

融合三角引用结构特征的论文颠覆性指数优化研究

周朝阳^{1,2} 贺艳菊¹

(1. 湖北大学图书馆, 武汉 430062; 2. 湖北大学历史文化学院, 武汉 430062)

摘要: 颠覆性指数是测度论文创新性的新兴指标之一。基于文献引用结构的传统颠覆性指数计算方法仅考虑直接引用特征, 无法充分反映学术创新过程中完整的文献引用及知识传递过程。融合三角引用结构特征的论文颠覆性指数有助于更全面、准确地测度论文间的引用强度, 提升学术论文创新性评价的科学性与准确性。在挖掘文献三角引用关系的基础上, 本研究构建了加权颠覆性指数计算方法。首先, 依据文献耦合特征对同时引用焦点文献及其参考文献的文献进行加权, 利用共引特征对引用焦点文献但未引用其参考文献的文献进行加权; 其次, 基于加权特征量优化原有颠覆性指数计算框架; 最后, 以1995—2015年诺贝尔物理学奖得主在美国物理学会系列期刊上发表的论文为样本进行实证研究。结果显示, 本研究提出的方法能够提升论文颠覆性指数的准确性和有效性, 为学术创新性评价提供支持。

关键词: 颠覆性指数; 三角引用; 创新性评价; 耦合关系; 共引关系

中图分类号: G252.7 **DOI:** 10.3772/j.issn.1673-2286.2025.12.005

引文格式: 周朝阳, 贺艳菊. 融合三角引用结构特征的论文颠覆性指数优化研究[J]. 数字图书馆论坛, 2025, 21(12): 38-47.

科学研究的核心价值在于其创新性^[1]。学术论文是科学研究的主要成果, 也是体现科研创新性的核心载体。客观、公正地评价学术论文的创新性是学术评价和科研管理的首要关注点。近年来兴起的颠覆性指数理论为此提供了新的理论视角与量化工具^[2]。颠覆性指的是研究能够突破已有范式的局限, 催生新范式、新学科或新领域, 进而重塑知识传播路径。颠覆性指数是近年来兴起的一种量化指标, 旨在评估学术论文的创新程度, 为识别颠覆性研究成果提供了新的视角与理论框架。颠覆性指数主要依据引文网络的结构特征来度量论文的创新性, 是衡量论文创新性的新兴指标之一^[3]。

传统颠覆性指数 (Disruption Index, 以下简称“D指数”) 计算方法仅聚焦于焦点文献的直接引用关系来度量其创新性。此类方法存在明显不足: ①在计算中仅考虑了直接引用关系, 未能有效融入文献间更深层的

结构特征; ②以统一标准等同对待所有引用文献, 未能充分挖掘不同文献或网络结构的差异性。这些不足之处在一定程度上制约了颠覆性指数的准确性。鉴于此, 本研究通过挖掘文献引用网络中的三角引用关系及其所隐含的结构特征, 利用三角引用结构特征对直接引文强度进行加权修正, 以更全面、更精细化地衡量直接引用文献的质量和重要性, 从而弥补D指数计算方法仅基于焦点文献的直接引用特征度量其创新性的不足, 提高颠覆性指数评估论文创新性的科学性与准确性。

1 相关研究

1.1 颠覆性指数及其改进方法

颠覆性指数理论渊源可追溯至Funk等^[4]提出的专

利引用颠覆指数, 后经Wu等^[5]简化和调整, 发展为适用于学术论文评价的颠覆性指数。该理论认为, 若一项新成果使早期相关研究“过时”, 导致后续研究不再引用早期文献, 则表明该成果引发了现有知识体系的显著知识断裂, 即新成果具有颠覆性创新特征; 反之, 若后续研究仍同时引用新成果与早期文献, 则表明新成果更多是对现有知识的延续与巩固, 属于渐进式创新^[6]。

颠覆性指数主要通过分析论文的局部引用网络结

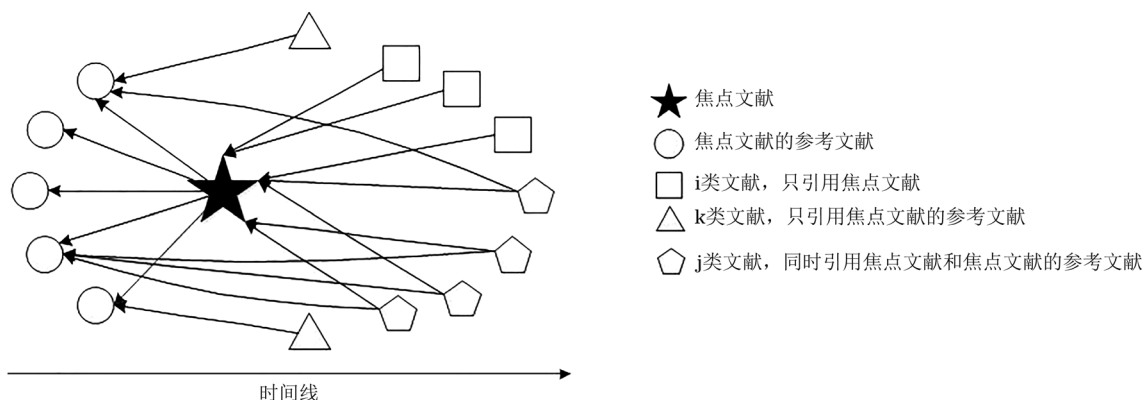


图1 文献局部引用结构

基于上述局部引用结构, 颠覆性指数的计算方法如式(1)所示。

$$D = \frac{N_i - N_j}{N_i + N_j + N_k} \quad (1)$$

式中: N_i 、 N_j 与 N_k 分别代表i类、j类与k类文献的数量。颠覆性指数的取值范围为-1~1, 其中正值越大表明论文的颠覆性创新特征越显著。

颠覆性指数一经提出就受到学术界的广泛研究。学者们从不同方面分析了颠覆性指数的不足和缺陷, 提出了一系列改进方法。为了提升指数的一致性, 刘小慧等^[7]引入了相对颠覆性指数与绝对颠覆性指数, 以有效校正计算偏差。Leydesdorff等^[8]构建了DI*与DI#指标体系, 从颠覆性与巩固性两个维度对论文进行综合评价。Chen等^[9]将颠覆性指数与整合性指数相结合, 通过计算其平均值来增强评价的稳健性与全面性。为了排除高被引参考文献对颠覆性指数的干扰, Bornmann等^[10]采用了设定阈值的策略, 仅纳入引用达到某一数量焦点文献参考文献的论文。Deng等^[11]则提出了排除前X%高被引参考文献的方法以削弱其影响。针对参数 N_k 可能带来的计算偏差, Wu等^[12]提出了不依赖 N_k 的改进指标。Bu等^[13]采用文献耦合链接数与引用文献总数之

比, 衡量后续研究对早期成果的依赖程度。Shibayama等^[14]则通过计算引用文献与焦点文献参考文献之间的文献耦合链接比例来测度颠覆性指数。针对传统方法将所有引用文献等同对待的局限, 杨文霞等^[15]提出基于被引参考文献数量对j类文献加权的方法, 马瑞敏等^[16]则从论文引用、论文-专利引用及引用评论内容三维评价的角度提出了加权颠覆性指数计算方法。颠覆性指数还被逐渐应用于其他评价领域。例如: 杨心如等^[17]将其用于科研资助效果的测度与比较; 姜育彦等^[18]提出期刊颠覆性指数, 将颠覆性指数引入期刊评价体系。

总体上看, 对颠覆性指数计算方法的研究中, 国内外学者大多从论文局部引用结构中的各种影响因素入手加以改进, 但较少深入到文献深层结构特征的层面, 缺乏对更全面完整的引用结构特征的分析挖掘和应用研究。

三角引用关系是文献引用网络中一种普遍存在的特殊引用结构, 包含直接引用、共引关系及耦合关系3种关系(见图2)。在该结构中, 文献C同时直接引用文

1.2 三角引用关系

三角引用关系是文献引用网络中一种普遍存在的特殊引用结构, 包含直接引用、共引关系及耦合关系3种关系(见图2)。在该结构中, 文献C同时直接引用文

献A和文献B,文献B直接引用文献A。由此,文献A与文献B之间形成文献共引关系,文献B与文献C之间则构成文献耦合关系。

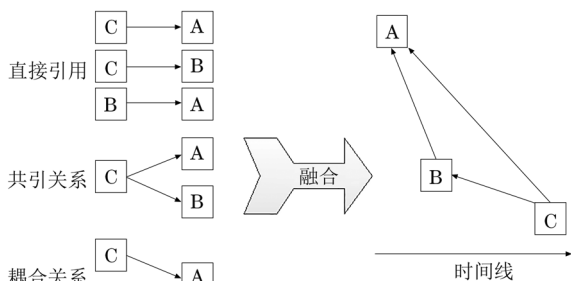


图2 三角引用结构

近年来,有关三角引用现象的研究取得了显著进展。刘运梅等^[19]深入探讨了三角引用结构中3种文献的角色特征及影响力,发现文献A通常表现出最高的被引强度、最早出现于参考文献列表,并且具有最多的正向情感化引用特征。此外,刘运梅等^[20]进一步分析了三角引用关系中施引行为的动机差异,指出“B→A”与“C→A”两种引用关系在本质上较为相似,但与“C→B”存在显著差异。杨文霞等^[21]则将三角引用结构细化为正向、双向和逆向3种类型,并通过实证发现这三类三角引用关系在实际引文网络中普遍存在。学者们普遍认为,三角引用的源头文献通常具有较高的学术价值和不可替代性,往往代表某一领域内更为重要且无法绕开的核心论文^[22]。

三角引用关系已成为引文网络计量分析中的一个新兴研究视角。Persson^[23]在综合考虑直接引用、共引关系与耦合关系的基础上,提出了加权直接引用指标。该方法整合了文献耦合与共引关系,是对传统直接引用测度的一种优化。随着学术评价体系与方法不断演进,三角引用理论已在科学计量、学术评价及科研诚信^[24]等领域发挥重要作用。

综上所述,当前论文颠覆性指数的计算主要依赖于焦点文献引用网络中的直接引用特征,即i类与j类文献的数量(其对焦点文献的直接引用频次)。然而,随着对三角引用关系研究的深入,这一特殊引用结构为引文强度的衡量提供了更为科学与合理的视角,有助于从同质化的引用网络中识别高影响力引用,从而为优化颠覆性指数的计算方法奠定理论基础。为此,本研究系统挖掘焦点文献与其施引文献之间的三角引用关系,引入加权机制对i类与j类文献进行权重调整,据此提出一

种加权颠覆性指数测度方法。研究成果为构建更加科学合理的文献创新性评价指标提供了新的路径。

2 论文颠覆性指数改进方法

现有研究^[25]指出,基于文献引用结构特征的颠覆性指数的影响因素包括焦点文献的参考文献数量、焦点文献的参考文献的被引频次、引用焦点文献的各类文献数量、文献的影响力等多种文献特征。学者们针对这些影响因素开展了大量的改进研究工作,提出了多种颠覆性指数改进变体。本研究聚焦于精准度量i类和j类文献的影响力,对颠覆性指数进行改进,以提高其创新性评估的科学性和准确性。

2.1 改进思路

在文献引文网络分析中,各节点的重要性不尽相同,因此为节点或边赋予相应权重,是提升引文分析科学性的重要手段。通过深入剖析焦点文献的引文网络结构,可以发现其中包含两类重要的三角引用关系。第一类由焦点文献、焦点文献的参考文献以及j类文献构成。在该结构中,焦点文献与j类文献共同引用了相同的参考文献,从而形成耦合关系。第二类由焦点文献、一篇i类文献以及另一篇i类或j类文献构成。该结构中,前两篇文献被后一篇文献同时引用,因此前两者之间形成共引关系。

基于上述结构特征,采用耦合关系计算j类文献的权重,并借助共引关系对i类文献进行赋权。通过对不同文献赋予差异化权重,能够更全面地揭示文献间的关联强度,从而有效提升颠覆性指数计算结果的科学性与准确性。

2.2 权重计算方法

2.2.1 基于文献耦合关系对j类文献加权

文献耦合指两篇文献共同引用同一篇参考文献,共享参考文献数量越多,二者研究内容越相似。该方法已广泛用于网络结构提取、影响力评估、引文推荐及前沿探测。邓启平等^[26]利用余弦系数对耦合关系加权,显著提升了相似性测度精度。卢超等^[27]则以引文被提及频次为内容权重,进一步优化了耦合网络分析,为量化文

献关联提供了新思路。

D指数将j类文献视作对焦点文献的巩固性研究,其数量越多,焦点文献的颠覆性越低。然而,现有方法把全部j类文献等同处理,忽视了不同j类文献与焦点文献在耦合强度上的差异。

为提高j类文献对焦点文献颠覆性创新程度的度量精度,基于三角引用结构中文献耦合关系的加权方法被用来改进 N_j 的计算方式。通过分析由焦点文献、j类文献及其共同参考文献所构成的三角引用关系(见图3)可以发现,j类文献对焦点文献参考文献的引用行为会形成特定的文献耦合效应。依据文献耦合理论,两篇文献共享的参考文献数量越多,其研究主题与内容上的相关性就越强,如图3中加粗的箭头所示。基于此,在j类文献的权重计算中引入文献耦合强度,依据每篇j类文献在三角引用结构中实际形成的耦合关系数量赋予相应权重,从而更准确地反映其在引用网络中的影响,进一步提升颠覆性指数计算结果的准确性。

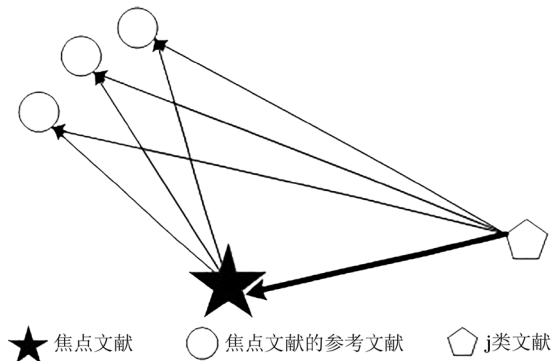


图3 文献耦合关系

基于文献[15],提出j类文献加权方法,具体规则如下:若一篇j类文献与焦点文献仅构成一次文献耦合,则其权重取1;若构成两次文献耦合,则权重降为1/2;依此类推,当两者构成n次文献耦合时,其权重降为1/n。改进后的 N_j 加权计算方法如式(2)所示。

$$N_j^w = \sum_{i=1}^{N_j} \frac{1}{C_i} \quad (2)$$

式中: C_i 表示第i篇j类文献与焦点文献构成的耦合频次,例如,在图3中,j类文献与焦点文献之间的耦合频次为3。

该方法通过引入权重因子,将j类文献对焦点文献的巩固作用与二者之间的耦合频次联系起来。耦合频次越多,表明该文献越能印证焦点文献的重要性。为

此,应适当削弱其发展性作用,增强其颠覆性效应,从而提升其创新性表现。这一机制有助于更合理地度量文献的颠覆性创新程度。

2.2.2 基于文献共引关系对i类文献加权

文献共引关系是指两篇或更多文献共同被后续一篇或多篇文献引用的现象。文献的共引频次越高,通常反映其在特定知识领域中的影响力越大。通过分析文献共引关系,可以揭示文献间的知识关联,描绘学科结构、发展态势,并识别研究前沿与趋势^[28]。学者们常采用Pearson相关系数、余弦系数、Jaccard系数、欧氏距离等方法来研究共引关系^[29]。

在D指数计算框架中,i类文献被视为焦点文献颠覆性创新的支持要素,其数量越多,通常认为焦点文献的颠覆性越强。然而,现有方法将所有i类文献等同处理,忽略了不同i类文献在引用结构上的差异及其对焦点文献支持强度的不同。

为提高焦点文献颠覆性创新程度度量的准确性,一种基于三角引用结构中文献共引关系的加权机制被用来改进 N_i 的计算方式。当一篇i类文献与焦点文献被另一篇i类或j类文献同时引用时,三者形成一个三角引用结构,此时焦点文献与i类文献之间构成共引关系(见图4)。根据文献共引理论,两篇文献共引频次越高,其研究主题的相关性通常越强。因此,在 N_i 的计算中引入共引关系作为权重依据,对每篇i类文献赋予相应权重,而不再简单计为1。这一改进能够更精确地反映i类文献对焦点文献创新性的支持强度,进而提升颠覆性指数计算的准确性。图4中的加粗箭头表示因共引关系而提升的支持强度。

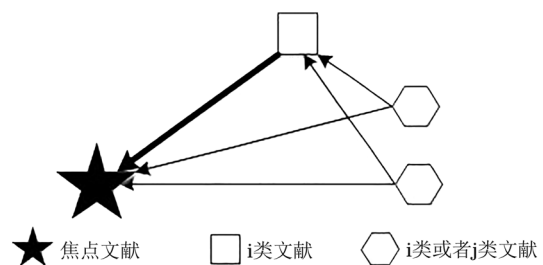


图4 文献共引关系

具体而言,在i类文献的加权计算中采用如下规则:若某篇i类文献与焦点文献构成一个三角引用结构,则其权重增加1/R,其中R为该结构中共同施引文献的参

考文献总数。每篇*i*类文献从三角引用特征中获得的权重增加量，为其所参与的全部三角引用结构所贡献权重的累加。改进后的 N_i^w 加权计算方法如式(3)所示。

$$N_i^w = \sum_{j=1}^{N_i} \left(1 + \sum_{k=1}^{T_j} \frac{1}{R_{j,k}} \right) \quad (3)$$

式中： T_j 表示第*j*篇*i*类文献与焦点文献构成的三角引用结构的数量； $R_{j,k}$ 表示在第*j*篇*i*类文献与焦点文献构成的第*k*个三角引用结构中，共同施引文献的参考文献数量。例如在图4中，*i*类文献与焦点文献之间构成了两个三角引用结构。

该方法通过引入基于共引关系的权重因子，将*i*类文献对焦点文献颠覆性创新的支持强度予以量化。二者构成的共引关系越多，相应*i*类文献所提供的创新支持作用就越强，从而能够更合理、更细致地度量焦点文献的颠覆性创新程度。

2.3 融合三角引用特征的颠覆性指数

通过将D指数计算模型中的参数 N_i 和 N_j ，分别替换为基于三角引用关系加权计算得到的 N_i^w 和 N_j^w ，对D指数的计算方法加以改进，构建了融合三角引用特征的加权颠覆性指数，记为WTD (Weighted Triangle Disruption) 指数，其计算方法如式(4)所示。

$$D^w = \frac{N_i^w - N_j^w}{N_i^w + N_j^w + N_k} \quad (4)$$

式中： N_i^w 是加权*i*类文献计量值，反映焦点文献对先前研究的替代程度； N_j^w 是加权*j*类文献计量值，表征焦点文献在当前研究领域中的巩固性发展程度。

通过引入基于三角引用关系的文献计量加权方法，所提加权颠覆性指数能够更细致地捕捉文献在引用网络中的角色与影响，从而更准确地表征焦点文献的颠覆性创新强度，同时有效弥补了传统计量方式中存在的若干局限。

3 实证研究

3.1 实验数据选取

以诺贝尔物理学奖获得者及其论文为研究对象，选取美国物理学会 (American Physical Society,

APS) 期刊论文数据集作为数据来源开展实证分析。诺贝尔奖获奖论文因其高度的创新性而被视为革命性科学成果的典型代表^[30]，因此可以用于检验颠覆性指数的实际评估效果。

实验使用的APS期刊论文数据集包含1893—2022年发表在APS旗下20种期刊上的720 535篇论文的元数据及9 833 191个引用关系。所有实证研究的指标计算均基于该数据集完成。实验使用的样本选取自Shen等^[31]整理的数据库，涵盖1995—2015年明确标注获奖论文且其获奖论文发表于APS期刊的诺贝尔物理学奖获得者，共包含25位获奖者以及21篇获奖论文。表1展示了实验样本数据的相关信息，包括获奖者姓名、获奖论文信息、获奖年度以及截至获奖年度在APS期刊上发表的论文总数。从中可以发现：2004年D. J. Gross和F. Wilczek因合著的“PhysRevLett.30.1343”获奖；1998年D. C. Tsui和H. L. Stormer因合作完成的论文“PhysRevLett.48.1559”获奖；1996年D. D. Osheroff、R. C. Richardson和D. M. Lee这3位科学家因共同发表的“PhysRevLett.28.885”获奖。

表1 样本数据相关信息

序号	获奖者姓名	获奖论文信息	获奖年度	获奖者论文总数/篇
1	P. W. Higgs	PhysRevLett.13.508	2013	3
2	F. Englert	PhysRevLett.13.321	2013	11
3	S. Haroche	PhysRevLett.77.4887	2012	61
4	D. J. Wineland	PhysRevLett.76.1796	2012	79
5	Y. Nambu	PhysRev.122.345	2008	21
6	A. Fert	PhysRevLett.61.2472	2007	62
7	P. Grunberg	PhysRevLett.57.2442	2007	20
8	R. J. Glauber	PhysRevLett.10.84	2005	36
9	J. L. Hall	PhysRevLett.84.5102	2005	36
10	D. J. Gross	PhysRevLett.30.1343	2004	56
11	F. Wilczek	PhysRevLett.30.1343	2004	90
12	H. D. Politzer	PhysRevLett.30.1346	2004	24
13	A. J. Leggett	PhysRevLett.29.1227	2003	36
14	R. Davis	PhysRevLett.20.1205	2002	36
15	W. Ketterle	PhysRevLett.75.3969	2001	19
16	R. B. Laughlin	PhysRevLett.50.1395	1998	39
17	D. C. Tsui	PhysRevLett.48.1559	1998	123
18	H. L. Stormer	PhysRevLett.48.1559	1998	34

续表

序号	获奖者姓名	获奖论文信息	获奖年度	获奖者论文总数/篇
19	S. Chu	PhysRevLett.55.48	1997	92
20	C. Cohen-Tannoudji	PhysRevLett.61.826	1997	16
21	W. D. Phillips	PhysRevLett.61.169	1997	25
22	D. D. Osheroff	Phys.RevLett.28.885	1996	30
23	R. C. Richardson	PhysRevLett.28.885	1996	25
24	D. M. Lee	PhysRevLett.28.885	1996	48
25	M. L. Perl	PhysRevLett.35.1489	1995	78

3.2 实验过程

对所提出的WTD指数与现有典型方法进行对比分析。实验过程分为3个阶段：①从APS期刊论文数据集中提取样本中每位诺贝尔奖获得者发表的论文集；②为论文集中每篇论文构建局部引用网络，为确保评估的客观性和公平性，在构建引用网络时仅选择发表时

间及引用时间均早于获奖者获奖年度的论文及其引用关系；③采用不同方法分别对诺贝尔奖获得者所发表的论文进行指数计算，以此验证各方法在识别获奖论文方面的实际效果。

参与对比分析的3种指数计算方法包括：D指数（见文献[5]），WD指数（见文献[15]），以及本文提出的WTD指数。同时，将被引频次纳入实验。通过对比分析，旨在验证所提方法的有效性和优越性。

3.3 实验结果分析

3.3.1 论文颠覆性指数计算结果分析

采用上述方法，分别对各诺贝尔奖获得者获奖论文的3种颠覆性指数进行计算，得到其评价指数及其在相应论文集中的排名（见表2）。需要说明的是，表2中的排名代表获奖论文的对应指数在获奖者论文集中的排序位置，排名为1表明该指数方法准确识别出了获奖论文。

从诺贝尔奖获得者的论文集中识别获奖论文时，

表2 获奖论文的3种颠覆性指数计算结果

获奖者姓名	N_i	N_j	N_k	D指数		WD指数		WTD指数				被引频次	
				数值	排名	数值	排名	N_i^w	N_j^w	数值	排名	频次	排名
A. Fert	516	203	198	0.341	2	0.364	2	654.474	213.045	0.448	2	719	1
A. J. Leggett	3	25	221	-0.088	34	-0.032	32	3.071	31.916	-0.031	32	28	10
C. Cohen-Tannoudji	60	20	107	0.214	2	0.235	2	69.510	21.646	0.272	1	80	1
D. C. Tsui	173	163	839	0.009	15	0.043	10	217.334	170.492	0.079	9	336	1
D. D. Osheroff	39	9	83	0.223	1	0.240	1	46.746	10.707	0.289	1	47	3
D. J. Gross	22	466	2 599	-0.144	55	-0.109	56	55.823	346.771	-0.097	56	488	1
D. J. Wineland	67	172	1 204	-0.073	71	-0.019	63	69.150	92.765	-0.017	62	239	2
D. M. Lee	38	9	83	0.223	4	0.240	4	46.746	7.200	0.289	3	47	3
F. Englert	188	69	1 787	0.058	2	0.070	1	200.659	46.400	0.076	1	257	1
F. Wilczek	22	466	2 599	-0.144	84	-0.109	86	55.823	346.771	-0.097	85	488	1
H. D. Politzer	42	465	1 293	-0.235	24	-0.215	24	79.887	419.533	-0.189	24	507	1
H. L. Stormer	173	163	839	0.009	3	0.043	1	217.334	124.450	0.079	1	336	1
J. L. Hall	13	13	23	0.000	8	0.089	4	13.500	9.000	0.099	4	26	7
M. L. Perl	93	82	323	0.022	16	0.053	13	100.533	67.417	0.067	10	175	1
P. Grunberg	312	26	58	0.722	1	0.727	1	388.204	25.000	0.771	1	338	1
P. W. Higgs	70	207	520	-0.172	3	-0.153	3	72.767	189.667	-0.149	3	277	1
R. B. Laughlin	247	277	300	-0.036	29	0.010	9	318.772	239.083	0.093	1	524	1

续表

获奖者姓名	N_i	N_j	N_k	D指数		WD指数		WTD指数				被引频次	
				数值	排名	数值	排名	N_i^w	N_j^w	数值	排名	频次	排名
R. C. Richardson	38	9	83	0.223	3	0.240	3	46.746	7.200	0.289	3	47	3
R. Davis	73	26	19	0.398	3	0.489	1	81.341	18.833	0.525	1	99	1
R. J. Glauber	152	4	4	0.925	1	0.925	1	194.296	4.000	0.941	1	156	5
S. Chu	17	39	123	-0.123	81	-0.070	76	19.146	28.875	-0.057	75	56	2
W. D. Phillips	33	32	98	0.006	7	0.050	6	36.760	25.250	0.072	6	65	1
S. Haroche	177	166	704	0.004	12	0.044	8	181.718	173.213	0.055	6	336	2
W. Ketterle	154	454	106	-0.420	19	-0.382	19	202.659	463.381	-0.288	19	608	1
Y. Nambu	743	90	670	0.434	2	0.442	2	947.389	92.471	0.509	2	833	1

获奖论文的排序越靠前,表明指数性能越优。表2的结果表明,WTD指数在识别获奖论文方面展现出显著优势。与WD指数相比,WTD指数在9位获奖者的获奖论文识别中排名更优。与D指数相比,WTD指数在14位获奖者的获奖论文识别中排名更优。

基于三角引用结构特征对*i*类与*j*类文献的加权方法,能够有效提升颠覆性指数在识别论文创新性方面的性能。通过挖掘*j*类文献与焦点文献之间的耦合关系,为不同*j*类文献赋予差异化权重,能合理反映不同*j*类文献对焦点文献创新性支持强度的差异。加权策略将*j*类文献的重要性与其构建的三角引用结构数量相关联,有助于抑制低质量与高冗余引用的影响。该机制使得*j*类文献引用焦点文献的参考文献越多,越能够削弱焦点文献的拓展性,进而增强其颠覆性特征。在*i*类文献方面,通过挖掘其与焦点文献之间的共引关系,加权方法可有效捕捉*i*类文献因三角引用结构而获得的影响力提升,从而放大高质量、高原创性引用的贡献,强化焦点文献在专业领域内的重要性。综上,本研究所提出的加权机制最终提升了颠覆性指数的准确性与有效性。

此外,计算结果显示,本研究所提方法在识别部分获奖者的获奖论文时,其排序结果不甚理想,未能充分体现其创新性。以获奖者D. J. Gross为例,在APS期刊论文数据集中,其获奖论文截至2004年的被引频次为488次,而在SCI数据库中被引频次达3 073次,Google Scholar中超过9 000次。由此可见,该获奖论文在APS期刊论文数据集中的引用数据覆盖有限,难以全面反映其实际影响力,这可能是本实验中相关指数排序效果不佳的主要原因。

3.3.2 平均排名和准确率分析

为了评估各颠覆性指数计算方法的有效性,采用平均排名和准确率两个指标进行分析。

首先,通过计算各方法的平均排名来衡量其有效性。平均排名 \bar{R} 定义为获奖论文在获奖者论文集中的平均排序位置,具体计算方法如式(5)所示

$$\bar{R} = \frac{\sum_{n=1}^N r_{\text{nobel}}(n)}{N} \quad (5)$$

式中: N 为诺贝尔奖获得者数量; $r_{\text{nobel}}(n)$ 为使用相应指数方法对第*n*位获奖者的论文集排序时,其获奖论文的排名值。

其次,准确率指标用于描述获奖论文在对应获奖者论文集中的首位出现比例,计算方法如式(6)所示。

$$P = \frac{\sum_{n=1}^N [r_{\text{nobel}}(n) = 1]}{N} \quad (6)$$

式中: $[\cdot]$ 为艾弗森括号,当获奖论文排序为1时, $[r_{\text{nobel}}(n) = 1]$ 取值为1,否则取值为0。

各颠覆性指数和被引频次的平均排名和准确率结果如表3所示,在识别获奖论文时,WTD指数比D指数与WD指数表现更优。其中,平均排名分别提升了15.15%与4.44%,准确率指标达到32.00%。这一结果反映出所采用的加权策略具有良好效果,成功识别出了更多的获奖论文,表明其创新性评价性能更优。但与被引频次指标相比,无论是在获奖论文的平均排名,还是在识别准确率上,WTD指数都还存在差距。

基于三角引用关系挖掘引用结构特征,能够更精

表3 获奖论文在各自论文集中的颠覆性指数指标分析

类别	平均排名	准确率/%
D指数	19.28	12.00
WD指数	17.12	24.00
WTD指数	16.36	32.00
被引频次	2.12	64.00

确地评估*i*类与*j*类文献对焦点文献创新性的重要支持作用,从而有效提升焦点文献在创新性评价中的排名。在识别获奖论文的任务中,WTD指数与WD指数相较于D指数均表现出显著提升,是验证对*j*类文献加权能

提高颠覆性指数有效性的最新证据。同时,WTD指数相较于WD指数的进一步改进,则证实了对*i*类文献进行加权计算具有重要价值与实际效果。

3.3.3 稳定性分析

为了验证各指数计算方法的整体性能,在用各方法对获奖者的论文集进行排序的基础上,统计不同排名区间包含的获奖论文数量。实验分别统计了前5位、前10位、前20位、前30位、前40位和前50位范围内的获奖论文总数,实验结果如图5所示。

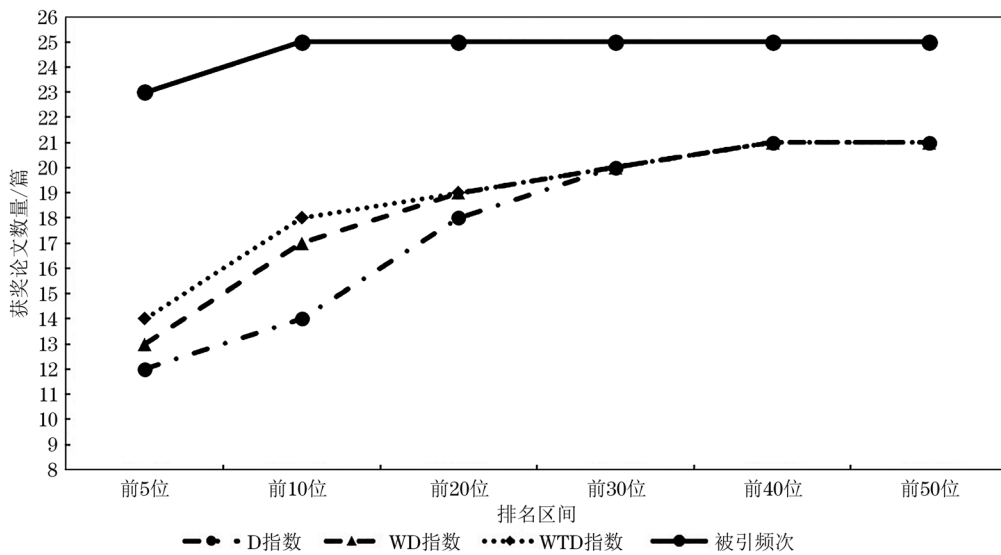


图5 获奖论文识别量分段统计

从图5可以看出,随着排名范围的扩大,覆盖的获奖论文数量逐步增加,从而直观地反映了各方法对获奖论文的识别能力。与D指数与WD指数相比,WTD指数识别表现更好,尤其在排名前20的范围内识别出的获奖论文数量超过其他方法。具体而言,在前5名与前10名区间,WTD指数识别出的获奖论文数量均高于其余方法。进入前20名区间时,WTD指数与WD指数识别出的论文数量相当,而D指数识别数量最少。随着排名范围继续扩大,WTD指数、D指数与WD指数识别出的获奖论文数量趋于一致。但总体而言,采用被引频次识别获奖论文更加有效。

3.3.4 指数统计特征分析

为了系统地分析各指数在评估论文创新性程度时

的数值分布特征,对指数计算结果进行了统计分析,分析结果如表4所示。表4展示了各颠覆性指数的极差、最小值、最大值、均值、标准差等统计指标。这些指标反映了不同指数对论文创新性程度评估能力的稳定性和差异性。

表4 获奖论文颠覆性指数的统计特征

类别	极差	最小值	最大值	均值	标准差
D指数	1.345	-0.420	0.925	0.095	0.299
WD指数	1.307	-0.382	0.925	0.128	0.291
WTD指数	1.229	-0.288	0.941	0.161	0.296

与D指数和WD指数相比,WTD指数具有最小的数值极差、最小的最小值与最大值;从数值中心位置来看,WTD指数计算方法增强了数据的集中趋势;在数值分散程度方面,WTD指数的结果比D指数更集中,但相

比WD指数略为分散。综合以上对数值分布的极差、极值、中心位置及分散程度等方面的分析，WTD指数与其他指数在数值统计特征上基本一致，表明其合理性。

3.3.5 指数间相关性分析

为了考查各指数计算方法之间的相关性特征，分析了各方法的Spearman秩相关系数，结果如表5所示。Spearman秩相关系数用于衡量变量间的关联强度和方向，其取值范围为-1~1，其中1表示完全正相关，-1表示完全负相关，0则表示无相关性。

表5 获奖论文颠覆性指数的Spearman秩相关系数

类别	D指数	WD指数	WTD指数
D指数	1.000	0.977**	0.954**
WD指数		1.000	0.965**
WTD指数			1.000

注：“**”表示相关性在0.01水平上显著（双尾检验）。

从表5中可看出，各指数间的Spearman秩相关系数均接近1，表明不同指数计算方法之间存在高度正相关关系，且所有相关性均在统计学上具有显著性。这一结果反映了各指数计算方法在评估论文颠覆性创新能力方面的一致性和稳定性。

4 结论

论文颠覆性指数是近年来学术评价和科研管理中用于衡量论文创新性的一种重要新兴指标。本研究针对D指数在计算过程中仅对直接引用关系进行简单计量分析、对所有引用文献等而视之等不足，在深入挖掘焦点文献构成的三角引用关系的基础上，融合三角引用结构特征，应用文献耦合关系对j类文献进行加权，利用文献共引关系对i类文献进行加权，从而构建出新的加权颠覆性指数。以1995—2015年诺贝尔物理学奖获得者及其在APS系列期刊上发表的论文为样本，进行了识别获奖论文的实证研究。研究发现，与传统计算方法相比，所提计算方法能够弥补D指数计算方法中的不足，在指数平均排名、识别准确率等评价指标上均表现出更好的获奖论文识别效果，能够更科学、准确地衡量论文的创新性。

本研究也存在一定的不足和局限：①实验样本中包含的诺贝尔物理学奖获得者人数较少，样本数量和范

围比较有限；②与经典的被引频次指标相比，改进方法对获奖论文的识别准确率仍然偏低。未来研究需要综合考虑多种颠覆性指数影响因素，如论文被引频次等，构建更加精细、高效的指数计算方法，进一步提高颠覆性指数识别论文创新性的准确性。

参考文献

- [1] 魏绪秋, 申力旭. 学术论文创新性研究述评[J]. 图书情报知识, 2022, 39 (4): 68-79.
- [2] 常霞, 魏绪秋, 张以迪, 等. 知识单元重组视角下的学术论文创新性评价研究[J]. 信息资源管理学报, 2025, 15 (4): 144-156.
- [3] 姜召昊, 魏绪秋, 张以迪. 基于创新过程的学术论文创新性评价研究[J]. 情报理论与实践, 2025, 48 (2): 66-74.
- [4] FUNK R J, OWEN-SMITH J. A dynamic network measure of technological change[J]. Management Science, 2016, 63 (3): 791-817.
- [5] 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.
- [6] 刘香, 刘向. 延续性和颠覆性创新专利在标题用词上的差异性研究[J]. 现代情报, 2025, 45 (8): 85-95.
- [7] 刘小慧, 沈哲思, 廖宇, 等. 科研论文颠覆性指数的改进及其影响因素研究[J]. 图书情报工作, 2020, 64 (24): 84-91.
- [8] LEYDESDORFF L, TEKLES A, BORNMANN L. A proposal to revise the disruption index[J]. El Profesional de la Información, 2021, 30 (1): 1699-2407.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] DENG N, ZENG A. Enhancing the robustness of the disruption metric against noise[J]. Scientometrics, 2023, 128 (4): 2419-2428.
- [12] WU Q, YAN Z Y. Solo citations, duet citations, and prelude citations: new measures of the disruption of academic papers[EB/OL]. [2025-11-12]. <https://arxiv.org/abs/1905.03461>.
- [13] 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.
- [14] SHIBAYAMA S, WANG J. Measuring originality in science[J]. *Scientometrics*, 2020, 122 (1): 409-427.
- [15] 杨文霞, 孔嘉, 闫晓慧, 等. 文献颠覆性创新测度: 权重颠覆性指数[J]. *图书情报工作*, 2024, 68 (5): 87-96.
- [16] 马瑞敏, 安鑫, 冯玉梅. 多维视角融合下论文颠覆性测度指数优化与实证研究[J]. *情报科学*, 2024, 42 (12): 126-133.
- [17] 杨心如, 刘雪立, 张紫璇. 我国四大科学基金资助效果评价: 基于论文颠覆性创新和影响力的研究[J]. *数字图书馆论坛*, 2025, 21 (5): 53-62.
- [18] 姜育彦, 刘雪立. 科技期刊的创新性评价指标: 期刊颠覆性指数 (JDI) 及其实证研究[J]. *中国科技期刊研究*, 2022, 33 (7): 965-972.
- [19] 刘运梅, 马费成. 面向全文本内容分析的文献三角引用现象研究[J]. *中国图书馆学报*, 2021, 47 (3): 84-99.
- [20] 刘运梅, 张帅, 司湘云, 等. 基于内容标注的三角引用动机研究方法探析[J]. *图书情报工作*, 2021, 65 (10): 48-55.
- [21] 杨文霞, 邓三鸿, 胡昊天, 等. 三角引用关系中文献位置的差异对比研究[J]. *信息资源管理学报*, 2024, 14 (1): 131-145.
- [22] 刘云, 桂秉修, 王小黎. 基于引文网络的颠覆性技术发展路径研究[J]. *科研管理*, 2022, 43 (11): 32-44.
- [23] PERSSON O. Identifying research themes with weighted direct citation links[J]. *Journal of Informetrics*, 2010, 4 (3): 415-422.
- [24] 刘运梅, 李冉, 盛小平. 隐形三角引用: 科学论文中的不规范引用行为[J]. *现代情报*, 2024, 44 (4): 127-141.
- [25] ZHANG Z Y, ZHANG J Y, WANG P S. Measurement of disruptive innovation and its validity based on improved disruption index[J]. *Scientometrics*, 2024, 129 (11): 6477-6531.
- [26] 邓启平, 陈卫静, 张玲玲, 等. 基于多维特征测度的人工智能领域研究前沿分析[J]. *情报杂志*, 2020, 39 (3): 56-62.
- [27] 卢超, 董克. 文献耦合网络的引文内容加权研究: 基于提及次数的方法[J]. *情报杂志*, 2022, 41 (11): 171-178.
- [28] 兰欣. 管理学视域下基于知识图谱的共情研究演进与发展趋势[J]. *领导科学*, 2024 (4): 45-56.
- [29] 步一, 刘天祯, 赵丹群, 等. 国外作者共引分析研究评述[J]. *情报杂志*, 2015, 34 (12): 48-53.
- [30] CHARLTON B G. Scientometric identification of elite 'revolutionary science' research institutions by analysis of trends in Nobel prizes 1947—2006[J]. *Medical Hypotheses*, 2007, 68 (5): 931-934.
- [31] SHEN H W, BARABÁSI A L. Collective credit allocation in science[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2014, 111 (34): 12325-12330.

作者简介

周朝阳, 男, 博士, 副研究馆员, 研究方向: 学术评价, E-mail: authar@163.com。
贺艳菊, 女, 硕士, 副研究馆员, 研究方向: 学科评价。

Improvement on Disruption Index of Papers Integrating Triangular Citation Structure Characteristics

ZHOU ZhaoYang^{1,2} HE YanJu¹

(1. Hubei University Library, Wuhan 430062, P. R. China; 2. School of History and Culture, Hubei University, Wuhan 430062, P. R. China)

Abstract: The disruption index is one of the latest indicators to measure the innovativeness of papers. The traditional calculation method based on the citation structure of literature only considers direct citation features, which cannot fully reflect the complete literature citation and knowledge transfer process in the academic innovation process. The disruption index integrating the characteristics of triangular citation structure helps to more comprehensively and accurately measure the citation intensity between papers, enhancing the scientificity and accuracy of the evaluation of academic paper innovativeness. Based on exploring the triangular citation relationships in literature, this study constructs a weighted disruption index calculation method. Firstly, based on the coupling characteristics, the literature that simultaneously cites the focal literature and its referenced literature is weighted. Using the co-citation characteristics, the literature that cites the focal literature but not its referenced literature is weighted. Then, the original disruption index calculation framework is optimized based on the weighted characteristic values. Finally, an empirical study is conducted using papers published by Nobel Prize winners in Physics in journals of American Physical Society from 1995 to 2015 as samples. Empirical results show that the method proposed in this study can enhance the accuracy and effectiveness of the disruption index, providing support for academic innovation evaluation.

Keywords: Disruption Index; Triangular Citation; Innovation Evaluation; Coupling Relationship; Co-Citation Relationship

(责任编辑: 常春)