mathrm{RC}=\{\mathrm{rc}_1,\mathrm{rc}_2,\cdots,\mathrm{rc}_k\}$。由此，FP 的巩固性被引文献集合可表示为 $\mathrm{CC}=\mathrm{RC}\cap C$；颠覆性被引文献集合可表示为 $\mathrm{DC}=C-\mathrm{CC}$。其中，巩固性被引文献依赖于 FP 的知识基础，反映了 FP 对既有范式的继承性；而颠覆性被引文献则独立于 FP 的知识基础，反映出 FP 颠覆既有范式的程度。因此，本文将 FP 的颠覆性和巩固性被引文献集合中的元素数量分别定义为颠覆性被引量和巩固性被引量。

从论文的影响力和颠覆性角度出发，具备颠覆性特征的科学突破可以映射为科学知识网络中对既有范式的破坏和挑战趋势[5,56]，由此可以基于颠覆性被引量的大小或比例，反映科学研究开创“新范式”的能力[33]。颠覆性被引量融合了研究的颠覆性程度和总体影响力，得以定量表征科学研究的颠覆性影响力；与之对应地，巩固性被引量则直接反映了科学研究对既有范式继承的影响，即巩固性影响力。颠覆性被引量和巩固性被引量提供了对引文网络中错综复杂的知识流的全面理解[5]，能够对科学研究的颠覆性和巩固性影响力进行二元划分。通过融合论文的颠覆性、巩固性和影响力，颠覆性被引量和巩固性被引量对科学研究在多大程度上颠覆或巩固了既有范式进行了定量表征，并进一步阐明了塑造科学进步轨迹的潜在动力，促进了对于科学知识创造和传播的动态性质的认识。

科学家的总影响力可以反映为其全部研究成果影响力的分布[57-58]。基于此，本文在论文的颠覆性和巩固性被引量的基础上创新性地提出学者层次的衡量指标。从学者发表的全部论文出发，针对每篇论文的被引文献，分别基于其颠覆性或巩固性引用链接特征进行划分，得到颠覆性被引量和巩固性被引量，进一步可以将该学者的总被引量分为两大类别，分别由两种维度的被引量——学者颠覆性被引量（scientist disruptive citations，SDC）和学者巩固性被引量（scientist consolidating citations，SCC）来表示，形成二元对立关系，即一名学者的颠覆性被引量与巩固性被引量之和等于其总被引量。考虑学者 A 在一定的时间窗口内发表了 x 篇论文，则 A 的学者颠覆性被引量（SDC）以及学者巩固性被引量（SCC）分别定义为

$$\mathrm{SDC}=\sum_{i=1}^{x}\mathrm{DC}_i \tag{1}$$

$$\mathrm{SCC}=\sum_{i=1}^{x}\mathrm{CC}_i \tag{2}$$

无论是颠覆性被引量，还是巩固性被引量，均是基于被引次数的影响力衡量，而被引次数仅仅是影响力的一个维度，另一个重要的维度是发文数量。因此，将发文数量纳入研究范围，提出学者层次的颠覆性 h 指数（disruptive h-index）和巩固性 h 指数（consolidating h-index），考虑某学者 P 的全部发表论文集合 $X=\{x_1,x_2,\cdots,x_r\}$，分别将其按照论文

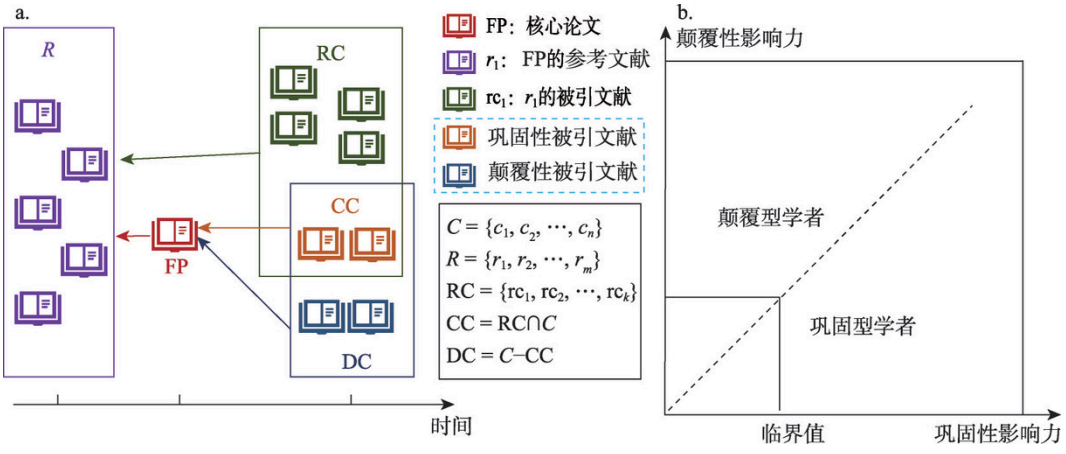


图 1　颠覆性与巩固性影响力测度与评价框架（彩图请见 https://qbxb.istic.ac.cn）

的颠覆性被引量（disruptive citations，DC）和巩固性被引量（consolidating citations，CC）降序排列，即

$$X_{\mathrm{PDC}}=\{x_1,x_2,\cdots,x_r|\mathrm{DC}(x_1)>\mathrm{DC}(x_2)>\cdots>\mathrm{DC}(x_r)\} \tag{3}$$

$$X_{\mathrm{PCC}}=\{x_1,x_2,\cdots,x_r|\mathrm{CC}(x_1)>\mathrm{CC}(x_2)>\cdots>\mathrm{CC}(x_r)\} \tag{4}$$

基于h指数的初始定义[36]（学者发表的论文集合中至多有h篇论文的被引量大于或等于h），将颠覆性h指数和巩固性h指数分别定义为

定义 1. 颠覆性h指数是指学者S发表的论文集合X_{SDC}中至多有disruptive h篇论文的颠覆性被引量大于或等于disruptive h，即

$$\text{disruptive } h=\max\left\{i|i\leqslant \mathrm{DC}(x_i)\right\} \tag{5}$$

定义 2. 巩固性h指数是指学者S发表的论文集合X_{SCC}中至多有consolidating h篇论文的巩固性被引量大于或等于consolidating h，即

$$\text{consolidating } h=\max\left\{i|i\leqslant \mathrm{CC}(x_i)\right\} \tag{6}$$

颠覆性被引量与巩固性被引量之代数和即该学者的总被引量，因此，可视为对学者的影响力进行了二元划分。与传统指标类似，颠覆性被引量和颠覆性h指数可用于衡量学者的颠覆性影响力，而巩固性被引量和巩固性h指数可用于衡量学者的巩固性影响力。在以上指标的基础上，构建结合颠覆性和巩固性影响力双重维度测度矩阵（图1b），进而将不同影响力的学者类型凝练为两种学术特征："颠覆型学者"和"巩固型学者"。基于颠覆性和巩固性这一组独特而新颖的学者影响力视角，研究人员能够更深入地了解科学内在的变革性影响力，进一步促进了我们对科学的"范式颠覆"和"范式继承"二元复杂相互作用的理解，以及在此基础上科学家对研究界的真实影响力和塑造未来科学进程的潜力。

2.2 APS引文数据

本文基于美国物理协会（American Physical Society，APS）提供的引文数据①，包括*Physical Review*系列期刊在内的19种期刊，涵盖了1893—2021年的全部文献及引证数据，共包含700035个节点（研究论文）和9370286条引证链接。为确保充足的引文时间窗口以计算相关指标[59]，并且为获取较为一致的学者生涯区间与引文模式[21]，本文仅考虑发表于2010年之前的463348篇论文。基于Python-igraph-0.10.2和Python-networkx-2.8.8构建大型引文网络，并建立大规模邻接矩阵。在该网络中，入度（indegree）表示引用次数，出度（outdegree）表示参考文献的数量。在此分析过程中，基于Python-scipy-1.10.1等程序计算相关指标，进一步对指标一致性检验和收敛有效性进行分析。

2.3 作者消歧

消歧（disambiguation）是定量学者测度与评价计算过程中的重点、难点和关键步骤[17,21,60]。在APS数据集中，同一作者可能采取不同的署名，或者出现不同作者署名相同的情况。为此，本文采取Sinatra等[58]的研究思路进行作者消歧，先提取出APS数据集中的全部名称对，即任意两个作者的名称，然后使用正则表达式将其配对，仅保留完全符合以下要求的名称对：①两个作者的姓氏相同；②名字的缩写和中间名相同；③两个作者互相引用至少一次，或者两个作者共同作者或具有类似的机构隶属关系。对于配对后的歧义学者，结合Physics Tree数据集②进行对比消歧。最终得到234086位不同的学者，缩减为原始作者名称数的46.6%。

3 结果与讨论

3.1 获奖学者抽取与统计

为进行指标的收敛有效性测度，本文收集了物理学领域部分重要国际奖项的获奖者数据，包括诺贝尔奖（Nobel Prize）③④、沃尔夫奖（Wolf Prize）⑤和狄拉克奖（Dirac Medal）⑥。将APS数据库中经过消歧的作者姓名与这些获奖者进行匹配，匹配过程包括使用获奖者主页、维基百科和Physics Tree的介绍或简历信息，筛选条件包括在APS数据集中发表了至少5篇文章。最终，得到130位物理学领域的获奖学者。

获奖学者与APS数据内其他学者的各项指标差异与分布如图2所示。其中，基于双尾Welch's t检

① https://journals.aps.org/datasets

② https://academictree.org/physics/

③ https://www.nobelprize.org/prizes/physics/

④ https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/

⑤ https://wolffund.org.il/home-page/

⑥ https://www.ictp.it/prize/dirac-medal

验比较各项指标差异的显著性，包括发文量、h指数、颠覆性被引量、巩固性被引量、颠覆性h指数和巩固性h指数（图2a~图2f）。显然，获奖学者的各项指标均显著高于非获奖学者（t>7，p<0.001），可以进行后续的指标一致性分析和收敛有效性检验（图2g~图2h）。从分布来看，获奖学者的样本量远远小于非获奖学者，而各项指标的平均值和标准差都更大。即使在75%分位，非获奖学者的各项指标仍处于较低的值，这可能是源于优先连接效应[61]和马太效应[62]导致的幂律分布。

3.2　一致性分析

本文选取肯德尔秩系数[63]（Kendall's tau）作为指标测度一致性的衡量，肯德尔秩系数可用于离散数据的相关性分析，适用于本文的数据，其公式[63]为

$$\tau = \frac{n^c - n^d}{\sqrt{(n^c + n^d + n^x) \times (n^c + n^d + n^y)}} \tag{7}$$

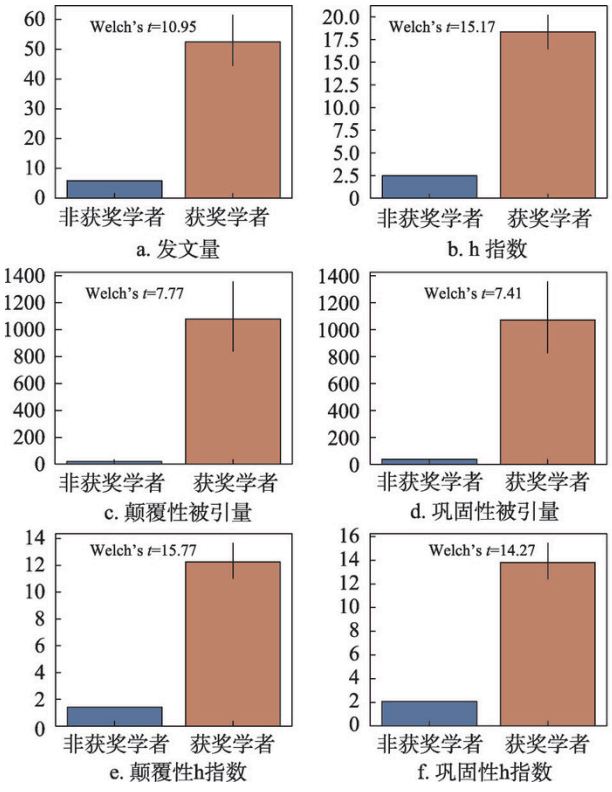
其中，n^c和n^d分别表示存在一致序列和存在不一致序列的样本观测组数；n^x和n^y分别表示某样本序列值相同的观测组数。τ值越大，说明两组样本相关性越强；当τ为0时，代表两组样本完全独立。

选取学者的总被引量、总发文量和h指数作为基准指标，指标一致性的结果如图3所示。结果表明，无论是获奖学者（图3a），还是非获奖学者（图3b），本文提出的新指标（即颠覆性被引量、巩固性被引量、颠覆性h指数和巩固性h指数）均与h指数和总被引量呈高度相关，从而证明了新指标与传统指标的测度一致性。另外，发文量这一指标与其余指标的一致性较差，且与颠覆性被引量的相关性最低（获奖学者为0.54，非获奖学者为0.57），说明颠覆性被引量受到文章数量的影响最小。

颠覆性影响力和巩固性影响力虽然是两个不同维度的衡量指标，两者之间却存在较强的相关性。具体而言，获奖学者样本和非获奖学者样本中，巩固性被引量与颠覆性被引量的相关性系数分别为0.69和0.61，巩固性h指数与颠覆性h指数的相关性系数分别为0.72和0.65，这可能是由于学术领域的马太效应[62]，学者的高颠覆性成果为其积累的学术声誉[64]，使得该学者的巩固性研究也能收获更高的影响力，而巩固性影响力又随之降低了该学者颠覆性研究的发表难度，如此，二元影响力形成互相促进的效应机制。

3.3　收敛有效性

为进一步验证新测度指标的科学性和有效性，对比基准指标进行收敛有效性的分析。指标的收敛



	发文量	h指数	颠覆性被引量	巩固性被引量	颠覆性h指数	巩固性h指数
样本量	130	130	130	130	130	130
平均值	52.45	18.35	1078.24	1072.84	12.25	13.80
标准差	48.51	11.93	1552.51	1589.57	7.85	9.37
最小值	5.00	3.00	15.00	20.00	2.00	2.00
25%	20.00	9.00	143.75	166.25	6.00	7.00
50%	42.00	17.00	536.00	510.00	10.50	12.00
75%	63.00	24.00	1229.50	1254.25	15.75	17.75
最大值	307.00	58.00	9361.00	8744.00	42.00	47.00

g. 获奖学者（laureate）

	发文量	h指数	颠覆性被引量	巩固性被引量	颠覆性h指数	巩固性h指数
样本量	233956	233956	233956	233956	233956	233956
平均值	5.83	2.48	20.52	39.49	1.40	2.08
标准差	12.39	3.18	85.00	142.54	1.79	2.69
最小值	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25%	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
50%	2.00	1.00	2.00	5.00	1.00	1.00
75%	5.00	3.00	11.00	24.00	2.00	3.00
最大值	491.00	53.00	4089.00	7408.00	29.00	46.00

h. 非获奖学者（non laureate）

图2　获奖学者与非获奖学者的指标差异与分布

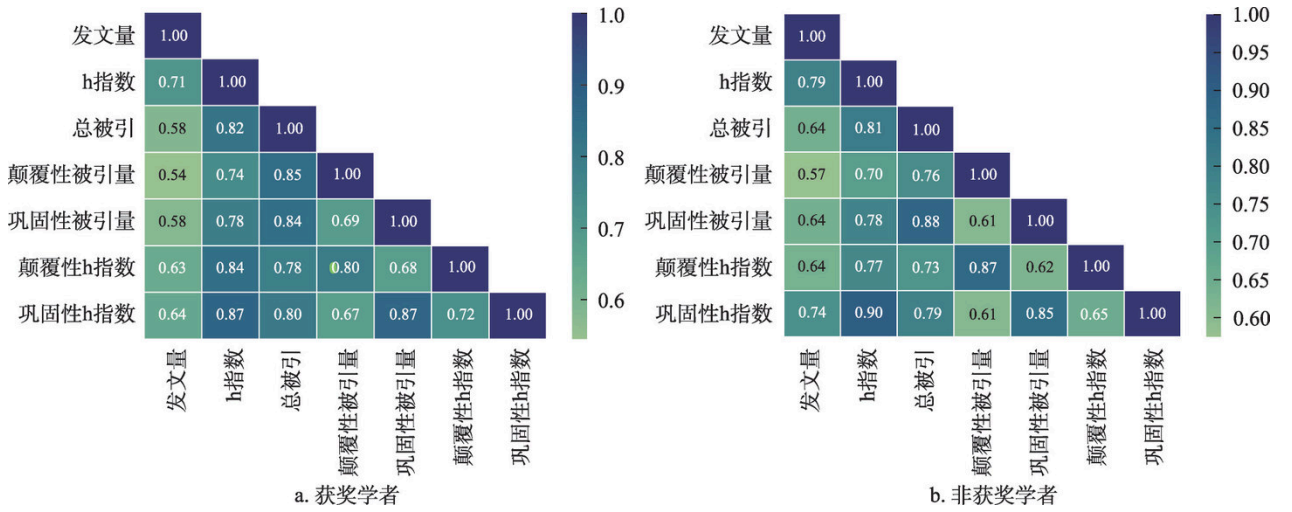


图3 指标一致性——肯德尔秩相关性分析

有效性表征了该指标有效衡量其目标对象的范围大小与效率[50]。本文综合采用两种计量指标的评价方法进行指标的收敛有效性评估，分别是获奖学者的识别比率（identification proportion，IP）与获奖学者的平均排名（average ranking，AR）。将获奖学者赋值为1，非获奖学者赋值为0。对于某个特定的指标，IP表示该指标识别出的排名最高的前n%学者中的获奖学者占比，IP值越高，说明指标的收敛有效性越强。借鉴Xu等[65]的做法，将排名前1%的学者作为测度区域，计算该指标的召回率，并综合验证不同阈值下的指标鲁棒性。

不同于IP，AR一般表示为特定指标下的全部获奖学者的平均排名，但是简单地取均值会受到其他学者排名的影响。为此，借鉴Mariani等[66]的研究思路，将不同指标下的单个学者的排名进行标准化处理，在引文网络$G=(V,E)$中，考虑指标集合$\{m_1,m_2,\cdots\}$和关键节点集合$\{v_1,v_2,\cdots\}$，取排位最低的获奖学者和排位最高的获奖学者的排名之差作为分母，得到标准化的平均排名，即

$$\tilde{R}(m,v_i)=\frac{R(m,v_i)}{\max\left(R(m,v)\right)-\min\left(R(m,v)\right)} \tag{8}$$

其中，m表示指标；v_i表示获奖学者；$\tilde{R}(m,v_i)$的平均值为AR。AR值越低，说明指标的收敛有效性越强。IP主要从召回率的角度测量了指标识别出的重要学者中获奖学者的比例，AR则从全部获奖学者的平均排位出发，两者均能够定量反映计量指标的收敛有效性[67]。

选取学者的总被引量、总发文量和h指数作为基准指标，收敛有效性结果如图4所示。获奖学者的平均识别比率（IP）和获奖学者的平均排名（AR）结果均表明，颠覆性被引量和颠覆性h指数均具备优异的收敛有效性，并且明显优于基准指标；与之相反的是，巩固性被引量和巩固性h指数的收敛有效性弱于h指数等基准指标。对于颠覆性影响力的两个测度指标，即颠覆性被引量与颠覆性h指数，在不同的评价任务上各自具备更大的优势。具体而言，颠覆性被引量在获奖学者的识别比率更高，而颠覆性h指数对于获奖学者的平均排名更低，在总体上两者间差距很小，且均优于其他指标，因此，可以认为这两个指标均能作为学者创新水平和真实影响力的有效测度。

为验证本文结果的鲁棒性，将获奖学者平均识别比率（IP）的z值（前z分位中获奖学者占比，即IP值）分别设定为0.001、0.005、0.02和0.05，如图4b所示。从鲁棒性检验结果来看，颠覆性被引量和颠覆性h指数的收敛有效性全面优于巩固性影响力指标和基准指标。此外，在识别最顶尖的学者时，颠覆性被引量和颠覆性h指数相对于其他指标具有巨大优势，但是随着z的增大，这种识别优势逐渐降低，但仍然全面优于基准指标。

值得注意的是，发文量在识别最顶尖学者时的IP非常低（图4b，z=0.001和z=0.005），说明这项指标难以反映学者的创新能力与真实影响力，一致性分析已经表明发文量与颠覆性影响力指标的相关性较低，因此，应当避免使用发文量作为学者创新水平的测度指标。另外两项基准指标，即总被引和h指数，在识别获奖学者上各有优劣。其中，总被引在识别比率上领先h指数，而h指数在平均排名表现更优。这两个基准指标的收敛有效性全面弱于颠覆性影响力的测度指标，这表明相较于传统指标，

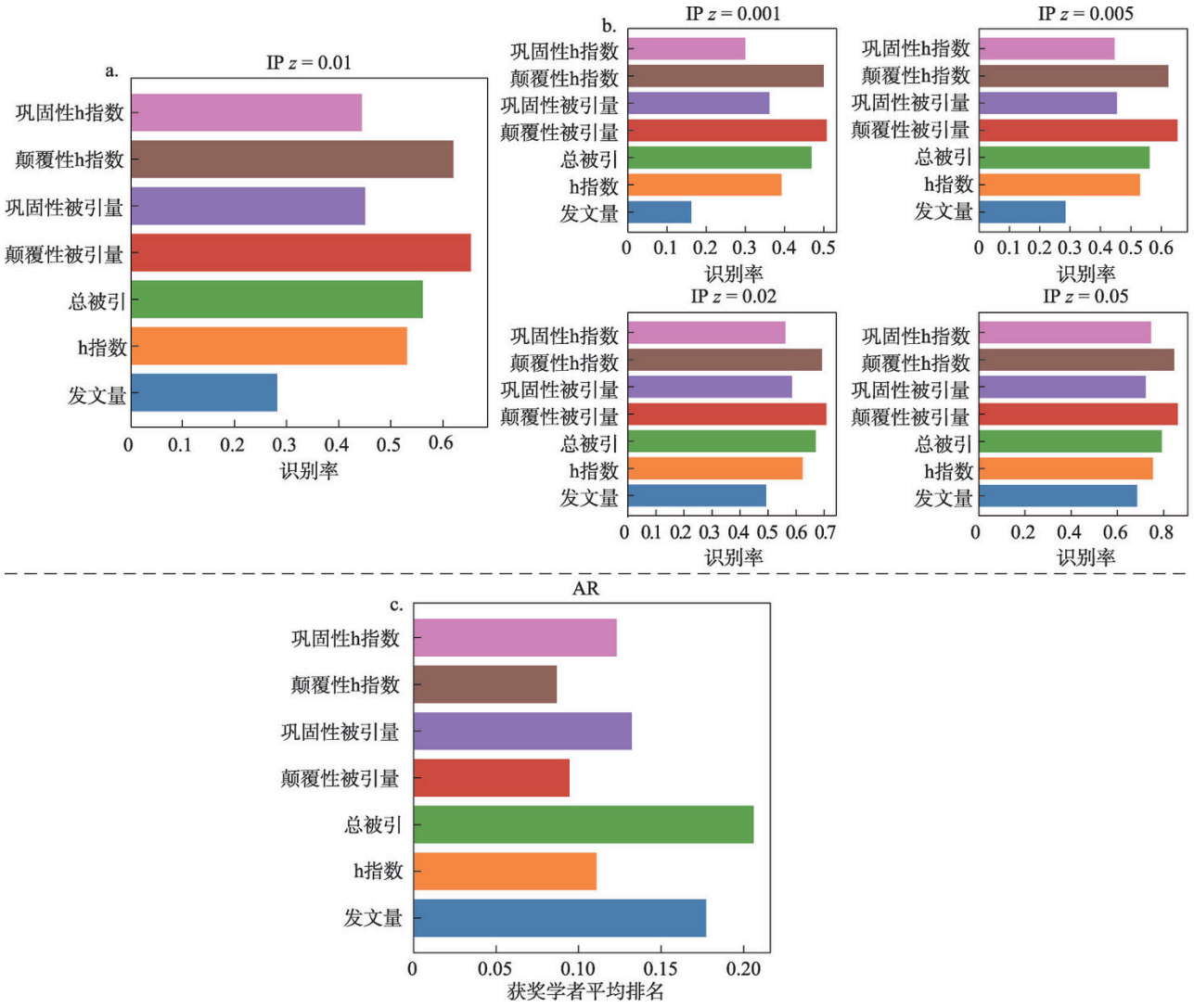


图 4　指标收敛有效性——获奖学者的识别比率(IP)与平均排名(AR)

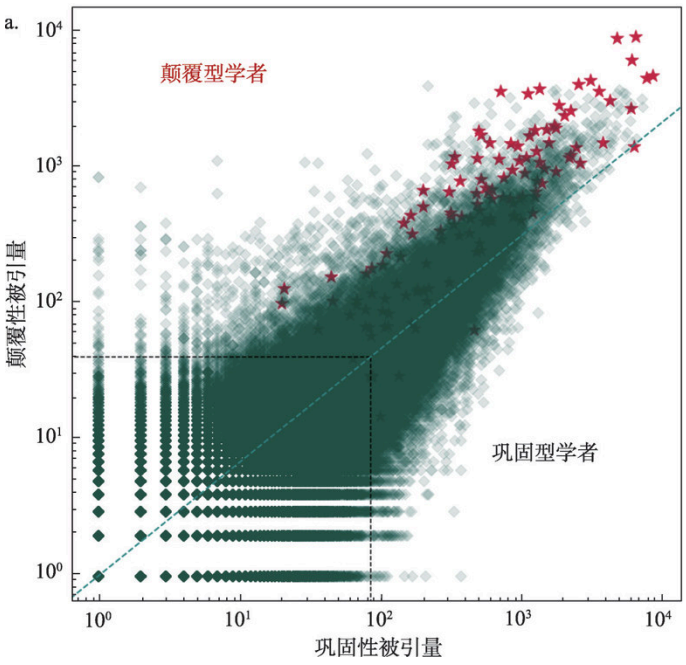
IP 越高，指标收敛有效性越强；AR 越低，指标收敛有效性越强。

颠覆性影响力指标是一种更佳的测度方式，有望在未来成为现有评价体系的重要补充。

3.4　二元影响力与学术特征

不同层次学者的二元影响力分布情况及学术特征如图 5a 所示，其中横轴、纵轴数据均作为常用对数（common logarithm，log10）进行处理。以颠覆性被引量和巩固性被引量的 90% 分位数值（图 5 中蓝色横纵虚线）作为划分依据，将这些学者的学术特征划分为“颠覆型学者”和“巩固型学者”。显然，获奖学者的学术特征主要为“颠覆型学者”，而鲜有学术特征为“巩固型学者”的学者能够成为获奖学者。值得注意的是，无论是对于获奖学者的二元影响测度，还是对于非获奖学者的二元影响测度，高颠覆性影响力往往伴随较高的巩固性影响力，一项证据在于学术特征为“颠覆型学者”的科学家总数量多于“巩固型学者”。结合上文分析，这种现象可能是源自基于马太效应形成的二元促进机制，导致高颠覆性影响力学者也具备较高的巩固性影响力，同样地，高巩固性影响力学者也具备较高的颠覆性影响力。

为进一步对比颠覆型影响力和巩固型影响力的差异，选取二元影响力最顶尖的科学家进行对比。图 5b 和图 5c 分别展示了颠覆性被引量和巩固性被引量最高的 5 位学者。诺贝尔奖和沃尔夫奖是公认的顶尖荣誉，反映了学科内最高的创新水平和真实贡献，而狄拉克奖章则专门为未被授予上述两种奖项的学术泰斗颁发。在物理学领域，获得这些荣誉的学者都对该学科做出了最突出的贡献[68]。颠覆者被引量最高的 5 位学者均是获奖学者。而巩固性被



b. 颠覆性被引量最高的5位学者

学者	发文量	h指数	总被引	颠覆性被引量	巩固性被引量	颠覆性h指数	巩固性h指数	奖项
Walter Kohn	115	36	15906	9361	6545	27	26	Nobel
Philip W. Anderson	138	55	13920	9091	4829	42	37	Nobel
Steven Weinberg	133	58	12435	6286	6149	40	43	Dirac
Patrick A. Lee	203	57	13564	4820	8744	36	47	Dirac
Bertrand I. Halperin	185	56	12470	4646	7824	32	47	Wolf

c. 巩固性被引量最高的5位学者

学者	发文量	h指数	总被引	颠覆性被引量	巩固性被引量	颠覆性h指数	巩固性h指数	奖项
Patrick A. Lee	203	57	13564	4820	8744	36	47	Dirac
Bertrand I. Halperin	185	56	12470	4646	7824	32	47	Wolf
L. J. Sham	137	39	10246	2838	7408	21	31	无
Gen Shirane	385	53	10494	3248	7246	27	41	无
Sankar Das Sarma	442	42	8285	1668	6617	18	36	无

图5 二元学者影响力测度矩阵及颠覆性被引量与巩固性被引量最高的学者之学术特征（彩图请见 https://qbxb.istic.ac.cn）

红色五角星表示获奖学者，绿色点表示非获奖学者，蓝色虚线表示90%分位数值。

引量最高的5位学者中只有2位获奖学者，进一步分析发现，图5c中的获奖学者也具备很高的颠覆性影响力（这两位学者同时出现在图5b中），可以初步推断：高巩固性被引量与学者的真实创新贡献的关系可能较弱，而高颠覆性被引量则与学者的真实影响力直接挂钩。

上述结论在一定程度上表明，颠覆性影响力更能衡量学者的创新水平和潜力，而巩固性影响力则可能是学者总影响力中的低效组成部分。在颠覆性与巩固性二元测度框架中，更应注重颠覆性影响力，它能够更直接地反映学者的真实学术贡献。

4 总 结

探索更加科学、合理的学者测度指标与框架有助于指导未来科学研究的高效开展。本文基于引文网络中的节点链接关系，创新性地提出了学者层面两大维度的影响力衡量指标，即颠覆性被引量（DC）、巩固性被引量（CC）、颠覆性h指数和巩固性h指数，在此基础上构建了学者影响力的颠覆性和巩固性二元测度框架。基于APS数据的463348篇论文以及234086位消歧后学者以及诺贝尔奖等3种重要奖项得主数据进行实证研究。从指标一致性和收敛有效性出发，验证了颠覆性被引量和颠覆性h指数与传统测度指标高度一致，并且在收敛有效性方面优于总被引、h指数等基准指标。此外，本文探索了物理学领域获奖学者和非获奖学者的学术特征分布，并对高颠覆性被引量的学者和高巩固性被引量的学者的各项指标进行分析，发现这两类学者具有截然不同的模式。研究结果表明，颠覆性被引量和颠覆性h指数是测度学者创新影响力的可靠指标，二元测度体系能够更准确地反映学者的影响力维度。

本文的主要贡献在于：提供了一种科学、可靠、有效的学者测度新视角，从颠覆性影响力和巩固性影响力进行学者的二元测度。其中，颠覆性能够反映学者的创新影响力，是衡量学者学术水平的有效指标。本文基于物理学领域深入探讨了该指标的科学性、一致性、有效性、可行性与合理性，并进一步对二元测度框架进行了分析与讨论。从学者的颠覆性影响力出发，对学者、项目和机构进行评价是破除“五唯”的一种有效途径，也是在以“四个面向”为指导的新评价体系下的一个重要内容，本文的研究结论对于未来创新科学家的早期识别、学者绩效与奖励制度的改革、基金项目的评审与评价、科研激励政策的制定等方面具有一定的启示意义。

最后，对本文的局限性进行总结，并提出对未来的展望：①本文所探讨的相关指标仅基于APS数据集的内部引证，实证结果较大程度上受限于数据库的数据广度。未来可以考虑更大样本的实证，比

如，针对 WoS（Web of Science）和 MAG（Microsoft Academic Graph）等数据库涵盖的全部学者及其论文数据进行研究，或者基于 CNKI（China National Knowledge Infrastructure）和 CSSCI（Chinese Social Sciences Citation Index）等数据集研究国内学者的颠覆性影响力。另外，受限于引文网络深层指标的算法，颠覆性和巩固性相关指标的计算复杂度较大，未来需借助并行计算、分布式计算等以支撑更大样本量的研究。②本文未考虑引文时间窗口这一重要因素，早期的学者可能会收获更高的测度值。未来可以考虑设定时间窗口，从而对不同年份学者的影响力进行有效比较。③本文只收集了物理学领域的部分重要获奖数据，以定义获奖学者，这导致获奖学者和其他学者的数量差异很大。未来可以考虑院士数据集等其他数据集以进行更全面的收敛有效性检验，或者基于 CEM（coarsened exact matching）方法[39]进行精确匹配。另外，除了物理学这一领域外，相同的模式是否能够应用于其他自然科学、社会科学以及交叉学科领域，仍有待后续研究的探索。

参　考　文　献

[1] Winnink J J, Tijssen R J W, van Raan A F J. Searching for new breakthroughs in science: how effective are computerised detection algorithms?[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2019, 146: 673-686.

[2] Fortunato S, Bergstrom C T, Börner K, et al. Science of science [J]. Science, 2018, 359(6379): eaao0185.

[3] Jo W S, Liu L, Wang D S. See further upon the giants: quantifying intellectual lineage in science[J]. Quantitative Science Studies, 2022, 3(2): 319-330.

[4] Ghosal T, Tiwary P, Patton R, et al. Towards establishing a research lineage via identification of significant citations[J]. Quantitative Science Studies, 2022, 2(4): 1511-1528.

[5] Kuhn T S. Historical structure of scientific discovery[J]. Science, 1962, 136(3518): 760-764.

[6] Wu L F, Wang D S, Evans J A. Large teams develop and small teams disrupt science and technology[J]. Nature, 2019, 566 (7744): 378-382.

[7] Park M, Leahey E, Funk R J. Papers and patents are becoming less disruptive over time[J]. Nature, 2023, 613(7942): 138-144.

[8] Uzzi B, Mukherjee S, Stringer M, et al. Atypical combinations and scientific impact[J]. Science, 2013, 342(6157): 468-472.

[9] 苏成, 赵志耘, 赵筱媛, 等. 颠覆性技术新阐释: 概念、内涵及特征[J]. 情报学报, 2021, 40(12): 1253-1262.

[10] 崔怡雯, 赵筱媛, 苏成, 等. 面向颠覆性创新的技术监测分类体系研究[J]. 情报学报, 2021, 40(12): 1288-1293.

[11] Wang D S, Barabási A L. The science of science[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

[12] Funk R J, Owen-Smith J. A dynamic network measure of technological change[J]. Management Science, 2017, 63(3): 791-817.

[13] Bornmann L, Devarakonda S, Tekles A, et al. Disruptive papers published in Scientometrics: meaningful results by using an improved variant of the disruption index originally proposed by Wu, Wang, and Evans (2019)[J]. Scientometrics, 2020, 123(2): 1149-1155.

[14] Wang S Y, Ma Y X, Mao J, et al. Quantifying scientific breakthroughs by a novel disruption indicator based on knowledge entities[J]. Journal of the Association for Information Science and Technology, 2023, 74(2): 150-167.

[15] Wei C L, Li J, Shi D B. Quantifying revolutionary discoveries: evidence from Nobel prize-winning papers[J]. Information Processing & Management, 2023, 60(3): 103252.

[16] Wang R J, Zhou Y H, Zeng A. Evaluating scientists by citation and disruption of their representative works[J]. Scientometrics, 2023, 128(3): 1689-1710.

[17] Yin Y A, Wang Y, Evans J A, et al. Quantifying the dynamics of failure across science, startups and security[J]. Nature, 2019, 575 (7781): 190-194.

[18] Foster J G, Rzhetsky A, Evans J A. Tradition and innovation in scientists' research strategies[J]. American Sociological Review, 2015, 80(5): 875-908.

[19] Bu Y, Waltman L, Huang Y. A multidimensional framework for characterizing the citation impact of scientific publications[J]. Quantitative Science Studies, 2021, 2(1): 155-183.

[20] Bower J L, Christensen C M. Disruptive technologies: catching the wave[M]. Boston: Harvard Business Review, 1995.

[21] Zeng A, Shen Z S, Zhou J L, et al. The science of science: from the perspective of complex systems[J]. Physics Reports, 2017, 714/715: 1-73.

[22] Fontana M, Iori M, Montobbio F, et al. New and atypical combinations: an assessment of novelty and interdisciplinarity[J]. Research Policy, 2020, 49(7): 104063.

[23] 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.

[24] Shibayama S, Wang J. Measuring originality in science[J]. Scientometrics, 2020, 122(1): 409-427.

[25] Mokyr J. Punctuated equilibria and technological progress[J]. The American Economic Review, 1990, 80(2): 350-354.

[26] Arthur W B. The nature of technology: what it is and how it evolves[M]. New York: Free Press, 2009.

[27] Arthur W B. The structure of invention[J]. Research Policy, 2007, 36(2): 274-287.

[28] Einstein A. The foundation of the general theory of relativity[J]. Annalen Der Physik, 1916, 354(7): 769-822.

[29] Watson J D, Crick F H C. Molecular structure of nucleic acids: a structure for deoxyribose nucleic acid[J]. Nature, 1953, 171 (4356): 737-738.

[30] Bak P, Tang C, Wiesenfeld K. Self-organized criticality: an explanation of the 1/*f* noise[J]. Physical Review Letters, 1987, 59(4): 381-384.

[31] Lin Y L, Frey C B, Wu L F. Remote collaboration fuses fewer breakthrough ideas[J]. Nature, 2023, 623(7989): 987-991.

[32] Lin Y L, Evans J A, Wu L F. New directions in science emerge from disconnection and discord[J]. Journal of Informetrics, 2022, 16(1): 101234.

[33] Yang A J, Deng S H, Wang H, et al. Disruptive coefficient and 2-step disruptive coefficient: novel measures for identifying vital nodes in complex networks[J]. Journal of Informetrics, 2023, 17: 101411.

[34] Yang A J, Hu H T, Zhao Y H, et al. From consolidation to disruption: a novel way to measure the impact of scientists and identify laureates[J]. Information Processing & Management, 2023, 60 (5): 103420.

[35] Azoulay P. Small research teams ‘disrupt’ science more radically than large ones[J]. Nature, 2019, 566(7744): 330-332.

[36] Hirsch J E. An index to quantify an individual’s scientific research output[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2005, 102(46): 16569-16572.

[37] Roldan-Valadez E, Salazar-Ruiz S Y, Ibarra-Contreras R, et al. Current concepts on bibliometrics: a brief review about impact factor, Eigenfactor score, CiteScore, SCImago Journal Rank, Source-Normalised Impact per Paper, *H*-index, and alternative metrics[J]. Irish Journal of Medical Science, 2019, 188(3): 939-951.

[38] Waltman L, van Eck N J. The inconsistency of the h-index[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2012, 63(2): 406-415.

[39] Bornmann L, Tekles A. Convergent validity of several indicators measuring disruptiveness with milestone assignments to physics papers by experts[J]. Journal of Informetrics, 2021, 15(3): 101159.

[40] Herrmannova D, Patton R M, Knoth P, et al. Do citations and readership identify seminal publications?[J]. Scientometrics, 2018, 115(1): 239-262.

[41] Cagan R. The San Francisco Declaration on research assessment [J]. Disease Models & Mechanisms, 2013, 6(4): 869-870.

[42] Hicks D, Wouters P, Waltman L, et al. Bibliometrics: the Leiden Manifesto for research metrics[J]. Nature, 2015, 520(7548): 429-431.

[43] Rosenthal R. The file drawer problem and tolerance for null results[J]. Psychological Bulletin, 1979, 86(3): 638-641.

[44] Jia T, Wang D S, Szymanski B K. Quantifying patterns of research-interest evolution[J]. Nature Human Behaviour, 2017, 1 (4): Article No.0078.

[45] Wang D S, Uzzi B. Weak ties, failed tries, and success[J]. Science, 2022, 377(6612): 1256-1258.

[46] Rzhetsky A, Foster J G, Foster I T, et al. Choosing experiments to accelerate collective discovery[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2015, 112 (47): 14569-14574.

[47] 俞立平, 张矿伟, 蒋长兵. 推进代表作评价存在的问题与对策研究[J]. 情报学报, 2021, 40(4): 345-353.

[48] Li D, Agha L. Big names or big ideas: do peer-review panels select the best science proposals?[J]. Science, 2015, 348(6233): 434-438.

[49] Ruan X M, Lyu D Q, Gong K L, et al. Rethinking the disruption index as a measure of scientific and technological advances[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2021, 172: 121071.

[50] Bornmann L, Devarakonda S, Tekles A, et al. Are disruption index indicators convergently valid? The comparison of several indicator variants with assessments by peers[J]. Quantitative Science Studies, 2020, 1(3): 1242-1259.

[51] Leydesdorff L, Tekles A, Bornmann L. A proposal to revise the disruption index[J]. Profesional de la Información, 2021, 20(1): e300121.

[52] Lyu D Q, Gong K L, Ruan X M, et al. Does research collaboration influence the “disruption” of articles? Evidence from neurosciences[J]. Scientometrics, 2021, 126(1): 287-303.

[53] Liang G Q, Lou Y, Hou H Y. Revisiting the disruptive index: evidence from the Nobel Prize-winning articles[J]. Scientometrics, 2022, 127(10): 5721-5730.

[54] Leydesdorff L, Bornmann L. Disruption indices and their calculation using web-of-science data: indicators of historical developments or evolutionary dynamics? [J]. Journal of Informetrics, 2021, 15(4): 101219.

[55] Chen J Y, Shao D A, Fan S K. Destabilization and consolidation: conceptualizing, measuring, and validating the dual characteristics of technology[J]. Research Policy, 2021, 50(1): 104115.

[56] Popper K. The logic of scientific discovery[M]. New York: Harper and Row, 1934.

[57] Liu L, Wang Y, Sinatra R, et al. Hot streaks in artistic, cultural, and scientific careers[J]. Nature, 2018, 559(7714): 396-399.

[58] Sinatra R, Wang D S, Deville P, et al. Quantifying the evolution of individual scientific impact[J]. Science, 2016, 354(6312): aaf5239.

[59] Wang J. Citation time window choice for research impact evaluation[J]. Scientometrics, 2013, 94(3): 851-872.

[60] Wang D S, Song C M, Barabási A L. Quantifying long-term scientific impact[J]. Science, 2013, 342(6154): 127-132.

[61] Nacher J C, Hayashida M, Akutsu T. Emergence of scale-free dis-

tribution in protein-protein interaction networks based on random selection of interacting domain pairs[J]. Biosystems, 2009, 95(2): 155-159.

[62] Wolcott H N, Fouch M J, Hsu E R, et al. Modeling time-dependent and-independent indicators to facilitate identification of breakthrough research papers[J]. Scientometrics, 2016, 107(2): 807-817.

[63] Lü L Y, Zhou T, Zhang Q M, et al. The h-index of a network node and its relation to degree and coreness[J]. Nature Communications, 2016, 7: Article No.10168.

[64] Petersen A M, Fortunato S, Pan R K, et al. Reputation and impact in academic careers[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2014, 111(43): 15316-15321.

[65] Xu S Q, Mariani M S, Lü L Y, et al. Unbiased evaluation of ranking metrics reveals consistent performance in science and technology citation data[J]. Journal of Informetrics, 2020, 14(1): 101005.

[66] Mariani M S, Medo M, Zhang Y C. Identification of milestone papers through time-balanced network centrality[J]. Journal of Informetrics, 2016, 10(4): 1207-1223.

[67] Wang J J, Xu S Q, Mariani M S, et al. The local structure of citation networks uncovers expert-selected milestone papers[J]. Journal of Informetrics, 2021, 15(4): 101220.

[68] Way S F, Morgan A C, Larremore D B, et al. Productivity, prominence, and the effects of academic environment[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2019, 116(22): 10729-10733.

（责任编辑　魏瑞斌）