科学领域的颠覆性论文影响力正在下降

An Zeng[1*], Ying Fan[1], ZengruDi[1], Yougui Wang[1], Shlomo Havlin[2], [†1] 中国北京北京师范大学系统科学学院。[2] 以色列拉马特甘52900，巴伊兰大学物理系。（日期：2023年5月8日）

arXiv:2305.03589v1 [cs.DL] 5 May 2023

影响力和原创性是评估科学出版物的两个关键维度，分别通过引用次数和颠覆性指标来衡量。尽管人们投入了大量精力来理解这些指标各自的统计特性及其演变，但二者之间的关系仍不清楚。本文研究了过去70年间科学论文的引用次数与颠覆性之间相关性的演变，出人意料地发现，这种相关性多年来呈下降趋势，从正相关转为负相关。因此，多年来，高被引论文中的颠覆性作品越来越少。这些结果表明，如今颠覆性较强的研究获得科学界的关注度较低。对论文参考文献的分析支持这一趋势：引用较早的参考文献、较不热门的参考文献和多样化参考文献的论文，获得的引用次数逐渐减少。关注度降低可能是由于科学领域的信息过载日益加剧，同时引用次数在衡量影响力方面变得愈发重要。研究领域中论文数量越多，引用次数与颠覆性之间的负相关越强，这一证据支持了上述观点。最后，我们通过分析并比较六个学科，展示了研究发现的普遍性。

* anzeng@bnu.edu.cn

† havlin@ophir.ph.biu.ac.il

I. 引言

创新是科学研究的一个关键特征 [1, 2]。为了加速科学领域的创新，人们付出了大量努力来评估科学研究的原创性，并了解与科学创造力相关的行为因素 [3–5]。近年，颠覆性指数被提出并得到广泛应用，用于量化单项研究的原创性 [6]。借助这一指标，研究发现，规模较小 [7], 、成员较新 [8] 且层级较扁平 [9]的团队通常与更具原创性的研究相关。此外，研究还揭示，规模较大的领域中，颠覆性通常较低 [10] ，而且随着时间推移，科学论文的颠覆性总体上呈下降趋势 [11]。

科学研究的另一个重要评价特征是其产出论文的影响力，这方面的研究开展已久 [12]。量化论文影响力最直接的方法是使用其被引次数 [26]。其他指标，例如期刊的影响因子 [27] 和研究人员的 H指数 [28] ，都以论文被引次数为基础。尽管被引次数简单且应用广泛，人们仍持续努力克服使用被引次数的缺陷 [12], ，由此产生了各种新指标，例如用于跨学科比较的重新缩放的被引次数 [13] ，以及用于研究时间演化的 C_{10} [14]。此外，还有 PageRank算法 [15] 及其变体 [16, 17] ，旨在通过引文网络中的迭代过程，考虑论文邻居的影响力，从而量化论文的影响力。近年，人们越来越关注理解影响力形成的机制 [18, 19]。相关例子包括用于刻画单篇论文引文演化的机制模型，以及用于研究科学家职业生涯中最具影响力作品的随机影响规则 [14] 和连胜现象 [20] 。

尽管已有研究致力于理解科学出版物的影响力与创新，但这两方面的影响力与颠覆性之间的关系仍不明确。迄今为止，文献中相关研究寥寥无几。由于创新在某种程度上与远距离知识的组合有关 [21, 22], ，非典型组合与科学影响力之间揭示出的联系表明，创新与影响力可能呈正相关 [23]。然而，一项关于科研团队的研究表明，规模较小的团队往往具有更高的颠覆性和更低的影响力 [7], ，这暗示创新与影响力可能呈负相关。一些近期研究表明，结合引用次数和颠覆性，可能有助于更准确地识别诺贝尔奖得主 [24] ，而诺-

贝尔奖获奖论文 [25]。在这一背景下，一些关键问题自然浮现。科学论文的创新与影响力之间有何关联？换言之，创新性很强的论文是否更容易受到关注？随着科学论文数量加速增长，创新与影响力之间的关系会随时间发生变化吗？

为解决这些问题，我们系统地研究了单篇论文的颠覆性与引用次数之间相关性的演变，发现这两个指标多年来呈现出越来越强的负相关。此外，我们发现，颠覆性作品的引用次数逐年低于平均水平，而高被引论文的颠覆性比低被引论文下降得更快。我们还使用参考文献年代、参考文献流行度和参考文献多样性作为衡量论文原创性的替代指标。我们发现，引用较早、较不热门且多样化参考文献的论文，获得的引用次数较少。研究发现，引用次数与颠覆性之间的负相关多年来不断增强，这可能与科学领域日益严重的信息过载有关。事实上，我们发现，发表论文越多的研究领域，引用次数与颠覆性之间的负相关越强。最后，我们表明，所发现的负相关持续增强这一现象具有普遍性，出现在六个不同学科中，包括物理学、计算机科学、化学、生物学、社会科学和多学科科学。

II. 结果

我们首先介绍本文所研究的两个关键指标，即引用次数和颠覆性。这两个指标的计算方法如图1所示。焦点论文的引用次数就是引用该论文的论文数量。较早发表的论文有更长的时间来积累引用次数。因此，为了使不同时间发表的论文具有可比性，本文始终使用 C_5 来衡量一篇论文的影响力，即该论文自发表以来5年内获得的引用次数。颠覆性是衡量一篇论文原创性的指标。一篇论文的颠覆性取值范围为 -1 至1，详细定义见方法。论文的颠覆性越高，表明引用该论文但不引用其参考文献的论文越多，这意味着该论文具有更高的原创性。为了与 C_5指数保持一致，在计算焦点论文的颠覆性时，我们仅考虑该论文发表后5年内的施引论文，并将其记为 D_5。图1还展示了这两个指标之间可能存在的关系。x-y平面中的浅橙色区域表示

引文与颠覆性之间存在正相关的可能性，这意味着高度原创的论文往往具有很高的影响力。浅蓝色区域表示引文与颠覆性之间存在负相关的可能性，这意味着高度原创的论文往往影响力不大。我们提出的第一个问题是：引文与颠覆性之间实际存在怎样的相关性?

为回答这一问题，我们分析了6个不同研究领域的科学出版物数据，包括物理学、计算机科学、化学、生物学、社会科学和多学科科学。每个领域的数据集都由代表该领域的主要期刊所发表的科学论文构成。方法部分对这些数据集作了完整说明。全文主要展示基于美国物理学会（APS）期刊数据得出的物理学领域研究结果；这些数据包含482,566篇论文，时间跨度为1893年至2010年。其他领域的结果与物理学领域类似，汇总见图6和补充图9–13。

我们首先在图 2a 中展示论文的引文 C_5 与颠覆性 D_5 值的散点图，并用一条曲线标示平均值。可以看到，散点遍布整个平面，曲线也相当平缓，这两点都表明，综合所有年份来看，这两个指标几乎不相关（皮尔逊相关系数为 -0.05）。在图 2b 中，我们分析某一年发表的论文，计算这些论文的引文与颠覆性之间的（皮尔逊）相关性，并将其称为年度相关性。得到每一年的年度相关性后，我们在图 2b 中展示了年度相关性的分布。此外，我们还展示了随机代理数据的结果，其中论文的发表年份经过随机重新排列。结果表明，尽管随机代理数据的分布较窄，但某些年份的经验相关性可能显著偏离替代分布，例如大于 0.1，甚至小于 -0.1。通过研究分布两端（即 ≤ -0.1 和≥ 0.1）数据点的平均年份，我们发现，右尾中的较大相关性出现在 1958 年前后，而左尾中的较小相关性出现在 2003 年前后。这促使我们考察引文与颠覆性之间的相关性如何随年份变化。事实上，在图 2c 中，我们计算了论文的平均颠覆度 D_5 随 C_5增大时的变化。我们比较了 1960 年以前发表的论文与 2000 年以后发表的论文的曲线。有意思的是，可以看到，这两个指标在早期年份呈正相关，而在近年呈负相关。为确认这一差异，我们在图

2d 中直接展示了所有研究年份的年度相关性变化。我们从 1950 年开始考察相关性的变化，因为 1950 年以前的数据太少，无法得出稳健的统计结果。从图 2d 可以看出，三种相关系数（即皮尔逊、斯皮尔曼和肯德尔相关系数）均呈现明显的下降趋势。这一结果表明，原创性很高的论文往往影响力较小，随着时间推移受到的关注度也较低。

我们注意到，引用次数较少的论文可能仅仅因为引用次数少而具有极端的颠覆性数值，如图2a所示。为避免这种人为效应影响总体趋势，我们在补充图2中仅针对至少有10次引用的论文，计算颠覆性与引文之间相关性的变化。相关性的下降趋势仍然显著。为进一步支持观察到的趋势，我们还在补充图2中考察了随机代理数据情形：论文的发表年份被随机重新排列。在这一受控代理数据中，所有相关系数都变得平坦，这表明实证数据中的原始下降趋势确实是真实存在的模式。此外，由于颠覆性数值强烈依赖于参考文献数量，[11], 我们在补充图3中考察了控制论文参考文献数量后的结果。移除这些因素的影响后，我们仍得到了类似的下降趋势。

为更好地理解这些年来引文与颠覆性之间相关性的下降，我们直接研究颠覆性论文的引用次数。我们首先在图2e中分别比较1960年之前所有论文的引文自助抽样 C_5 分布，以及1960年之前具有正颠覆性的论文的引文自助抽样 $D_5 > 0$分布。显然，1960年之前的颠覆性论文引用次数高于平均水平。另一方面，当我们比较2000年之后论文的引文自助抽样 C_5 分布时，发现颠覆性论文获得的引用次数低于平均水平。为量化这一效应，我们计算了一个称为相对引文数 C_5 的指标，它等于某一年发表的、具有 $D_5 > 0$ 或 $D_5 < 0$ 的论文的平均引文数 C_5 除以该年所有论文的平均引文数。我们在图2f中展示了相对引文数的变化。可以看出， $D_5 < 0$ 论文的相对引文数逐年稳步上升，而 $D_5 > 0$ 论文的相对引文数则大幅下降。综上，颠覆性论文的影响力确实在逐渐减弱。

一篇近期论文揭示，论文的颠覆性会随着年份推移而降低 [11]。我们在图3a中展示了所有论文的颠覆性变化，以及高影响力论文（被引次数排名前10%的论文在

C_5）论文和 C_5）中引用次数最低的 10% 论文。可以看出，总体下降趋势与参考文献 [11], 一致；然而，高影响力论文的颠覆性下降得快得多。另一方面，低影响力论文的颠覆性呈现出的下降趋势则不那么显著。因此，早期年份中高影响力论文的颠覆性高于低影响力论文，而近年则恰恰相反。对于统计结果，我们分析了每年C_5 不同百分位数的论文，并在图3b中计算了 2000年之后论文的平均颠覆性与 1960年之前论文的平均颠覆性之差。可以看出，对于低 C_5 百分位数的论文，下降趋势确实不那么显著。为支持这些发现，我们在图3c中展示了 $D_5 > 0$ 论文占比的变化。与图3a中的趋势一致， $D_5 > 0$ 论文的占比随年份下降，而且高被引论文中的这一占比相比其他论文下降得快得多。统计结果见图 3d，其中 $D_5 > 0$ 论文占比的下降对于低 C_5 百分位数的论文确实不那么显著。由于论文的参考文献数量是影响其颠覆性值的重要因素 [11], ，我们在补充材料图4中研究了高影响力和低影响力论文颠覆性的变化，并仅考虑 APS 数据中参考文献数量相近的论文。可以看到，高影响力论文的颠覆性仍随年份下降，而低影响力论文的颠覆性则随时间甚至略有上升趋势。

由于论文颠覆性的计算涉及施引论文的信息，人们可能会想知道，颠覆性与引用次数之间的相关性呈下降趋势，是否是因为这两个指标共享了施引论文的信息。为了解决这个问题，我们考虑了另外三个已被证明与论文原创性相关的指标 [7,11, 23] ，但它们的计算完全依赖于论文参考文献（因此与引用次数完全无关）。这三个指标是参考文献年代、参考文献流行度和参考文献多样性。通常，创新性很强的论文往往会深入挖掘已有论文，因此可能会从较早的参考文献和较不热门的参考文献中发现思想或方法 [7]。此外，创新性很强的论文可能倾向于结合不同领域的知识，因此可能会引用多样化的参考文献 [11, 23]。参考文献年代和参考文献流行度的定义很直观。参考文献年代就是焦点论文的发表年份与其参考文献发表年份之间差值的平均值。参考文献流行度是焦点论文的参考文献的平均值 C_5 。参考文献多样性衡量论文的参考文献有多么不同寻常。

合并后，应首先计算一个量：将论文的每对参考文献在文献中被共同引用的频次加一后取倒数；论文的参考文献多样性则是该论文所有参考文献对对应这一数值的平均值（数学定义见方法）。这些指标的基本统计数据见补充图5。在图4a–c中，我们分别展示了论文的引用次数 C_5 与参考文献年代、论文的引用次数 C_5与参考文献流行度，以及论文的引用次数 C_5 与参考文献多样性之间的相关性随年份的变化。可以看出，这些结果与我们先前的发现一致。多年来，引用次数与参考文献年代之间的相关性逐渐减弱（图4a），引用次数与参考文献流行度之间的相关性逐渐增强（图4b），引用次数与参考文献多样性之间的相关性逐渐减弱（图4c）。为进一步支持这些趋势，我们在图4d中展示了1960年以前发表的论文的引文自助抽样 C_5 分布，以及其中参考文献年代较高的一半论文的分布。作为比较，我们也展示了2000年以后发表的论文的相同分布。比较早期年份与近年的结果可以看出，参考文献年代较高（类似于创新性较高）的论文，其引用次数相较平均水平呈现出越来越低的趋势。在图4e和4f中，我们分别展示了参考文献流行度较低的论文和参考文献多样性较高的论文的类似结果，并观察到它们的引用次数也随年份推移而越来越低于平均水平。这些趋势再次表明，高度创新的论文获得的引用次数越来越少。

颠覆性作品受到的关注度日益下降，表现为其引用次数低于平均水平，这是一个复杂现象，可能由多种因素造成。一个可能的因素是，科学论文数量不断增加，导致科学领域出现信息过载。面对每年发表的大量论文，科学家无法逐篇阅读并找出颠覆性很强的作品。相比之下，引文是一个简单的指数，可以从许多渠道轻易获得，因此，新的引用更可能给予已被引用的论文，而非创新论文 [29]。为检验这一假设并通过实证识别这一信号，我们在图5a中研究了各年份已发表论文的数量，发现新论文数量呈指数增长。在图5b中，我们分析了所有2000年发表的论文，并展示这些论文在发表后的第一个5年（2001年至2005年） $\Delta k_{\mathrm{first}}$ 与第二个5年（2006年至2010年） $\Delta k_{\mathrm{second}}$获得的引用次数。对角线平均曲线证实了优先连接机制 [30]。为了量化

优先连接效应的显著性，我们直接研究了 $\Delta k_{\mathrm{first}}$ 与$\Delta k_{\mathrm{second}}$之间的皮尔逊相关，并在图5c中通过分析不同年份发表的论文，展示相关性随时间的变化。结果表明，随着时间推移，相关性持续增强。插图显示，被引次数最高的1%论文所占年度引用份额随时间增加 [31]。在补充图6中，我们还展示了颠覆性最高的10%论文所占年度引用份额随时间下降。似乎可以认为，随着引用优先依附效应日益增强，其他因素（例如颠覆性）在吸引未来引用方面所发挥的作用变得越来越不显著。

上述结果促使我们考察物理学中规模不同的研究领域。在 APS 数据中，研究领域由物理学与天文学分类方案（PACS）代码自然界定，这些代码由作者选取，用于标识其论文所属的领域。每个领域的规模就是采用相应代码的论文数量。图5d显示，领域规模的分布呈指数形式。插图显示，在较大的领域中，被引次数最高的1%论文所占的引用份额通常更大。图5e中，我们研究了不同规模领域内论文的引文 C_5 与颠覆性D_5 之间的相关性，发现这种相关性随领域规模增大而降低。图5f中，我们展示了不同规模领域内 C_5 较大的50%论文与 D_5 较小的50%论文的相对引用次数 D_5 。可以看出，在较大的领域中，颠覆性更强的作品往往比平均水平获得更少的引用次数。这些结果表明，较大领域中更严重的论文过载确实会降低颠覆性作品获得的关注度。

为检验我们关于高创新性论文受到的关注度较低这一发现是否具有普遍性，我们调查了六个学科的数据集，包括物理学、计算机科学、化学、生物学、社会科学和多学科科学。这些领域的结果汇总于图6和补充图9–13中。在图6中，我们比较了早期年份和近年引文数 C_5 与颠覆性 D_5 之间的皮尔逊相关。可以看到，所有学科的相关性在近年都明显下降。补充图7中的移位相关清楚地显示了相关性的显著性。此外，我们还展示了补充图8中的斯皮尔曼和肯德尔秩相关，两者在所有学科中都呈现出明显的下降趋势。在图6下图中，我们还展示了早期年份和近年具有正颠覆性 $D_5 > 0$ 论文的相对引文数。与图6上图中的结果一致，

可以观察到，颠覆性论文的相对引用次数随时间推移呈现出明显的下降趋势。综合来看，颠覆性作品关注度下降这一现象似乎普遍存在于各个学科之中。

III. 讨论

总之，我们研究了科学出版物的创新与影响力之间的关系，发现多年来二者的相关性显著下降，并趋向更强的负值。近年来，颠覆性作品的引用次数低于平均水平，而且在高被引论文中，颠覆性作品所占的比例持续下降。为进一步支持这一趋势，我们利用完全基于论文参考文献的创新相关指标，考察了相关性的演变。我们发现，这些指标与论文影响力之间的相关性呈现一致的下降趋势。我们还发现，多年来引用与颠覆性之间日益增强的负相关性，部分原因可能是论文数量快速增长，从而使引用优先依附的作用更加显著。最后，我们比较了六个学科，包括物理学、计算机科学、化学、生物学、社会科学和多学科科学。在所研究的所有领域中，我们都观察到颠覆性论文的影响力随时间推移而持续下降的趋势。

Park 等人最近发表的一篇论文 [11] 惊人地发现，科学论文和专利随着时间推移正变得不那么具有颠覆性。我们的发现可能揭示了这一意外现象的潜在成因。如今，科学领域的信息过载日益严重。因此，科学家不可能读完自己领域内的所有文章。容易且即时获取的引文指标及其变体，通常被用来筛选需要仔细阅读和引用的论文。此外，在faculty招聘、经费申请和认可（例如奖项）等各类活动所带来益处的驱动下，引用次数在科学领域发挥着日益重要的作用。因此，许多科学家竭尽全力提高自己论文的引用次数。与此同时，科学期刊旨在接收可能获得较高引用次数的论文，以提高其影响因子。因此，如今引文与颠覆性可能呈负相关，这意味着如果发表颠覆性研究成果，其引用次数就会较低。在这种情况下，开展高度原创和创新研究的动力逐渐减弱，导致观察到的下降……

多年来科学论文的颠覆性 [11]。

基于这项工作，还可以进行若干拓展。一种直接的拓展是研究影响因子较高的期刊是否确实发表了更多创新性的突破性作品。这可能会改变人们利用影响因子评估科学期刊乃至论文的主导做法 [32]。此外，引文与颠覆性之间的负相关，也对当前主要依据引用次数评估科学家的体系提出了挑战。因此，H指数 [28]和总引用次数等指标只能衡量科学家的影响力，无法衡量其创造力和创新能力。因此，我们需要一种能够自然结合这两个方面的更全面的评估方式。我们的研究对决策者也具有重要意义。我们研究可能得出的结论是，要鼓励和激励科学家开展更多颠覆性作品，促进颠覆性作品的影响力或许更为有效。一旦颠覆性作品得到推广并获得认可与支持，就可能受到更多关注。这样的综合措施将鼓励和激励科学家开展颠覆性作品，从而更有效地推动科学领域的边界向前拓展。

IV. 方法

数据。本文研究了六个大规模数据集，涵盖物理学、化学、生物学、计算机科学、社会科学和多学科科学。物理学数据集由美国物理学会（APS）期刊的科学出版物数据组成，包含482,566篇论文，时间范围为1893年至2010年。计算机科学数据通过从在线网络数据库中提取科学家的个人资料获得，包含2,092,356篇论文，时间范围为1948年至2014年。化学数据集包含美国化学学会（ACS）期刊的出版数据，共有1,320,333篇论文，时间范围为1879年至2020年。生物学数据集包含Cell出版集团旗下期刊的出版数据，共有154,233篇论文，时间范围为2003年至2020年。社会科学数据集包含SAGE出版集团旗下期刊的出版数据，共有1,354,511篇论文，时间范围为1965年至2020年。多学科科学数据集包含五种具有代表性的多学科期刊中的所有论文，包括《自然》、《科学》、《美国国家科学院院刊》（PNAS）、《自然·通讯》和《科学进展》。该数据集由633,808篇论文组成。

年份从1869年到2020年的论文。化学、生物学、社会科学和多学科科学的数据，是根据从 Microsoft Academic Graph [34] 免费下载的大型发表数据集中论文的数字对象标识符提取的。

颠覆性。颠覆性是一种用于衡量单篇论文或所提出模式原创性的指数 [6]。它是一项局部指标，仅利用引文网络中焦点论文相邻节点的信息来评估其原创性。基本思想是：颠覆性较强的论文，其施引论文中引用了该论文参考文献的比例应较低；巩固型论文则相反，见图1。要计算一篇焦点论文的颠覆性，首先应计算其施引论文中未引用该论文参考文献的数量，与引用了该论文参考文献的数量之差。颠覆性指数的计算方法是：将这一差值除以施引论文数量与焦点论文的后续论文数量之和；后续论文须满足不引用焦点论文、但引用其参考文献。相应地，颠覆性的取值范围为 -1 至 1。颠覆性越高，表明论文的原创性越强。请注意，我们的分析排除了没有引文或没有参考文献的论文，因为无法评估它们的颠覆性。由于论文的颠覆性取决于其施引论文的情况，而施引论文通常会随时间增加，为确保不同年份发表的焦点论文具有可比性，我们仅考虑其发表后5年内的施引论文和后续论文。我们将该指数记为 D_5。D_{10} 和 D_{15} 的结果与 D_5相似，详见补充图1。

参考文献多样性。有研究指出，高度创新的论文与现有知识的非典型组合相关 [21, 22], ，即通常不会被同时引用的桥接参考文献 [23]。基于这一概念，我们采用一个称为参考文献多样性的指数。将焦点论文的两篇参考文献（i 和 j）在历史上的共被引次数记为 n_{ij}，该焦点论文的参考文献多样性被简单定义为其每一对参考文献的 $1/(1+n_{ij})$ 的平均值。参考文献多样性指数的取值范围为0至1，数值越高，表示该论文的参考文献在现有文献中越不常被共同引用。

自助法引文。我们比较某一年发表的高颠覆性作品的平均引文数 C_5 与该年发表的所有论文的平均引文数 C_5 。

自助法过程可以说明均值之间的差异是否足够显著。自助法引文是通过对论文的引文进行随机抽样得到的，每篇论文的引文被选中的机会相同，并且可以被重复选中。通过对自助法引文进行 10,000 次实现样本，得到了这些分布。两个分布完全不重叠，说明两个均值之间的差异显著。

数据可用性。本文使用的数据集均可公开获取。APS 数据可通过向 https://journals.aps.org/datasets 提交申请获取，AMiner 数据可通过 https://www.aminer.cn/aminernetwork 免费下载，Microsoft Academic Graph 数据则可通过 https://doi.org/10.5281/zenodo.2628216 在 Zenodo 获取。

代码可用性。用于数据处理和分析的计算代码可向通讯作者索取。

[1] Zeng, A., 等。《科学学：复杂系统视角》，《物理报告》714-715, 1-73 (2017)。[2] Fortunato, S., 等。科学学，《科学》359, eaao0185 (2018)。[3] Jones, B. F., & Weinberg, B. A. 科学创造力的年龄动态，《美国国家科学院院刊》108, 18910 (2011)。[4] Uzzi, B. & Spiro, J. 合作与创造力：小世界问题。《美国社会学杂志》111, 447-504 (2005)。[5] Azoulay, P., Graff Zivin, J. S. & Manso, G. 激励与创造力：来自学术生命科学的证据。《兰德经济学杂志》42, 527-554 (2011)。[6] Funk, R. J. & Owen-Smith, J. 技术变革的动态网络测度。《管理科学》63, 791-817 (2017)。[7] Wu, L., Wang, D. & Evans, J. A. 大型团队推动科学与技术发展，小型团队颠覆科学与技术。《自然》566, 378 (2019)。[8] Zeng, A., Fan, Y., Di, Z., Wang, Y. & Havlin, S. 新团队与原创性、多学科研究相关联。《自然·人类行为》5, 1314-1322 (2021)。[9] Xu, F., Wu, L. & Evans, J. 扁平化团队推动科学创新。《美国国家科学院院刊》119, e2200927119 (2022)。[10] Chu, J., Evans, J. 大型科学领域的典范进展放缓。《美国国家科学院院刊》118, e2021636118 (2021)。[11] Park, M., Leahey, E. & Funk, R. J. 论文和专利随着时间推移变得越来越不具颠覆性。《自然》613, 138 (2023)。[12] Waltman, L. 引文影响力指标文献综述。《信息计量学杂志》10, 365-391 (2016)。[13] Radicchi, F., Fortunato, S. & Castellano, C. 引文分布的普适性：迈向科学影响力的客观测度。《美国国家科学院院刊》105, 17268-17272 (2008)。[14] Sinatra, R., 等。量化个人科学影响力的演变。《科学》354, aaf5239 (2016)。[15] Chen, P., Xie, H., Maslov, S. & Redner, S. 利用谷歌PageRank算法发现科学瑰宝。《信息计量学杂志》1, 8-15 (2007)。

[16] Gleich, D. F. 网页之外的 PageRank，《SIAM评论》57，321-363（2015）。[17] Ermann, L., Frahm, K. M. & Shepelyansky, D. L. 有向网络的谷歌矩阵分析，《现代物理评论》87，1261-1310（2016）。[18] Wang, D., Song, C. & Barabasi, A.-L. 量化长期科学影响力，《科学》342，127-132（2013）。[19] Zeng, A., Fan, Y., Di, Z., Wang, Y. & Havlin, 有影响力的科学家更倾向于让合作者参与新主题，《美国国家科学院院刊》119，e2207436119（2022）。[20] Liu, L., 等。艺术、文化与科研生涯中的高产期，《自然》559，396（2018）。[21] Youn, H., Bettencourt, L. M. A., Strumsky D. & Lobo, J. 发明作为一种组合过程：来自美国专利的证据，《英国皇家学会界面杂志》12，20150272（2015）。[22] Sood, V. Mathieu, M., Shreim, A., Grassberger P. & Paczuski, M. 将相互作用分枝过程作为创新的简单模型，《物理评论快报》105，178701（2010）。[23] Uzzi, B., Mukherjee, S., Stringer, M. & Jones, B. 非典型组合与科学影响力，《科学》342，468（2013）。[24] Wang, R., Zhou, Y. & Zeng, A. 通过代表性作品的引文与颠覆性评价科学家，《科学计量学》（2023）https://doi.org/10.1007/s11192-023-04631-7。[25] Wei, C., Li, J. & Shi, D. 量化革命性发现：来自诺贝尔奖获奖论文的证据，《信息处理与管理》30，103252（2023）。[26] Redner, S. 你的论文有多受欢迎？引文分布的实证研究，《欧洲物理学杂志B辑》4，131-134（1998）。[27] Garfield, E. 引文分析作为期刊评价工具，《科学》178，471-479（1972）。[28] Hirsch, J. E. 用于量化个人科学研究产出的指数，《美国国家科学院院刊》102，16569-16572（2005）。[29] Newman, M. E. J. 科学出版中的先发优势，《欧洲物理快报》86，68001-68006（2009）。[30] Barabasi, A.-L. & Albert, R. 随机网络中标度律的涌现，《科学》286，509-512（1999）。[31] Barabasi, A.-L., Song C. & Wang, D. 少数论文主导引文，《自然》491，40（2012）。[32] Hicks, D., Wouters, P., Waltman, L., De Rijcke, S. & Rafols, I. 科研指标莱顿宣言，《自然》520，429（2015）。

[33] Tang, J. 等。ArnetMiner：学术社交网络的抽取与挖掘。载于第十四届 ACM SIGKDD知识发现与数据挖掘国际会议论文集（SIGKDD’2008），990-998（2008）。

[34] Sinha, A., Shen, Z., Song, Y., Ma, H., Eide, D., Hsu, B. & Wang. K.《微软学术服务》（MA）及其应用概述。载于第24届万维网国际会议（WWW ’15 Companion）论文集。243-246（2015）。

致谢。
本研究得到国家自然科学基金委员会资助，项目编号为（72274020 和 L2224029）。本研究还获得欧盟地平线欧洲计划 OMINO 项目资助（项目编号 101086321）。然而，文中表达的观点和意见仅代表作者本人，不一定反映欧盟或欧洲研究执行机构的立场。欧盟和欧洲研究执行机构均不对这些观点和意见承担责任。

作者贡献。

AZ、SH设计了研究，AZ进行了实验，YF、ZD、YW提供了分析工具，AZ、SH分析了数据，所有作者共同撰写了稿件。

利益冲突。

作者声明不存在任何利益冲突。

V. 图表

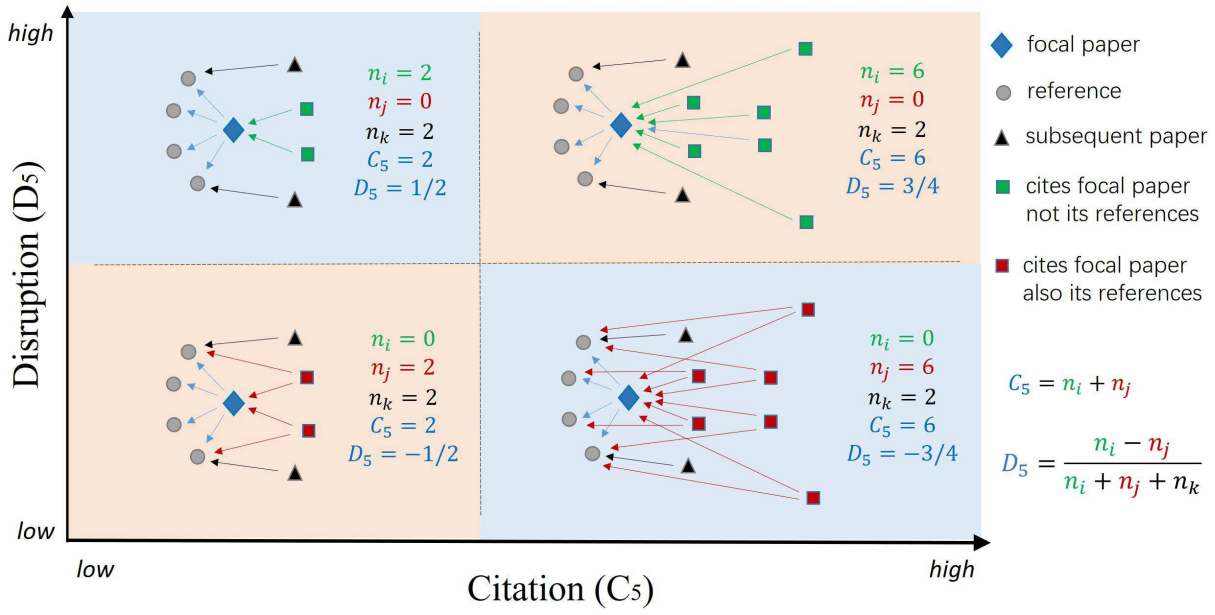


图 1：引文与颠覆性之间可能关系的示意图。x轴

表示焦点论文的引用次数，而y轴表示该论文的颠覆性指数值。我们将x-y平面划分为四个区域，并在每个区域中使用一个示例引文网络，展示论文相应引用值和颠覆性值的计算过程。每个示例网络都由一篇焦点论文（菱形）、其参考文献（圆形）以及引用该论文的施引论文（方形）组成。后续论文（以三角形标记）是指未引用焦点论文、但引用了其参考文献的论文。由于较早发表的焦点论文有更长的时间积累引用次数，因此我们仅考虑焦点论文发表后5年内的施引论文和后续论文。焦点论文的引用次数 C_5 就是引用该论文的论文数量，用于衡量该论文的影响力。焦点论文的颠覆性 D_5 是一个衡量论文原创性的比率。要计算焦点论文的颠覆性，首先应计算其施引论文中未引用其参考文献的论文数量与引用其参考文献的论文数量之间的差值。然后，将这一差值除以其所有施引论文与后续论文的总数，即可得到颠覆性值。这四个区域采用两种背景颜色，其中浅橙色区域表示引用次数与颠覆性之间可能存在正相关（原创性较高的论文往往具有较高的影响力），而浅蓝色区域表示引用次数与颠覆性之间可能存在负相关（原创性较高的论文往往影响力较小）。

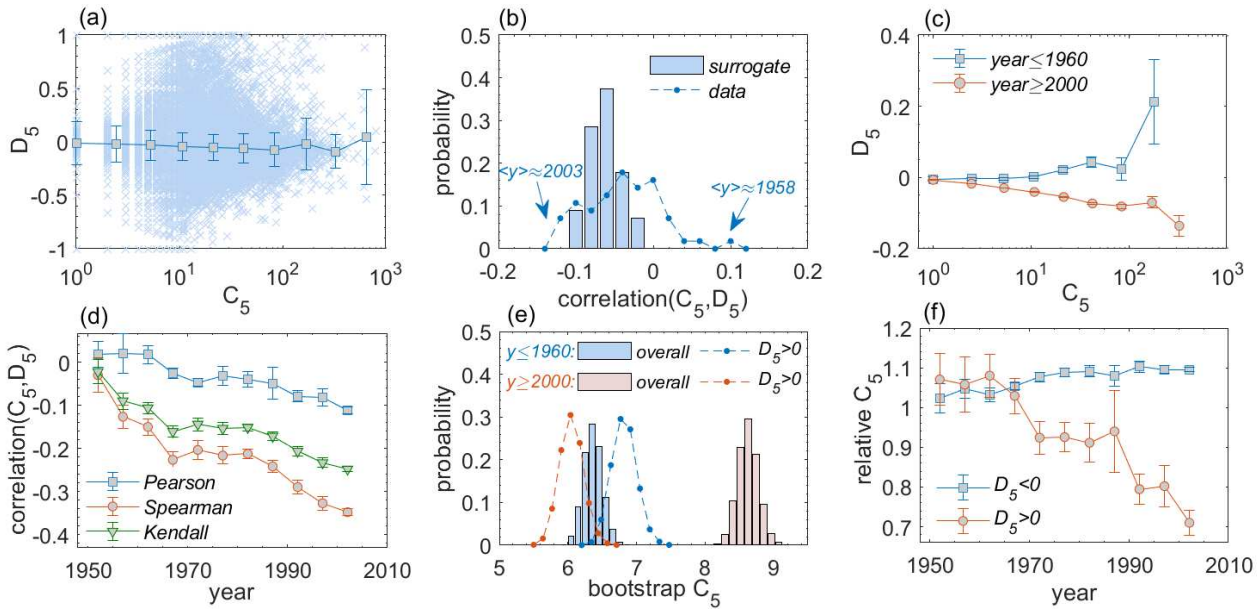


图 2：颠覆性与引文之间相关性的演变。(a) 论文的引文 C_5 与颠覆性 D_5 值的散点图，每个点表示一篇论文的结果。曲线标示了具有不同引用次数的论文的平均颠覆度 D_5 。(b) 按年份计算的引文 C_5 与颠覆性 D_5之间（皮尔逊）相关性的分布，其中每个相关性仅根据某一年发表的论文计算。箭头分别表示尾部（即 ≤ -0.1 或 ≥ 0.1）数据点的平均年份。明显更窄的替代分布是随机化情形的结果，其中论文的发表年份经过随机重新排列。真实结果与替代结果之间分布差异的柯尔莫戈洛夫–斯米尔诺夫检验结果为 $p < 0.001$。(c) 分别针对 1960年以前和 2000年以后发表的论文，展示具有不同引用次数的论文的平均颠覆度 D_5 。(d) 展示不同年份发表的论文中，引文 C_5 与颠覆性 D_5之间（皮尔逊、斯皮尔曼、肯德尔）相关性的演变。(e) 分别展示 1960年以前发表的论文（总体）以及其中具有正颠覆性的论文子集（$D_5 > 0$）的 10,000 个引文自助抽样实现样本的分布。作为比较，我们还分别展示 2000年以后发表的论文（总体）以及其中具有正颠覆性的论文子集（$D_5 > 0$）的 10,000 个引文自助抽样实现样本的分布。总体与 $D_5 > 0$ 之间分布差异的柯尔莫戈洛夫–斯米尔诺夫检验结果为：对于 $y \leq 1960$ 和 $y \geq 2000$，均为 $p < 0.001$ 。(f) 展示在某一年发表的 $D_5 < 0$ 和 $D_5 > 0$论文的相对引用次数 C_5 的变化，相对于该年发表的所有论文的平均引文数计算。请注意颠覆性论文的引用次数急剧下降（$D_5 > 0$）。

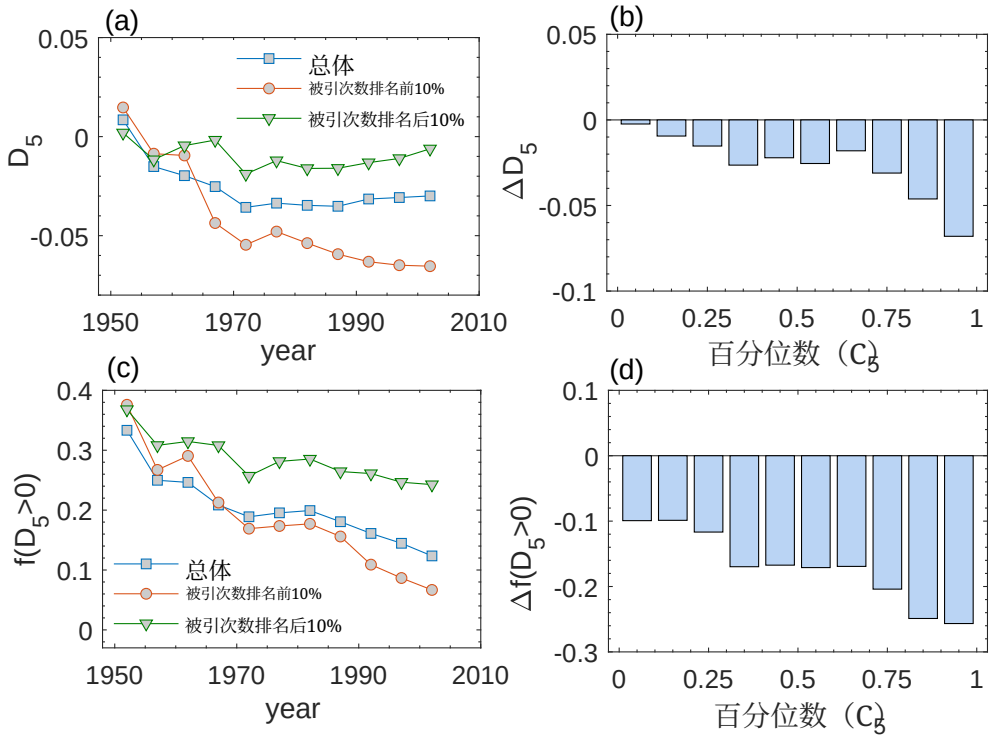


图3：不同影响力论文的颠覆性效应逐渐减弱。(a) 分别展示每年所有论文、被引次数排名前10%的 C_5 论文和被引次数排名后10%的 C_5 论文的颠覆性变化。(b) 不同 C_5百分位数论文的 ΔD_5（即 $\langle D_5 \rangle$ 在2000年之后与 $\langle D_5 \rangle$ 在1960年之前的差值）。(c) 分别展示每年所有论文、被引次数排名前10%的 C_5 论文和被引次数排名后10%的 C_5 论文中具有 $D_5 > 0$ 的论文比例，即f（$D_5 > 0$）。(d) 不同 C_5百分位数论文的 Δf（$D_5 > 0$）（即 $\langle f$（$D_5 > 0$）在2000年之后与$\langle f$（$D_5 > 0$）在1960年之前的差值）。

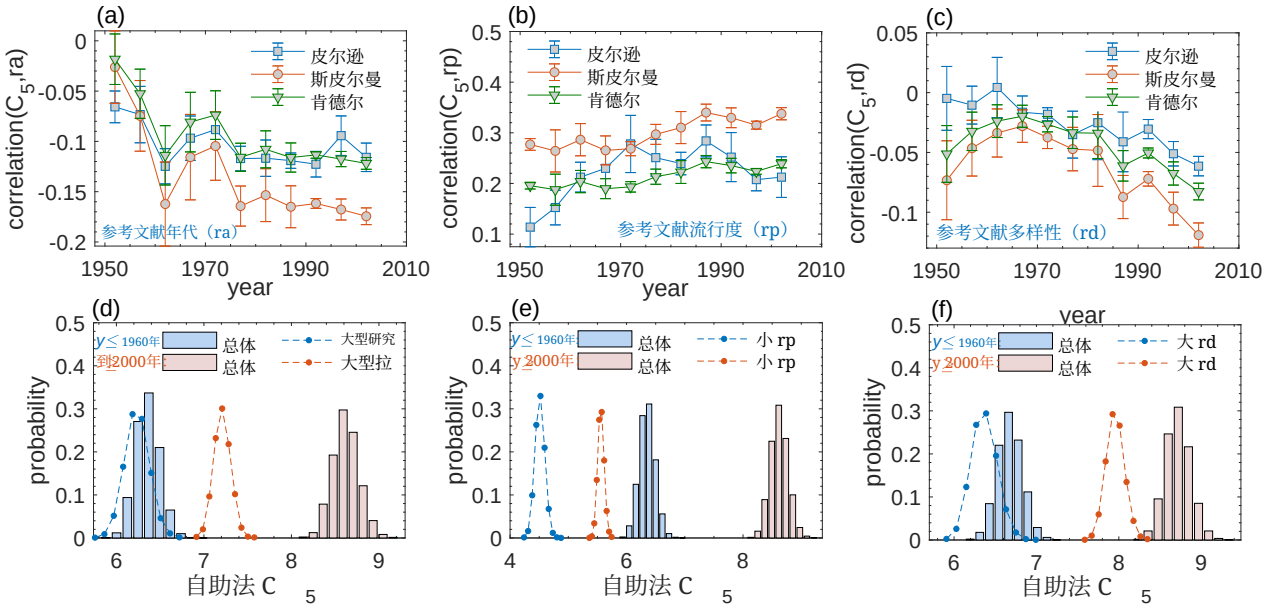


图 4：参考文献年代、参考文献流行度和参考文献多样性作为论文原创性的替代衡量指标。(a) 不同年份发表的论文中，参考文献年代 ra 与引文C_5之间相关性的演变。(b) 不同年份发表的论文中，参考文献流行度 rp 与引文 C_5之间相关性的演变。(c) 不同年份发表的论文中，参考文献多样性 rd 与引文 C_5之间相关性的演变。(d) 分别展示了1960年之前发表的论文（总体）及其中参考文献年代较大的半数论文的引文自助抽样 C_5 的10,000个实现样本的分布。作为比较，我们还展示了2000年之后发表的论文（总体）及其中参考文献年代最大的半数论文的引文自助抽样 C_5 的10,000个实现样本的分布。总体与较大 ra 之间的分布差异的柯尔莫戈洛夫–斯米尔诺夫检验结果表明，对于 $y \leq 1960$和 $y \geq 2000$，结果均为 $p < 0.001$ 。(e) 和 (f) 与 (d) 相同，但分别针对参考文献流行度较低和参考文献多样性较高的情况。

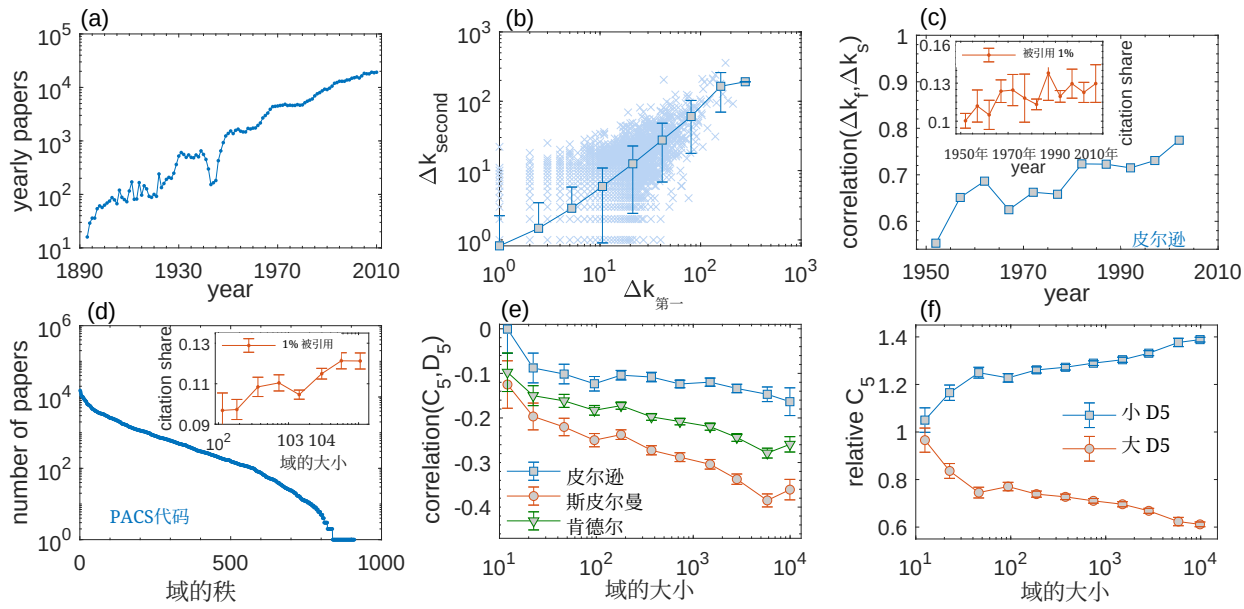


图 5：信息　　信息过载，以及人们对大型机构中颠覆性作品的关注度下降。

领域。(a) 每年已发表论文的数量呈指数增长。(b) 我们选取2000年发表的论文，并绘制其发表后前5年的引用次数 Δk_{first} 与发表后第二个5年的引用次数 Δk_{second}的散点图。曲线表示平均值。正相关表明存在优先连接。(c) 不同年份发表的论文中， Δk_{first} 与 Δk_{second} 之间相关性的演变。相关系数不断增大，表明优先连接的影响日益增强。插图显示了某一年发表的论文中，排名前1%的高被引论文所获引用次数占比的变化。(d) 各 PACS 代码（一个研究领域）对应论文数量的齐夫图。插图显示了不同规模领域中，排名前1%的高被引论文所获引用次数占比。(e) 不同规模领域中，论文的引文 C_5 与颠覆性 D_5之间的相关性。(f) 不同规模领域中， D_5 较大的50%论文与 D_5 较小的50%论文的相对引用次数 C_5 。

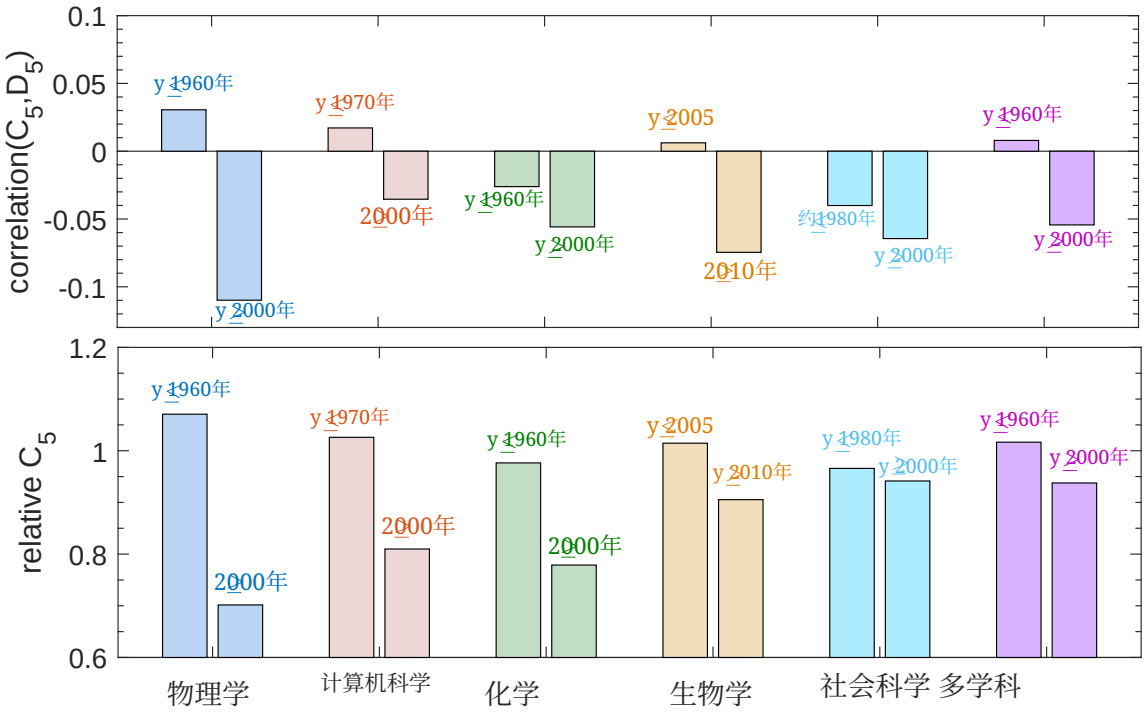
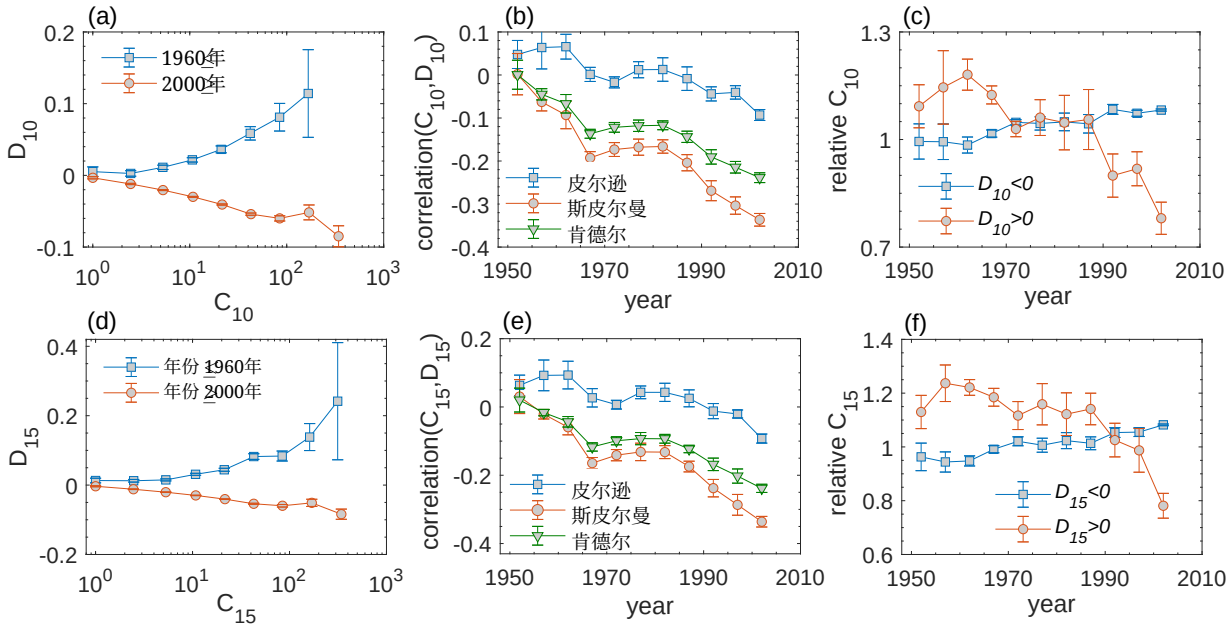


图6：学科比较。上图：分别展示早期年份和近年不同领域发表的论文中，引文 C_5与颠覆性 D_5之间的（皮尔逊）相关性。下图：分别展示早期年份和近年不同领域发表的论文中，具有正颠覆性 $D_5 > 0$的论文的相对引用次数 C_5 与所有论文平均引文数之间的比较。

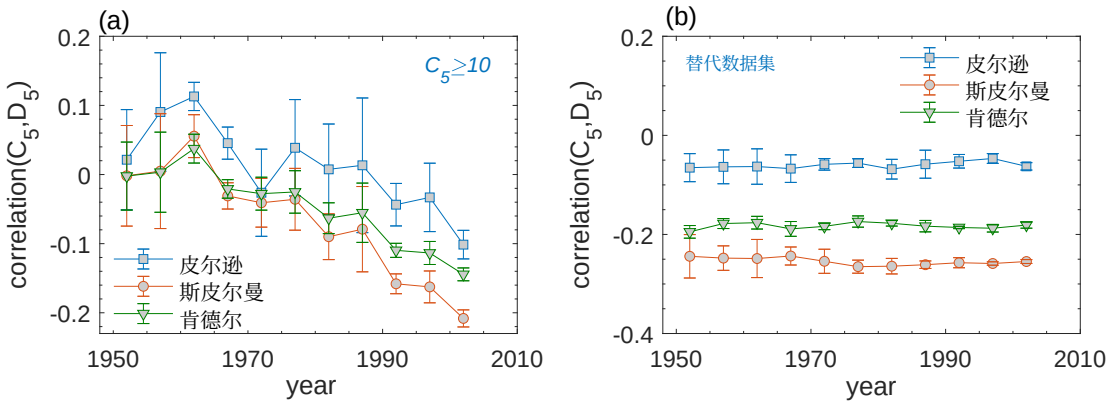
补充材料

科学领域的颠覆性作品正在失去影响力

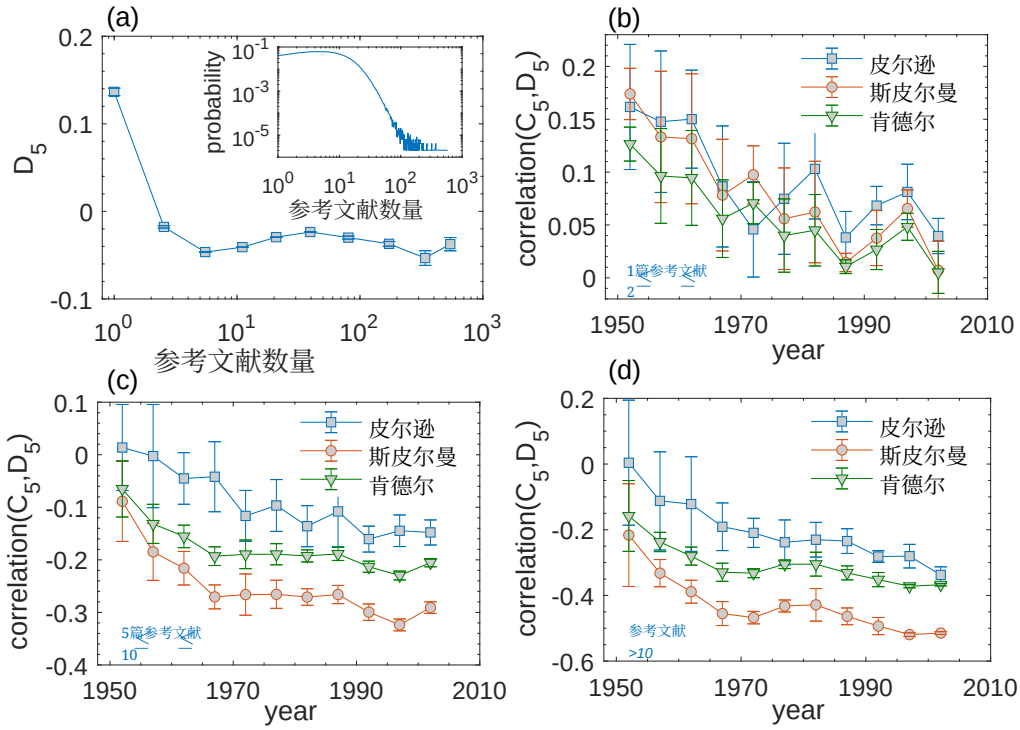
An Zeng、Ying Fan、Zengru Di、Yougui Wang 和 Shlomo Havlin



补充材料　　图1。 D_{10} 和 D_{15}的结果。(a) 平均颠覆度 D_{10} 的引用次数不同的论文 C_{10}，分别针对1960年以前和2000年以后发表的论文。(b) 不同年份发表的论文中，引文C_{10} 与颠覆性 D_{10}之间的（皮尔逊、斯皮尔曼、肯德尔）相关性的演变。(c) 某一年发表的 $D_{10}<0$ 和 $D_{10}>0$ 论文的相对引用次数 C_{10}，相对于该年份所有论文的平均引文数的演变。(d) 引用次数不同的论文的平均颠覆度 D_{15}，分别针对1960年以前和2000年以后发表的论文。(e) 不同年份发表的论文中，引文 C_{15} 与颠覆性D_{15}之间的（皮尔逊、斯皮尔曼、肯德尔）相关性的演变。(f) 某一年发表的 $D_{15}<0$和 $D_{15}>0$ 论文的相对引用次数 C_{15}，相对于该年份所有论文的平均引文数的演变。 D_{10} 和 D_{15} 的两组结果均显示出与正文论文中 D_5所呈现的相似趋势。



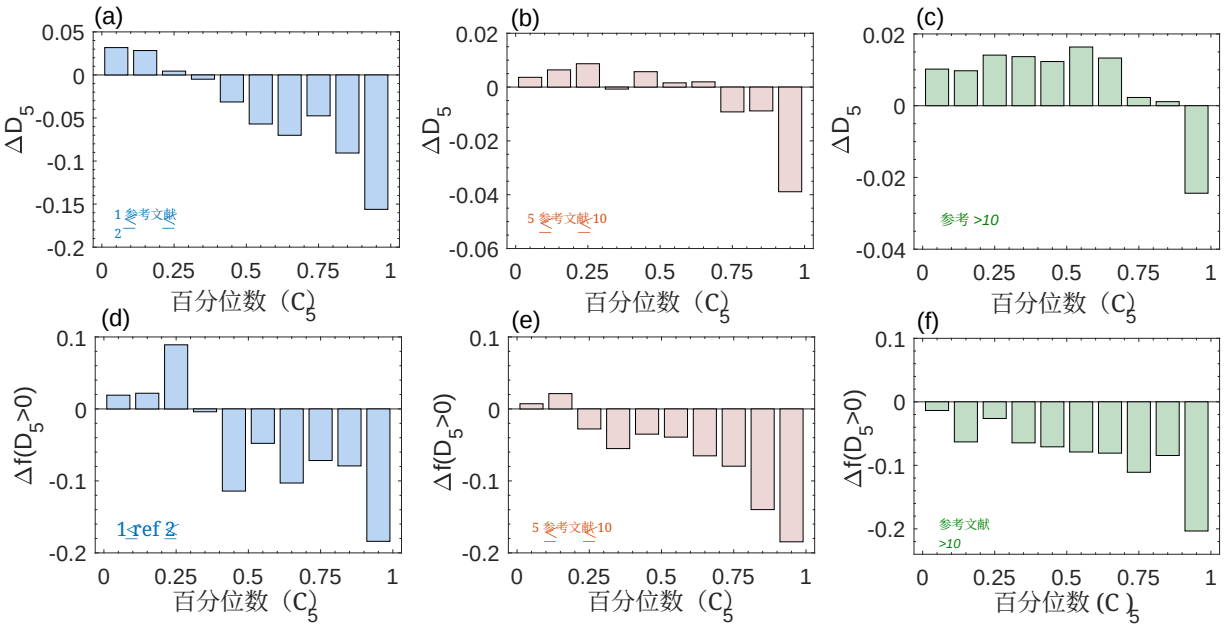
补充图2。通过排除引用次数极少的论文，避免颠覆性的极端值。(a) 引用次数较少的论文可能出现颠覆性的极端值（即 1 或 -1）。为避免这种效应影响总体趋势，我们在此仅针对至少有 10 次引用的论文，计算颠覆性 D_5 与引文 C_5 之间相关性的变化。(b) 在一个对照替代数据集中，论文的发表年份经过随机重新排列，引用次数 C_5 与颠覆性 D_5 之间相关性的变化。这里的平坦曲线表明，引用次数与颠覆性之间相关性的下降无法用随机行为来解释。



补充图3. 控制焦点论文的参考文献数量。(a)

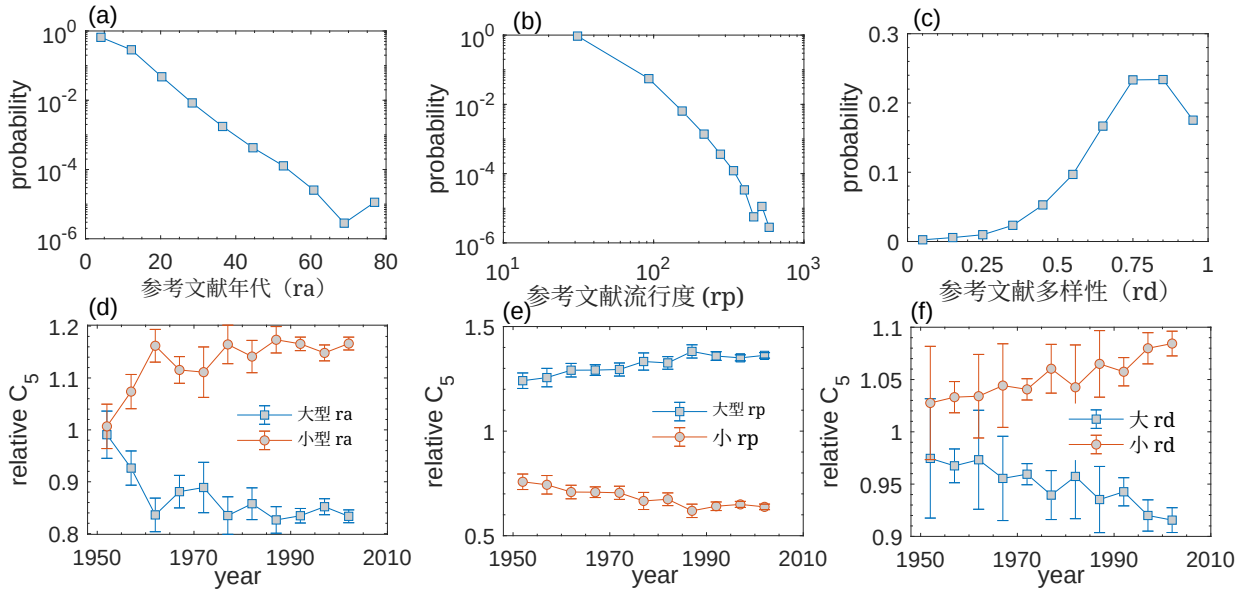
具有不同参考文献数量的论文的平均颠覆性 D_5。结果表明，颠覆性值在很大程度上取决于论文的参考文献数量（即参考文献越少，颠覆性越高）。插图显示了论文参考文献数量的分布。为了消除参考文献对颠覆性的影响，我们在此重新进行论文中的分析，并对论文的参考文献数量进行控制。(b) 对于具有 1 或 2 篇参考文献的论文，引文 C_5 与颠覆性（D_5）之间的（皮尔逊、斯皮尔曼、肯德尔）相关性的演变。

(c) 对于参考文献数量为 5 至 10 篇的论文，引文 C_5 与颠覆性（D_5）之间的（皮尔逊、斯皮尔曼、肯德尔）相关性的演变。(d) 对于参考文献数量超过 10 篇的论文，引文 C_5 与颠覆性（D_5）之间的（皮尔逊、斯皮尔曼、肯德尔）相关性的演变。此处的趋势与正文论文中所呈现的趋势一致。



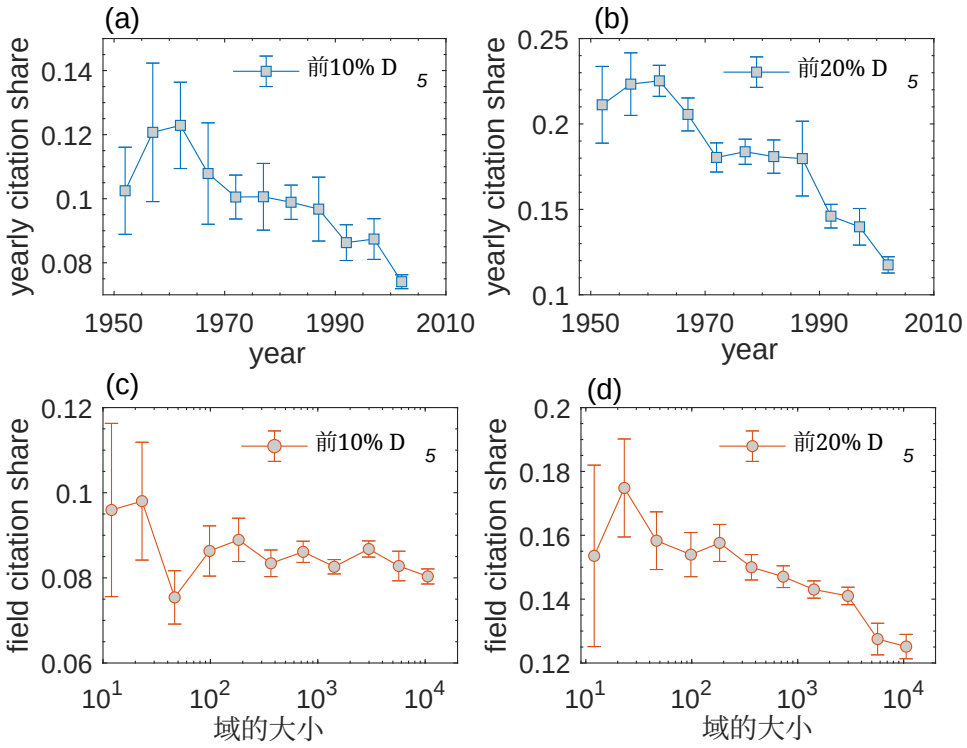
补充材料 ary 图 4。随着时间推移，当参考 马会娱乐开户

论文数量受到控制。由于一篇论文的参考文献数量是影响其颠覆性价值的重要因素，因此，我们在此仅研究 APS 数据中参考文献数量相近的论文，考察高影响力论文和低影响力论文的颠覆性变化趋势。(a-c) 不同 C_5百分位数的论文的 ΔD_5 （即 2000年之后的 $\langle D_5 \rangle$ 与1960年之前的 $\langle D_5 \rangle$ 之差）。其中，(a) 仅包括有 1 或 2 篇参考文献的论文；(b) 仅包括有 5 至 10 篇参考文献的论文；(c) 仅包括有 10 篇以上参考文献的论文。(d-f) 不同 C_5百分位数的论文的 $\Delta f（D_5 > 0）$（即 2000年之后的 $\langle f（D_5 > 0）\rangle$ 与1960年之前的 $\langle f（D_5 > 0）\rangle$ 之差）。其中，(d) 仅包括有 1 或 2 篇参考文献的论文；(e) 仅包括有 5 至 10 篇参考文献的论文；(f) 仅包括有 10 篇以上参考文献的论文。这里呈现的趋势与正文论文中展示的趋势一致。



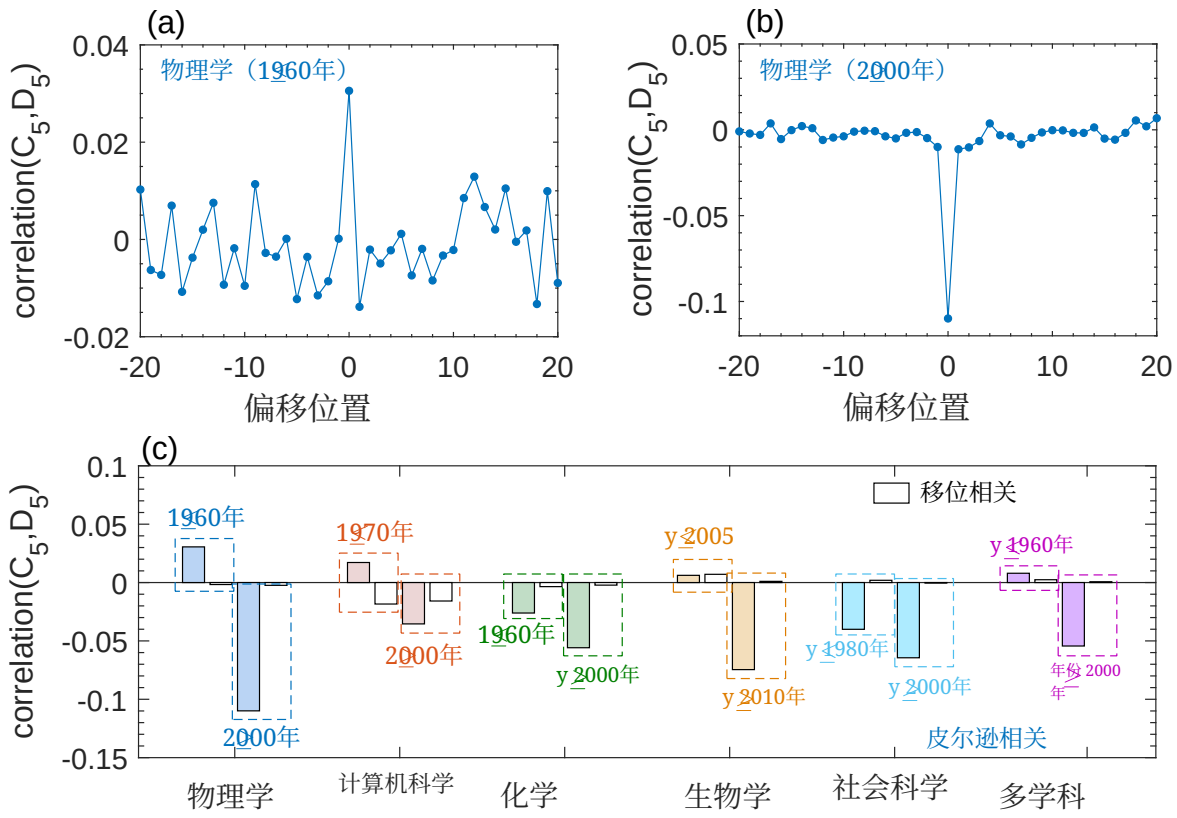
补充图5。基于参考文献的指标。在正文论文中，我们考虑

另外三项已被证明与论文原创性有关的指标。与依赖参考文献和施引论文信息的颠覆性指标不同，这些指标的计算仅取决于论文参考文献（因此完全独立于引用次数）。这三项指标是参考文献年代、参考文献流行度和参考文献多样性。(a) 论文参考文献年代的分布（ra）。(b) 论文参考文献流行度的分布 rp。(c) 论文参考文献多样性的分布 rd （这些指标的定义见正文）。(d) 在某一年中， ra 较大的 50% 论文与 ra 较小的 50% 论文的相对引用次数 C_5，相对于该年发表的所有论文的平均引文数而言。(e) 在某一年中， rp 较大的 50% 论文与rp 较小的 50% 论文的相对引用次数 C_5，相对于该年发表的所有论文的平均引文数而言。(f) 在某一年中， rd 较大的 50% 论文与 rd 较小的 50% 论文的相对引用次数 C_5，相对于该年发表的所有论文的平均引文数而言。结果表明， ra较大、 rp 较小且 rd 较大的论文，其引用次数会随着时间推移持续减少。



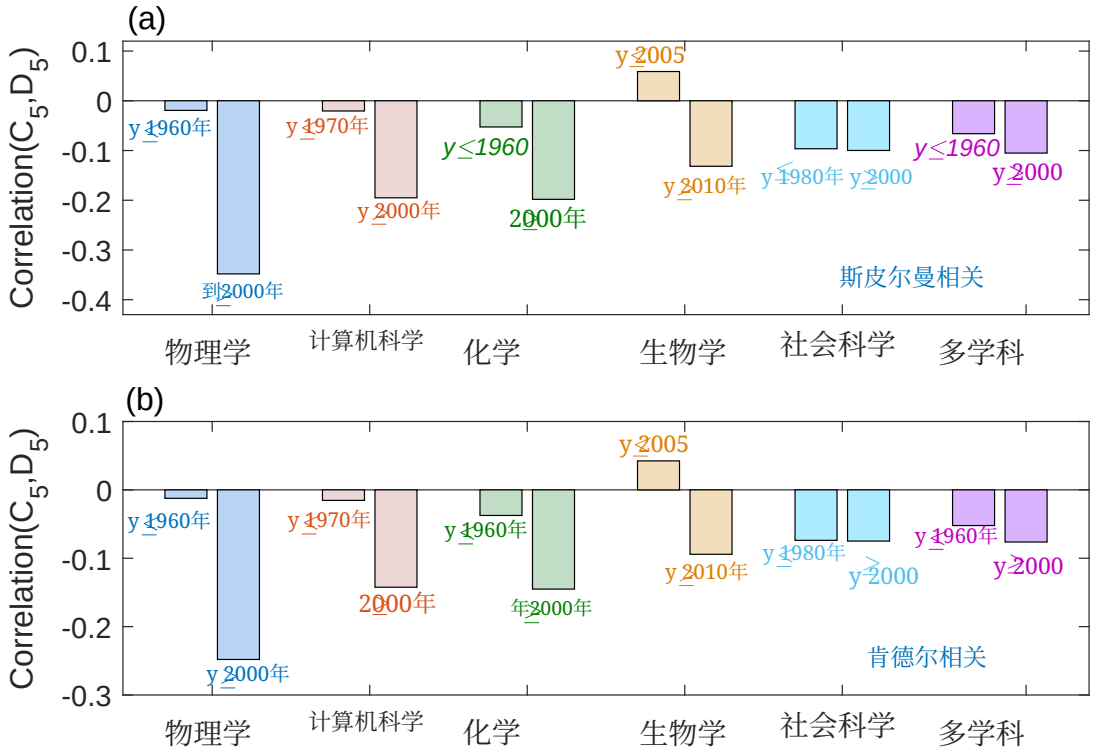
补充图 6. 每年最具颠覆性的论文所占引文比例。(a) 某年份发表的最具颠覆性的前 10% 论文的引文 C_5 比例变化。(b) 最具颠覆性的前 20% 论文的引文 C_5 比例变化。

每年发表的 D_5 。（c）不同规模领域中发表的最具颠覆性的前 10% 论文所占引文 C_5 份额的变化。（d）不同规模领域中发表的最具颠覆性的前 20% 论文所占引文 C_5份额的变化。可以看到，所有情况下都呈现出明显的下降趋势，这表明随着时间推移或领域规模扩大，高颠覆性论文所占的引文份额越来越少。

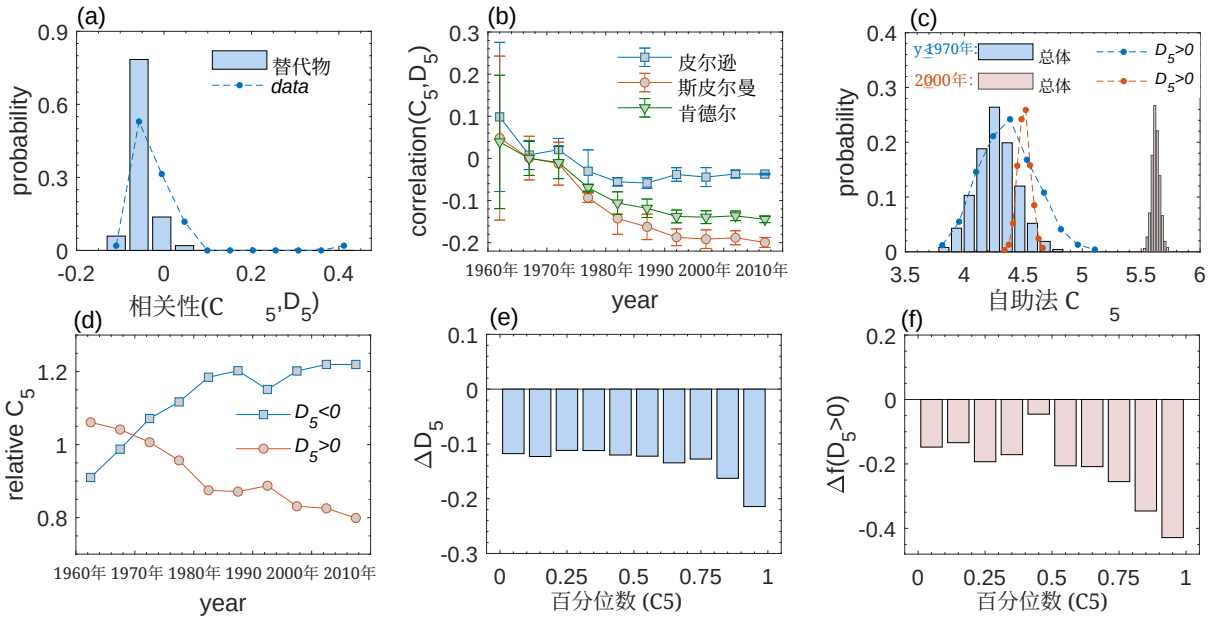


补充图7。引文与

颠覆性的相关性。为支持论文图6中引文 C_5 与颠覆性 D_5之间相关性的显著性，我们进行了皮尔逊移位检验：将颠覆性向量 D_5 中的所有元素偏移一定数量的位置后，计算皮尔逊相关。(a) 我们选取 APS 中 1960年之前的所有论文，将一个向量相对于另一个向量偏移 20 个位置（-20 到 20），计算引文向量与颠覆性向量之间的皮尔逊相关。未发生偏移时的相关性为真实相关性，而每次偏移得到的相关性都类似于随机相关性，因此反映了噪声水平。偏移量为零处出现的尖锐峰值表明，原始数据中引文与颠覆性的相关性确实显著。(b) 对 APS 中 2000年之后的论文进行相同检验。可以观察到类似的、偏移量为零处的尖锐峰值。(c) 对不同学科的数据进行皮尔逊移位检验。彩色柱表示真实数据的结果，无色柱则表示偏移位置从 -20 到 20（不包括偏移位置为零的情况，即真实数据）时移位相关的平均值。移位后的皮尔逊相关值接近于零，这表明真实数据中观察到的相关性确实显著。



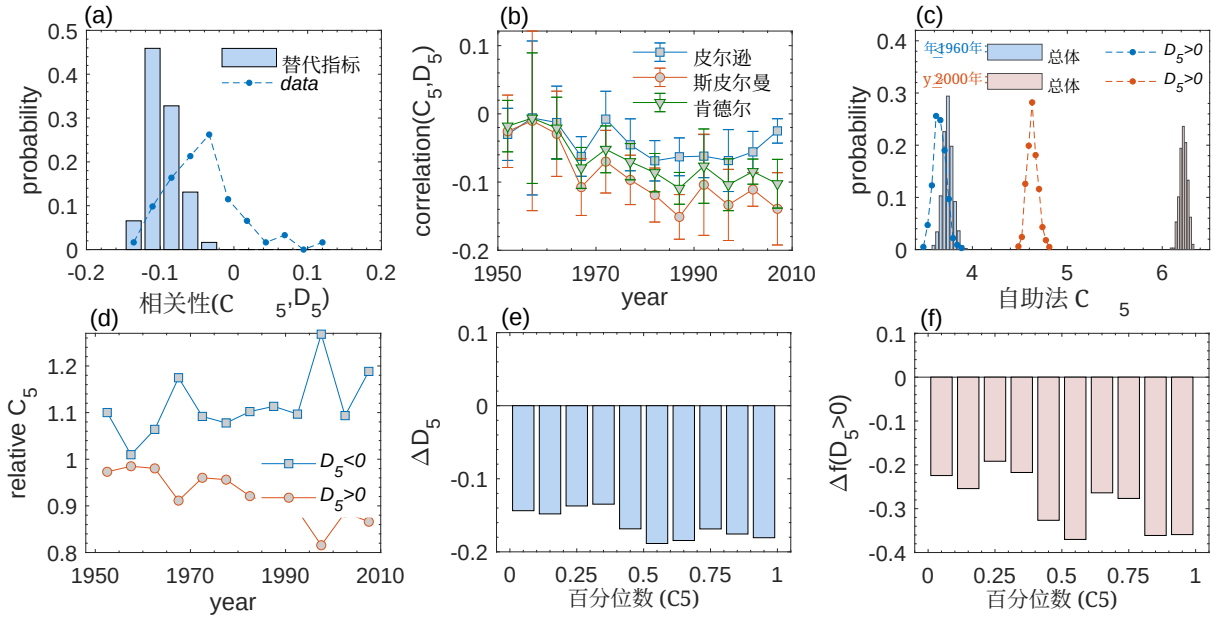
补充图8。不同学科数据中引文与颠覆性的斯皮尔曼和肯德尔相关。（a）早期年份和近年分别在不同领域发表的论文中，引文 C_5 与颠覆性 D_5之间的斯皮尔曼秩相关。（b）早期年份和近年分别在不同领域发表的论文中，引文 C_5 与颠覆性D_5之间的肯德尔秩相关。在两个面板中，都可以观察到所有学科的相关性均呈下降趋势。



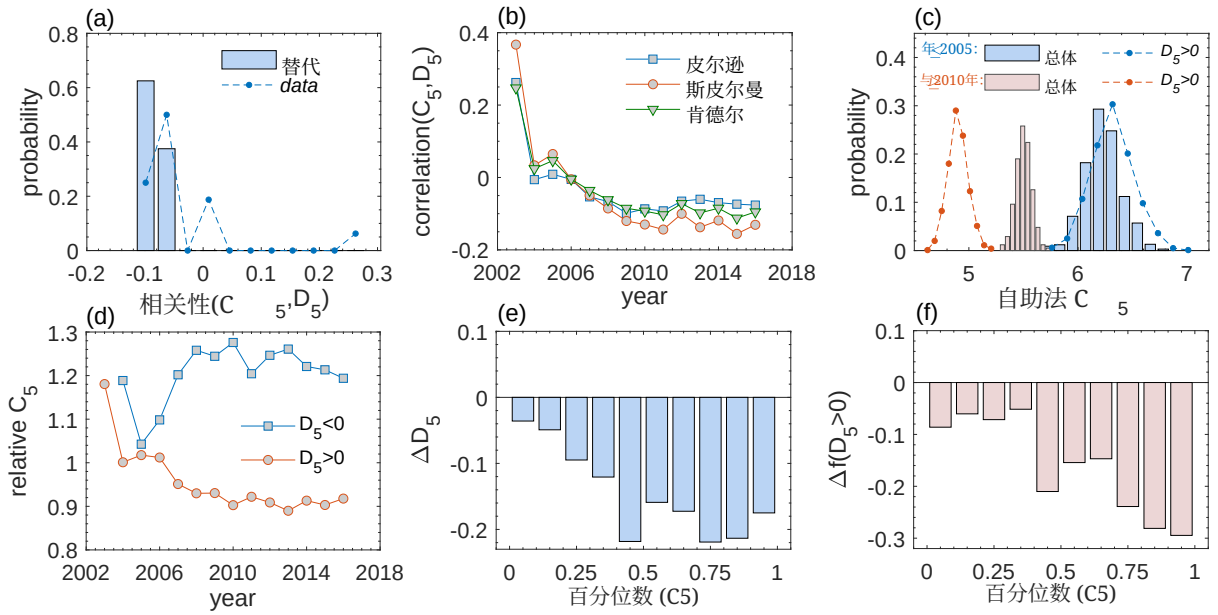
补充材料

图9。计算机科学数据的结果。(a) 的分布

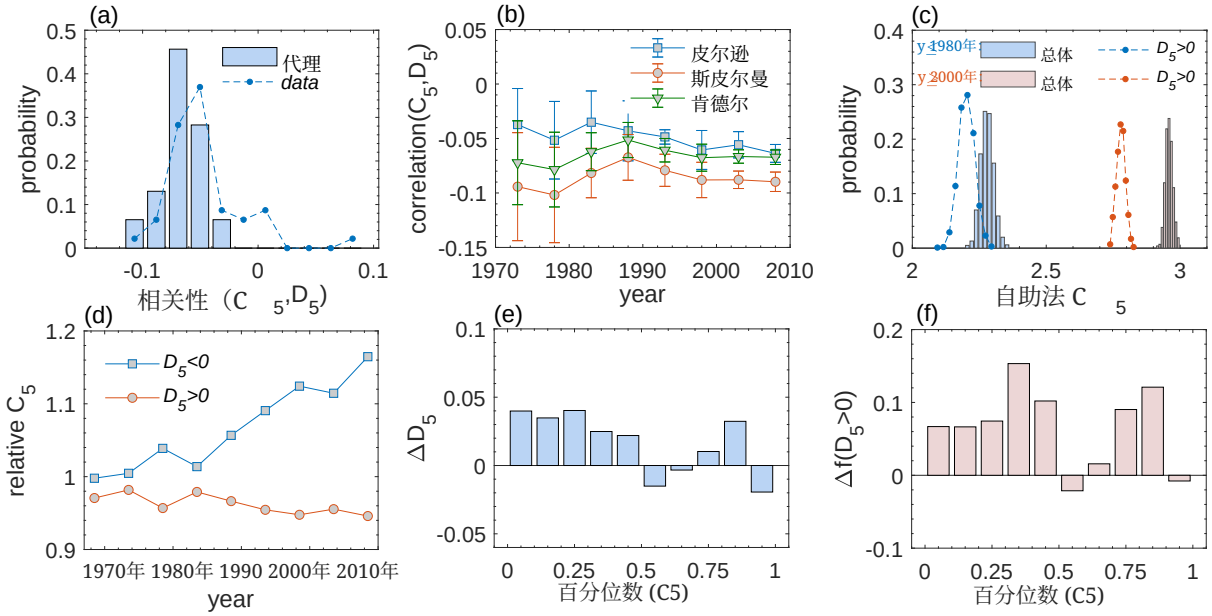
按年份计算的引文 C_5 与颠覆性 D_5之间的年度（皮尔逊）相关性；每项相关性仅基于某一年发表的论文计算。较窄的替代分布来自随机化情形，即将论文的发表年份随机重新排列。（b）不同年份发表的论文中，颠覆性 D_5 与引文 C_5之间相关性（皮尔逊、斯皮尔曼、肯德尔）的变化。（c）分别展示发表年份早于1970年（总体）以及其中具有正颠覆性（$D_5 > 0$）的论文，其引文自助抽样 C_5 的10,000个实现样本的分布。作为比较，我们还分别展示发表年份晚于2000年（总体）以及其中具有正颠覆性（$D_5 > 0$）的论文，其引文自助抽样的10,000个实现样本的分布。（d）某一年发表的 $D_5 < 0$ 和 $D_5 > 0$ 论文的相对引用次数 C_5 相对于该年发表的所有论文的平均引文数 C_5 的变化。（e）不同 C_5百分位数论文的 ΔD_5 （即2000年后$\langle D_5 \rangle$ 与1970年前 $\langle D_5 \rangle$ 之差）。（f）不同 C_5百分位数论文的Δf（$D_5 > 0$）（即2000年后 $\langle f$（$D_5 > 0$）$\rangle$与1970年前 $\langle f$（$D_5 > 0$）$\rangle$之差）。



Supplementary Fi 图 10 Results of Chemistry data. (a) The distribution of the 年份ly（皮尔逊）相关性，表示引文 C_5 与颠覆性 D_5之间的相关性；每个相关性仅根据特定年份发表的论文计算。较窄的替代分布是随机化情形的结果，即论文的发表年份被随机重新排列。(b) 不同年份发表的论文中，颠覆性D_5 与引文 C_5之间（皮尔逊、斯皮尔曼、肯德尔）相关性的演变。(c) 1960年之前发表的论文（总体）及其中正颠覆性论文子集（$D_5 > 0$）的引文自助抽样 C_5 的 10,000 个实现样本的分布。作为比较，我们还展示了 2000年之后发表的论文（总体）及其中正颠覆性论文子集（$D_5 > 0$）的引文自助抽样的 10,000 个实现样本的分布。(d) 某一年发表的 $D_5 < 0$ 和 $D_5 > 0$ 论文的相对引用次数 C_5，相对于该年发表的所有论文的平均引文数 C_5 的演变。(e) 不同 C_5百分位数论文的 ΔD_5（即 2000年之后的$\langle D_5 \rangle$ 与 1960年之前的 $\langle D_5 \rangle$ 之差）。(f) 不同 C_5百分位数论文的Δf（$D_5 > 0$）（即 2000年之后的 $\langle f$（$D_5 > 0$）$\rangle$与 1960年之前的 $\langle f$（$D_5 > 0$）$\rangle$之差）。

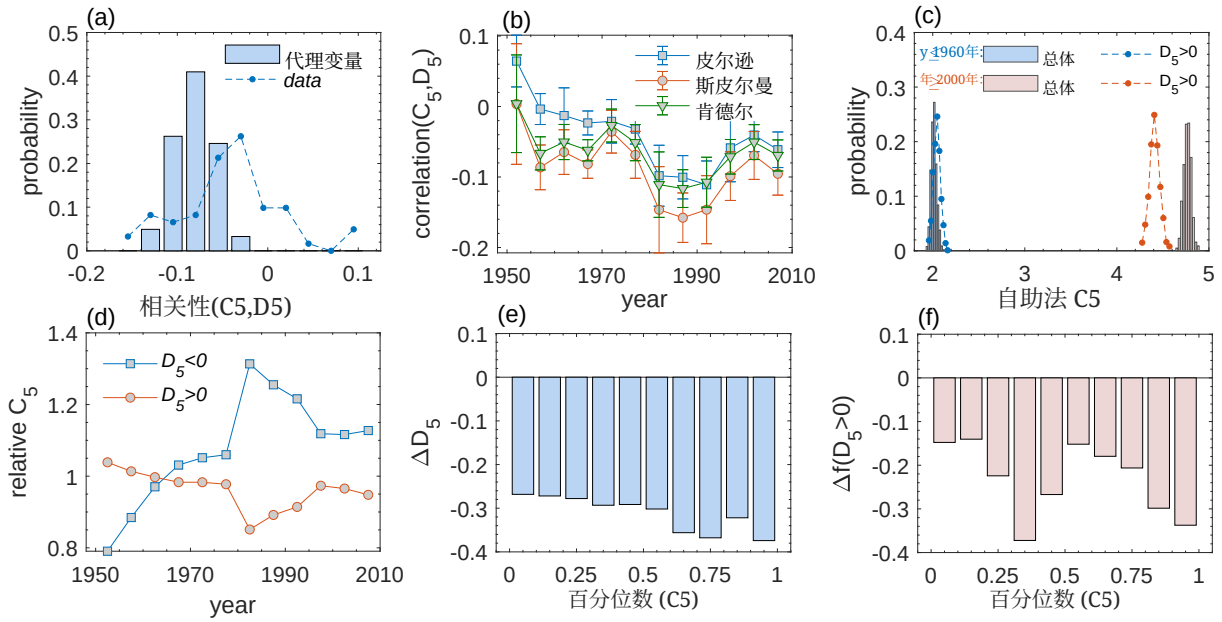


补充图11。生物学数据的结果。(a) 引文 C_5 与颠覆性 D_5之间年度（皮尔逊）相关性的分布，其中每个相关性仅通过取某一特定年份发表的论文计算得出。明显更窄的替代分布是随机化情形的结果，在该情形下，论文的发表年份被随机重新排列。(b) 对于不同年份发表的论文，颠覆性 D_5 与引文 C_5之间（皮尔逊、斯皮尔曼、肯德尔）相关性的演变。(c) 2005年以前发表的论文（总体）及其中具有正颠覆性（$D_5 > 0$）的子集的引文 C_5 自助抽样的10,000个实现样本的分布。作为比较，我们还展示了2010年以后发表的论文（总体）及其中具有正颠覆性（$D_5 > 0$）的子集的引文自助抽样的10,000个实现样本的分布。(d) 某一年发表的 $D_5 < 0$ 和 $D_5 > 0$ 论文的相对引用次数 C_5 相对于该年份发表的所有论文的平均引文数 C_5 的演变。(e) 对于 C_5处于不同百分位数的论文，其 ΔD_5 （即2010年以后与2005年以前之间的差异）。(f) 对于 C_5处于不同百分位数的论文，其Δf（$D_5 > 0$）（即2010年以后论文的 $\langle f$（$D_5 > 0$）$\rangle$与2005年以前论文的 $\langle f$（$D_5 > 0$）$\rangle$之间的差异）。



补充材料 ary 图12。社会科学数据的结果。（a）th e

每年引文 C_5 与颠覆性 D_5之间的（皮尔逊）相关性，其中每个相关性仅通过取某一发表年份发表的论文计算得出。较窄的替代分布是随机化情形的结果，即论文的发表年份被随机重新排列。（b）对于不同年份发表的论文，颠覆性 D_5 与引文 C_5之间的（皮尔逊、斯皮尔曼、肯德尔）相关性的演变。（c）分别展示了1980年之前发表的论文（总体）及其具有正颠覆性$D_5 > 0$的子集的引文自助抽样 C_5 的10,000个实现样本的分布。作为比较，我们还分别展示了2000年之后发表的论文（总体）及其具有正颠覆性$D_5 > 0$的子集的引文自助抽样的10,000个实现样本的分布。（d）在某一年发表的 $D_5 < 0$ 和 $D_5 > 0$ 论文的相对引用次数 C_5 相对于该年发表的所有论文的平均引文数 C_5 的演变。（e）具有 C_5不同百分位数的论文的 ΔD_5 （即2000年之后与1980年之前之间的差值）。（f）具有 C_5不同百分位数的论文的Δf（$D_5 > 0$）（即2000年之后的 $\langle f$（$D_5 > 0$）与1980年之前的 $\langle f$（$D_5 > 0$）之间的差值$\rangle\rangle$）。



补充　充图13。多学科科学数据的结果。((a) Th　e 年度引文 C_5 与颠覆性 D_5之间皮尔逊相关性的分布，其中每个

仅选取某一年发表的论文计算得出的相关性。较窄的替代分布来自随机化情形，即论文的发表年份被随机重新排列。(b) 不同年份发表的论文中，颠覆性 D_5 与引文 C_5之间的（皮尔逊、斯皮尔曼、肯德尔）相关性的变化。(c) 1960年以前发表论文的引文自助抽样 C_5 的 10,000 个实现样本的分布

（总体）以及其中正颠覆性论文子集（$D_5 > 0$）的分布。作为比较，我们还展示了 2000年以后发表论文的引文自助抽样的 10,000 个实现样本的分布（总体）以及其中正颠覆性论文子集（$D_5 > 0$）的分布。(d) 某一年发表的 $D_5 < 0$ 和 $D_5 > 0$ 论文的相对引用次数 C_5 相对于该年发表的所有论文的平均引文数 C_5 的变化。(e) 不同 C_5百分位数论文的ΔD_5 （即 2000年以后与1960年以前的 $\langle D_5 \rangle$ 之差）。(f) 不同 C_5百分位数论文的 Δf（$D_5 > 0$）（即 2000年以后 $\langle f$（$D_5 > 0$）$\rangle$与 1960年以前$\langle f$（$D_5 > 0$）$\rangle$ 之差）。