



中国科学院科技战略咨询研究院
Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences



中国科学院
文献情报中心
NATIONAL SCIENCE LIBRARY
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

Clarivate™
科睿唯安™

2021 研究前沿

RESEARCH FRONTS

中国科学院科技战略咨询研究院
中国科学院文献情报中心
科睿唯安

2021 研究前沿
RESEARCH FRONTS



目录 Contents

背景和方法论

1. 背景	5
2. 方法论	6
2.1 研究前沿的遴选与命名	6
2.2 研究前沿的分析及重点研究前沿的遴选和解读	7

农业科学、植物学和动物学

1. 热点前沿及重点热点前沿解读	11
1.1 农业科学、植物学和动物学领域 Top 10 热点前沿发展态势	11
1.2 重点热点前沿——“植物泛基因组研究”	12
1.3 重点热点前沿——“动植物碱基编辑器研究”	16
2. 新兴前沿及重点新兴前沿解读	19
2.1 新兴前沿概述	19
2.2 重点新兴前沿解读——“产 ACC 脱氢酶根际促生菌对作物干旱胁迫的缓解作用”	19

生态与环境科学

1. 热点前沿及重点热点前沿解读	21
1.1 生态与环境科学领域 Top 10 热点前沿发展态势	21
1.2 重点热点前沿——“昆虫衰退现状、灭绝危机与驱动因素”	22
1.3 重点热点前沿——“全氟和多氟烷基化合物的分布、暴露、毒理和污染控制技术”	26
2. 新兴前沿及重点新兴前沿解读	30
2.1 新兴前沿概述	30
2.2 重点新兴前沿解读——“大气二氧化氮水平与新冠肺炎死亡率升高相关”	30

地球科学

1. 热点前沿及重点热点前沿解读	33
1.1 地球科学领域 Top 10 热点前沿发展态势	33
1.2 重点热点前沿——“基于多个卫星数据的全球火灾排放评估”	34
1.3 重点热点前沿——“全球降水数据集的研制与评估”	37
2. 新兴前沿及重点新兴前沿解读	41
2.1 新兴前沿概述	41
2.2 重点新兴前沿解读——“洞察号对火星地震的探测研究”	41

临床医学

1. 热点前沿及重点热点前沿解读	43
1.1 临床医学领域 Top 10 热点前沿发展态势	43
1.2 重点热点前沿——“新冠肺炎病例临床特征”	44
1.3 重点热点前沿——“新冠肺炎孕妇临床表现与母婴结局”	47
2. 新兴前沿及重点新兴前沿解读	50
2.1 新兴前沿概述	50
2.2 重点新兴前沿解读——“新型冠状病毒感染致脏器损伤及并发症”前沿群	52
2.3 重点新兴前沿解读——“新型冠状病毒疫苗研发”前沿群	52

生物科学

1. 热点前沿及重点热点前沿解读	55
1.1 生物科学领域 Top 10 热点前沿发展态势	55
1.2 重点热点前沿——“新冠肺炎病原鉴定、病毒全基因组序列分析和 ACE2 受体识别”	57
1.3 重点热点前沿——“新型冠状病毒刺突糖蛋白的结构、功能和抗原性”	58
2. 新兴前沿及重点新兴前沿解读	60
2.1 新兴前沿概述	60
2.2 重点新兴前沿解读——“新型冠状病毒主蛋白酶的结构解析和抑制剂发现”	61

化学与材料科学

1. 热点前沿及重点热点前沿解读	63
1.1 化学与材料科学领域 Top 10 热点前沿发展态势	63
1.2 重点热点前沿——“非共价相互作用（卤键、硫键等）”	65
1.3 重点热点前沿——“化学动力学疗法”	68
2. 新兴前沿及重点新兴前沿解读	71
2.1 新兴前沿概述	71
2.2 重点新兴前沿解读——“化学传感器在新型冠状病毒检测中的应用”	71

物理学

1. 热点前沿及重点热点前沿解读	73
1.1 物理学领域 Top 10 热点前沿发展态势	73
1.2 重点热点前沿——“高压下富氢化合物的高温超导电性研究”	75
1.3 重点热点前沿——“反铁磁自旋电子学”	78
2. 新兴前沿及重点新兴前沿解读	81
2.1 新兴前沿概述	81
2.2 重点新兴前沿——“无限层型镍氧化物的超导电性研究”	81

天文学与天体物理学

1. 热点前沿及重点热点前沿解读	83
1.1 天文学与天体物理学领域 Top 10 热点前沿发展态势	83
1.2 重点热点前沿——“原初黑洞观测及其与暗物质的关系”	85
1.3 重点热点前沿——“标量 - 张量引力修正理论及引力波事件的影响”	88
2. 新兴前沿及重点新兴前沿解读	92
2.1 新兴前沿概述	92
2.2 重点新兴前沿解读——“更多致密双星并合引力波事件观测”	92

数学

1. 热点前沿及重点热点前沿解读	95
1.1 数学领域 Top 10 热点前沿发展态势	95
1.2 重点热点前沿——“高维非线性偏微分方程的求解方法”	96
1.3 重点热点前沿——“非线性时间序列的复杂网络分析”	100

信息科学

1. 热点前沿及重点热点前沿解读	105
1.1 信息科学领域 Top 10 热点前沿发展态势	105
1.2 重点热点前沿——“面向视频动作识别的深度学习研究”	106
1.3 重点热点前沿——“基于无人机的无线通信技术”	110
2. 新兴前沿及重点新兴前沿解读	113
2.1 新兴前沿概述	113
2.2 重点新兴前沿解读——“利用医学影像检测和诊断新冠肺炎的深度学习研究”	113

经济学、心理学及其他社会科学

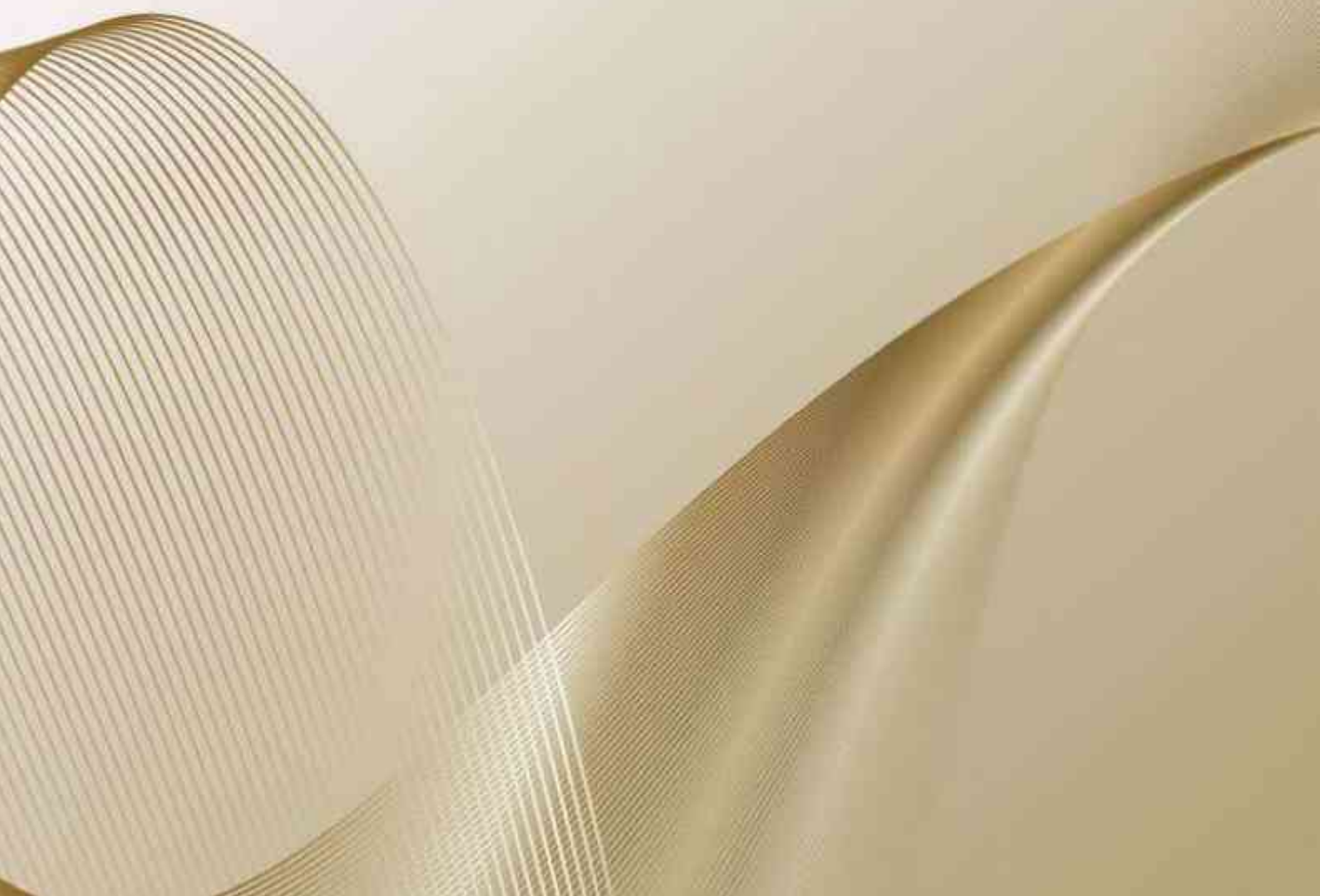
1. 热点前沿及重点热点前沿解读	115
1.1 经济学、心理学及其他社会科学领域 Top 10 热点前沿发展态势	115
1.2 重点热点前沿——“新冠肺炎大流行的心理健康影响研究”	116
1.3 重点热点前沿——“机器人在旅游、营销、服务等方面的应用及新冠疫情对其的促进作用”	120
2. 新兴前沿及重点新兴前沿解读	123
2.1 新兴前沿概述	123
2.2 重点新兴前沿——“新冠肺炎恐惧量表的心理测量评估”	123

附录 研究前沿综述：寻找科学的结构	124
编纂委员会	134



2021 研究前沿
RESEARCH FRONTS

背景和 метод论



1. 背景

科学研究的世界呈现出蔓延生长、不断演化的景象。科研管理者和政策制定者需要掌握科研的进展和动态，以有限的资源来支持和推进科学进步。对于他们而言，洞察科研动向、尤其是跟踪新兴专业领域对其工作具有重大的意义。

为此，科睿唯安发布了“研究前沿”（Research Fronts）数据和报告。定义一个被称作研究前沿的专业领域的方法，源自于科学研究之间存在的某种特定的共性。这种共性可能来自于实验数据，也可能来自于研究方法，或者概念和假设，并反映在研究人员在论文中引用其他同行的工作这一学术行为之中。

通过持续跟踪全球最重要的科研和学术论文，研究分析论文被引用的模式和聚类，特别是成簇的高被引论文频繁地共同被引用的情况，可以发现研究前沿。当一簇高被引论文共同被引用的情形达到一定的活跃度和连贯性时，就形成一个研究前沿，而这一簇高被引论文便是组成该研究前沿的“核心论文”。研究前沿的分析数据揭示了不同研究者在探究相关的科学问题时会产生一定的关联，尽管这些研究人员的

背景不同或来自不同的学科领域。

总之，研究前沿的分析提供了一个独特的视角来揭示科学研究的脉络。研究前沿的分析不依赖于对文献的人工标引和分类（因为这种方法可能会有标引分类人员判断的主观性），而是基于研究人员的相互引用而形成的知识之间和人之间的联络。这些研究前沿的数据连续记载了分散的研究领域的发生、汇聚、发展（或者是萎缩、消散），以及分化和自组织成更近的研究活动节点。在演进的过程中，每组核心论文的基本情况，如主要的论文、作者、研究机构等，都可以被查明和跟踪。通过对该研究前沿的施引论文的分析，可以发现该领域的最新进展和发展方向。

2013年科睿唯安发布了《2013研究前沿—自然科学和社会科学的前100个探索领域》白皮书。2014年和2015年科睿唯安与中国科学院文献情报中心成立的“新兴技术未来分析联合研究中心”推出了《2014研究前沿》和《2015研究前沿》分析报告。2016年、2017年、2018年、2019年和2020年，中国科学院科技战略咨询研究院、中国科学院文献情报中心和科睿唯安联合发布了《2016研究前沿》、

《2017研究前沿》、《2018研究前沿》、《2019研究前沿》和《2020研究前沿》分析报告。这一系列报告引起了全球广泛的关注。2021年，在以往系列研究前沿报告的基础上，推出了《2021研究前沿》分析报告。报告仍然以文献计量学中的共被引分析方法为基础，基于科睿唯安的 Essential Science Indicators™ (ESI) 数据库中的 12147 个研究前沿，遴选出了 2021 年自然科学和社会科学的 11 大学科领域排名最前的 110 个热点前沿和 61 个新兴前沿。

2. 方法论

整个分析工作分为两个部分：研究前沿的遴选和命名由科睿唯安和中国科学院科技战略咨询研究院科技战略情报研究所合作完成，171 个研究前沿的核心论文及

其施引论文的数据提供由科睿唯安负责；研究前沿的分析和重点研究前沿（包括重点热点前沿和重点新兴前沿）的遴选及解读由中国科学院科技战略咨询研究院

科技战略情报研究所主持完成。此次分析基于 2015-2020 年的论文数据，数据下载时间为 2021 年 3 月。

2.1 研究前沿的遴选与命名

《2021 研究前沿》分析报告反映了当前自然科学与社会科学的 11 大学科领域的 171 个研究前沿（包括 110 个热点前沿和 61 个新兴前沿）。我们以 ESI 数据库中的 12147 个研究前沿为起点，遴选目标是要找到那些较为活跃或发展迅速的研究前沿。报告中所列的 171 个研究前沿的具体遴选过程如下：

2.1.1 热点前沿的遴选

首先把 ESI 数据库的 20 个学科划分到 11^① 个高度聚合的学科领域中，然后对每个 ESI 学科中的研究前沿的核心论文，按照总被引频次进行排序，提取排在每个 ESI 学科前 10% 的最具引文影响力的研究前沿，并将其整合到 11 大学科领域中，以此数据为基础，再根据核心论文出版年的平均值

重新排序，遴选出每个领域中那些“最年轻”的研究前沿，并由各学科战略情报研究人员进行调整和归并。通过上述几个步骤在每个大学科领域分别选出 10 个热点前沿，共计 110 个热点前沿。因为每个领域具有不同的特点和引用行为，有些学科领域中的很多研究前沿在核心论文数和总被引频次上会相对较小，所以从 11 大学科领域中分别遴选出的排名前 10 的热点前沿，代表各大学科领域中最具影响力的研究前沿，但并不一定代表跨数据库（所有学科）中最大最热的研究前沿。

2.1.2 新兴前沿的遴选

一个研究前沿有很多新近的核心论文，通常提示其是一个快速发展的专业研究方向。为了选取新兴的前沿，组成研究前沿的

基础文献即核心论文的时效性是优先考虑的因素。这就是为什么我们称其为新兴前沿。为了识别新兴前沿，我们对研究前沿中的核心论文的出版年赋予了更多的权重或优先权，只有核心论文平均出版年在 2019 年 6 月之后的研究前沿才被考虑，将每个 ESI 学科的研究前沿按被引频次从高到低排序，选取被引频次排在前 10% 的研究前沿，然后各学科战略情报研究人员经过调研和评审，遴选出每个 ESI 学科中的新兴前沿，并将其整合到 11 大学科领域中，从而遴选出了 11 大学科领域的 61 个新兴前沿，这 61 个新兴前沿最早的平均出版年是 2019.5。遴选不限定学科，因此 61 个新兴前沿在 11 大学科领域中分布并不均匀，例如，数学领域没有新兴前沿入选，物理学、地球科学、信息科

①不含工程学领域

学等领域分别只有一个新兴前沿，而临床医学领域则选出了 29 个新兴前沿。

通过以上两种方法，这份报告突出显示了 11 个高度聚合的大学科

领域中的 110 个热点前沿和 61 个新兴前沿。

2.1.3 研究前沿的命名

由各学科战略情报研究人员，

根据研究前沿的核心论文的研究主题、主要内容和特点等，对 171 个研究前沿逐一进行命名，并征求专家意见调整确定。

2.2 研究前沿的分析及重点研究前沿的遴选和解读

本报告在遴选的 171 个研究前沿的数据的基础上，由中国科学院科技战略咨询研究院的战略情报研究人员对 11 大学科领域的 110 个热点前沿的发展趋势进行了分析，并对 31 个重点研究前沿和 2 个前沿群进行了详细的解读（见后续各章）。重点研究前沿包括重点热点前沿和重点新兴前沿两部分。

研究前沿由一组高被引的核心论文和一组共同引用核心论文的施引文献组成。核心论文来自于 ESI 数据库中的高被引论文，即在同学科同年度中根据被引频次排在前 1% 的论文。这些有影响力的核心论文的作者、机构、国家在该领域做出了不可磨灭的贡献，本报告对其进行了深入分析和解读。同时，引用这些核心论文的施引文献可以反映出核心论文所提出的技术、数据、理论在发表之后是如何被进一步发展的，即使这些引用核心论文的施引文献

本身并不是高被引论文。

2.2.1 重点研究前沿的遴选

2014 年设计了遴选重点研究前沿的指标 CPT，2015 年在年篇均被引频次 (CPT) 指标的基础上，又增加了规模指标，即核心论文数 (P)。

(1) 核心论文数 (P)

ESI 数据库用共被引文献簇（核心论文）来表征研究前沿，并根据文献簇的元数据及其统计结果揭示研究前沿的发展态势，其中核心论文数 (P) 总量标志着研究前沿的大小，文献簇的平均出版年和论文的时间分布标志着研究前沿的进度。核心论文数 (P) 表达了研究前沿中知识基础的重要程度。在一定时间段内，一个前沿的核心论文数 (P) 越大，表明该前沿越活跃。

(2) 年篇均被引频次 (CPT)

遴选重点研究前沿的指标年

篇均被引频次 (CPT) 的计算方法是核心论文的总被引频次 (C) 除以核心论文数 (P)，再除以施引文献所发生的年数 (T)。“施引文献所发生的年数”指施引文献集中最新发表的施引文献与最早发表的施引文献的发表时间的差值。如最新发表的施引文献的发表时间为 2020 年，最早发表的施引文献的发表时间为 2016 年，则该施引文献所发生的年数为 4。

$$CPT = (C/P)/T = \frac{C}{P \cdot T}$$

CPT 实际上是一个研究前沿的平均引文影响力和施引文献发生年数的比值，该指标越高代表该前沿越热或越具有影响力。它反映了某研究前沿的引文影响力的广泛性和及时性，可以用于探测研究前沿的突现、发展以及预测研究前沿下一个时期可能的发展。该指标既考虑了某研究前沿受到关注的程度，即核心论文的总被引频次，又考虑了该研究前沿受关注的时间长短，即施引文

献所发生的年数。

在研究前沿被持续引用的前提下，当两个研究前沿的 P 和 T 值分别相等时，则 C 值较大的研究前沿的 CPT 值也较大，指示该研究前沿引文影响力较大。

当两个研究前沿的 C 和 P 值分别相等时，则 T 值较小的研究前沿的 CPT 值会较大，指示该研究前沿在短期内受关注度较高。

当两个研究前沿的 C 和 T 值分别相等时，P 值较小的研究前沿的 CPT 反而会较大，指示该研究前沿中核心论文的平均引文影响力较大。

《2021 研究前沿》在重点研究前沿的遴选过程中，从每个大学科领域的 10 个“热点前沿”中，利用核心论文数 (P) 和 CPT 指标，结合战略情报研究人员的专业判断，遴选出两个重点热点前沿。专业判断主要考虑该前沿是否对解决重大问题有重要意义。一方面，选择核心论文数 (P) 最高的前沿，如果 P 最高的前沿已经在往年的研究前沿中解读过且核心论文没有显著变化，则选择 P 次高的前沿，依次类推。同时，用 CPT 指标结合专业判断遴选出两个重点热点前沿。综合这两种方法共遴选出 22 个重点热点前沿。从新兴前沿中，利用 CPT 指标结合战略情报研究人员的判断遴选出 9 个重点新兴前

沿和 2 个新兴前沿群。因此从 171 个研究前沿中共遴选出 31 个重点前沿和 2 个前沿群进行深入解读。

2.2.2 研究前沿的分析和解读

在报告遴选的 171 个研究前沿的数据基础上，综合分析 11 大学科领域的 110 个热点前沿的发展趋势，研究揭示新兴前沿的研究主题，并对 33 个重点研究前沿 (群) 进行了详细的解读。

(1) 热点前沿分析及重点热点前沿的解读

对于每个学科领域，结合 TOP10 热点前沿的核心论文的数量、被引频次、核心论文平均出版年，以及施引论文的年度变化，分析 TOP10 热点前沿的发展趋势，包括覆盖的重点方向、前沿 (群) 分布特征及演变趋势。

每个学科领域的第一张表展示各自的前 10 个热点前沿的核心论文的数量、被引频次以及核心论文平均出版年。每个领域的 10 个热点研究前沿中引用核心论文的论文 (施引文献) 的年度分布用气泡图的方式展示。气泡大小表示每年施引文献的数量，对于那些施引文献量大、而施引文献所发生的年数少的前沿，也就是 CPT 值的前两种情况，可以从图中直观地看出哪些是重点热点前沿。但是对于核心论文 (P) 较少的情况，则需要结合数据来看。大部分研究前沿的施引

文献每年均有一定程度的增长，因此气泡图也有助于对研究前沿发展态势的理解。

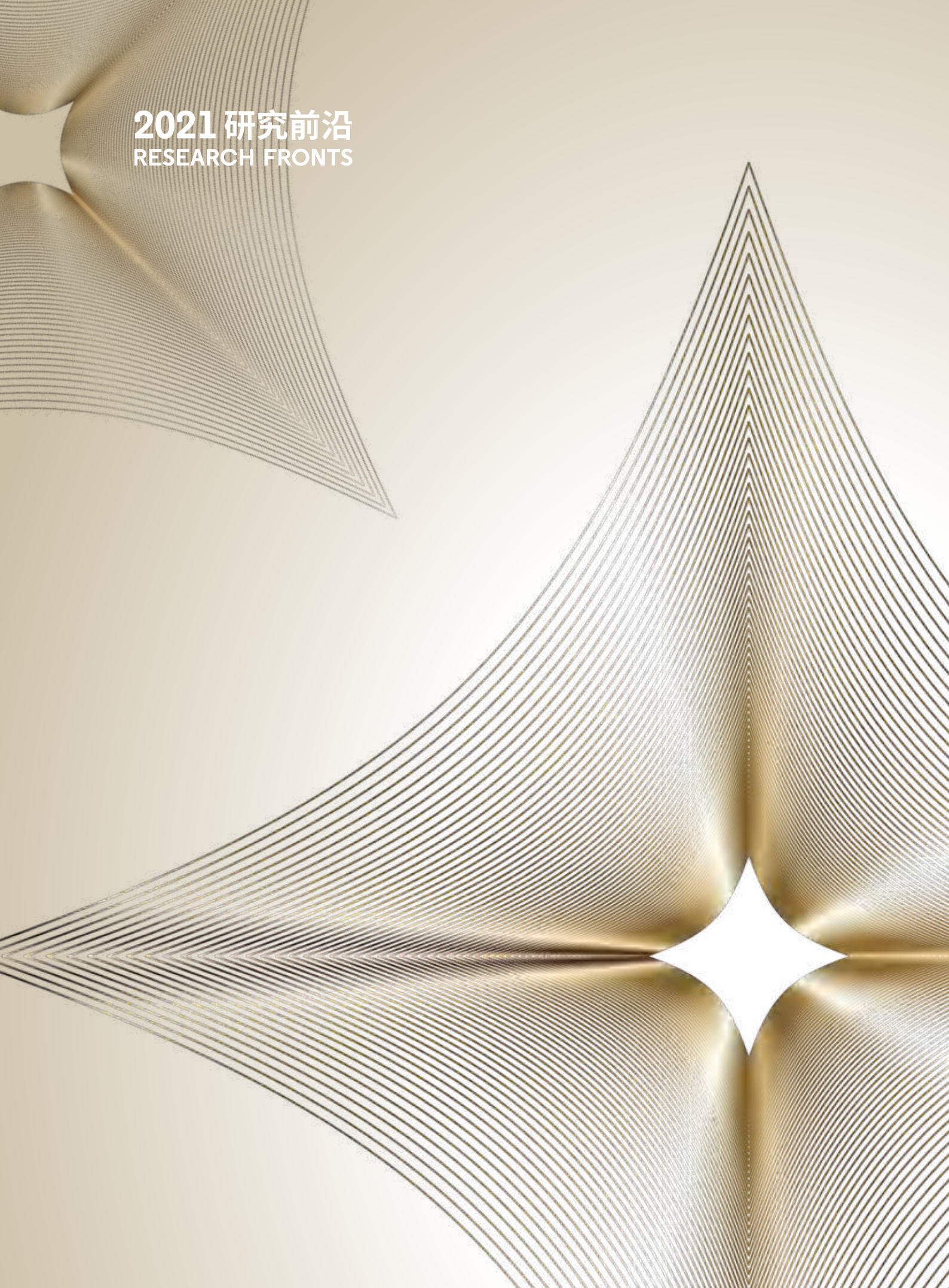
对每个学科领域遴选出的两个重点热点前沿，深入分析解读其概念内涵、发展脉络、研究力量布局等，揭示被引频次较高的核心论文的研究内容、价值、影响。

每个重点热点前沿的第一张表对该热点前沿的核心论文的产出国家、机构活跃状况进行了统计分析，有助于揭示出哪些国家、机构在该热点前沿中有较大贡献。第二张表则对该热点前沿的施引文献的产出国家和机构进行了统计分析，有助于探讨哪些国家、机构在该热点前沿的发展中的研究布局。

(2) 新兴前沿分析及重点新兴前沿的解读

新兴前沿的体量 (核心论文及其施引文献) 较小，统计数据的分析意义不大。因此，主要由战略情报研究人员揭示新兴前沿的研究主题，并对重点新兴前沿的核心论文及相关信息进行内容方面的定性分析解读，籍此可以了解重点新兴前沿的基本概念、最新科研突破及未来发展前景。

2021 研究前沿
RESEARCH FRONTS



2021 研究前沿
RESEARCH FRONTS

农业科学、植物学 和动物学



1. 热点前沿及重点热点前沿解读

1.1 农业科学、植物学和动物学领域 Top10 热点前沿发展态势

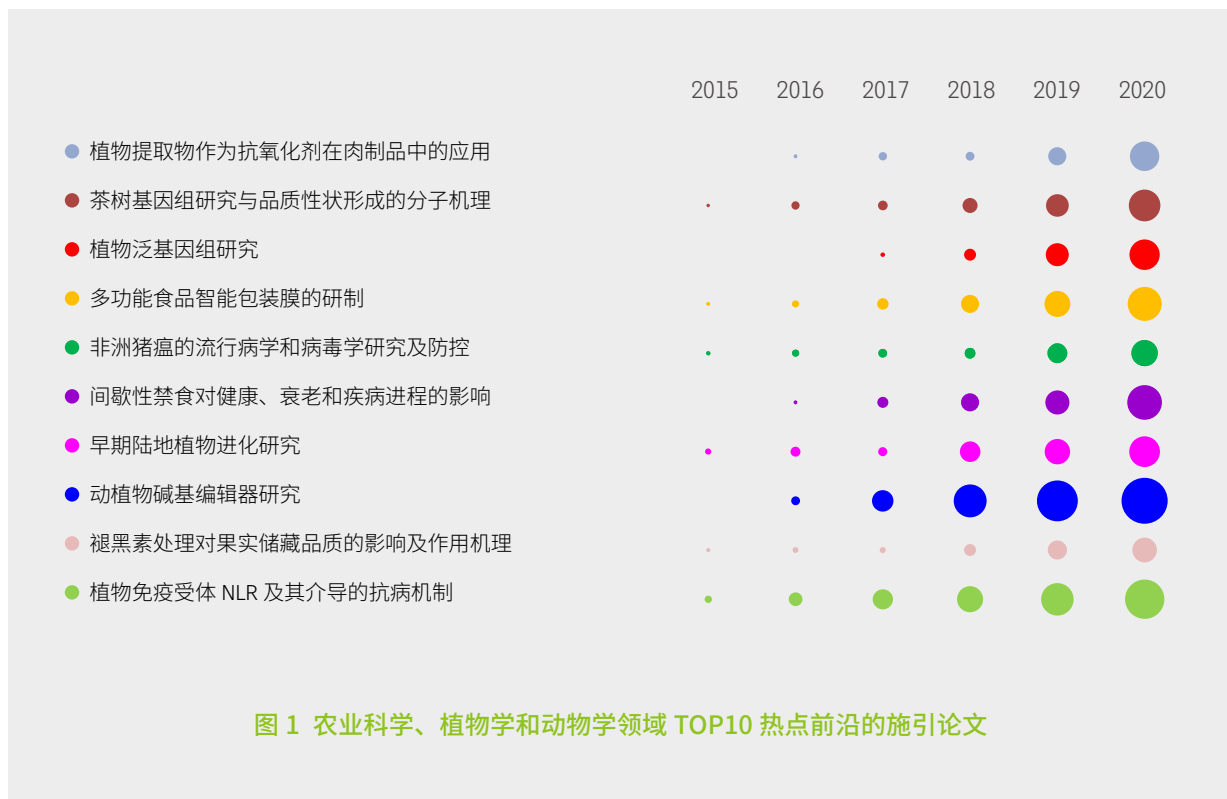
农业科学、植物学和动物学领域居于前十的热点前沿主要分布在食品科学与工程、植物基因组与编辑、动物传染病、健康饮食、植物进化、植物抗病研究等六个子领域（表 1）。其中，食品科学与工程子领域有 3 个热点前沿，分别在研究肉制品加工中植物抗氧化剂的应用、多功能食品智能包装膜、褪黑素在果实储藏中的应用。植物基因组与编辑子领域也有 3 个热点前

沿，分别在研究茶树基因组、植物泛基因组及动植物碱基编辑器。动物传染病、健康饮食、植物进化、植物抗病子领域各有 1 个热点前沿，分别在研究非洲猪瘟的流行病学和病毒学、间歇性禁食的影响、早期陆地植物进化、植物免疫受体 NLR（富含亮氨酸的重复受体蛋白）及其介导的抗病机制。与往年相比，2021 年入选的 Top10 热点前沿再次凸显近年食品科学与工程

子领域的热点前沿较受关注，其中智能包装持续出现两次，2020 年重点在研究食品智能包装薄膜的制备与表征，2021 年重点在研制多功能食品智能包装膜。此外，动物传染病研究也在近两年持续出现，2020 年重点研究猪圆环病毒，2021 年重点研究非洲猪瘟。此外，2021 年首次出现了有关饮食方式的研究，即间歇性禁食对健康、衰老和疾病进程的影响。

表 1 农业科学、植物学和动物学领域 Top10 热点前沿

排名	热点前沿	核心论文	被引频次	核心论文平均出版年
1	植物提取物作为抗氧化剂在肉制品中的应用	22	841	2019
2	茶树基因组研究与品质性状形成的分子机理	25	1131	2018.8
3	植物泛基因组研究	16	900	2018.8
4	多功能食品智能包装膜的研制	34	1757	2018.5
5	非洲猪瘟的流行病学和病毒学研究及防控	19	962	2018.5
6	间歇性禁食对健康、衰老和疾病进程的影响	17	1553	2018.4
7	早期陆地植物进化研究	23	1522	2018.4
8	动植物碱基编辑器研究	46	7308	2018.2
9	褪黑素处理对果实储藏品质的影响及作用机理	16	905	2018.2
10	植物免疫受体 NLR 及其介导的抗病机制	36	2509	2018.1



1.2 重点热点前沿——“植物泛基因组研究”

泛基因组是指存在于整个物种或群体而不是单个个体中的所有基因组序列的集合，分为核心基因组和附属基因组。核心基因组的序列存在于所有个体中，附属基因组序列仅存在于某个或某些个体中。近年来，随着不同物种参考基因组的公布及同一物种内不同个体基因组间的比较研究，人们逐渐认识到每个个体都有极具个性特征的遗传性状，单一参考基因组并不能代表物种内的多样性，因此出现了泛基

因组这一概念。该概念最初于 2005 年由美国马里兰大学医学院微生物与免疫学系、基因组科学研究所的 Herve Tettelin 等人在微生物组学领域提出，之后很快被拓展并应用于动植物基因组学领域，有专家 2019 年发表综述文章指出，随着泛基因组从细菌到植物和动物的应用，基因组研究进入了泛基因组学时代。泛基因组研究对充分挖掘生物遗传变异资源、鉴定品系特有性状调控基因、培育更适应不同环境和高质优

产的农业动植物品种等意义重大。

该前沿共有核心论文 16 篇，包括 13 篇研究性论文和 3 篇综述性论文。13 篇研究性论文的研究对象涉及甘蓝型油菜、番茄、水稻、小麦和向日葵等，主要研究内容包括：甘蓝型油菜泛基因组的结构和生态型分化、组装与比较及抗病基因的鉴定，基于泛基因组研究的番茄水果风味基因的挖掘及拉丁美洲栽培番茄的驯化历史，栽培稻和野生稻的基因组变异，向

日葵的遗传多样性及栽培种与野生种的亲缘关系等。3篇综述性论文主要综述了植物泛基因组学的研究方法、在作物改良中的应用和研究进展，并探讨了基因存在和缺失变异的起源，及泛基因组对植物生物学、育种和进化研究

的影响等。在这16篇论文中，被引频次最高的1篇是研究性论文，被引用了252次（图2）。该论文于2018年发表在《Nature》期刊上，由来自中国农业科学院、国际水稻研究所、上海交通大学、深圳华大基因、美国亚利桑那大学等机

构的研究人员合作完成，研究了3010个亚洲栽培水稻基因组的遗传变异、群体结构和多样性，为水稻基因组学研究和育种提供了重要资源。

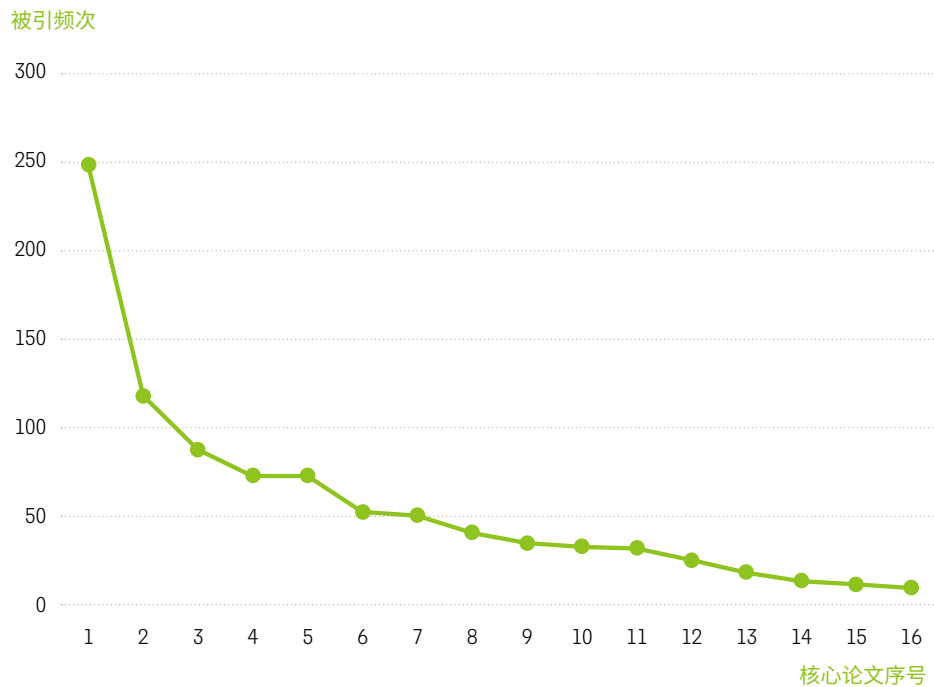
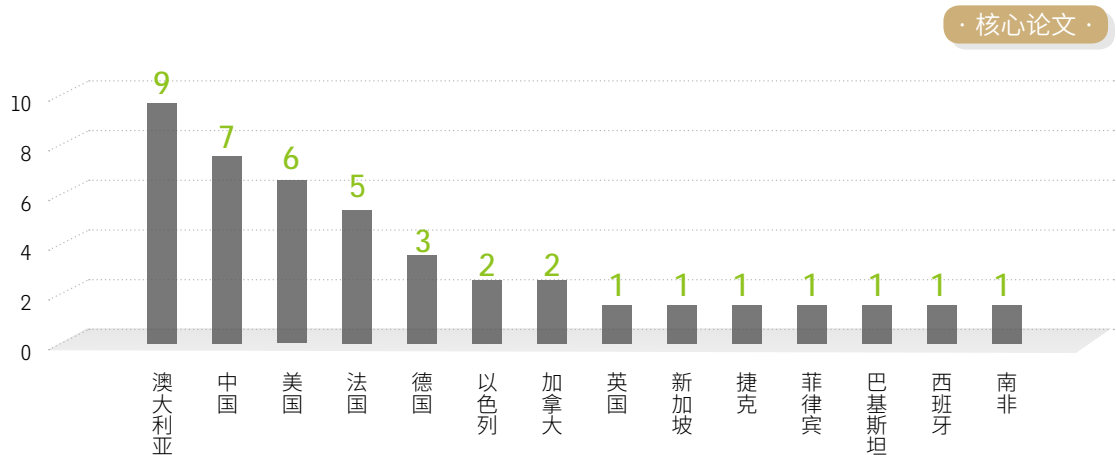


图2 “植物泛基因组研究” 研究前沿中核心论文的被引频次分布曲线

核心论文 Top10 产出国家和机构中（表 2），澳大利亚贡献率最高，超过一半，为 56.3%；排在第二位的中国，贡献率也较高，为 43.8%；美国贡献率为 37.5%，排名第三。澳大利亚的西澳大利亚大学在 Top10 机构中名列第一，贡献率为 43.8%；中国的中国农业科学院贡献率为 31.3%，位列第二。

表 2 “植物泛基因组研究”研究前沿中核心论文的 TOP 产出国家和机构

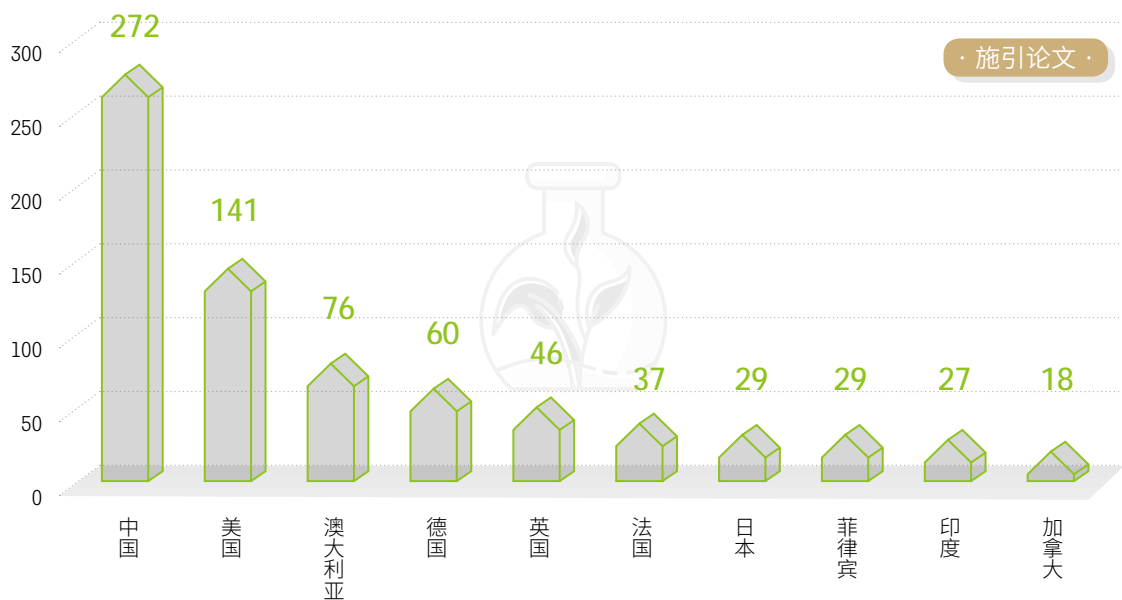
排名	国家	核心论文	比例	排名	机构	所属国家	核心论文	比例
1	澳大利亚	9	56.3%	1	西澳大利亚大学	澳大利亚	7	43.8%
2	中国	7	43.8%	2	中国农业科学院	中国	5	31.3%
3	美国	6	37.5%	3	墨尔本大学	澳大利亚	4	25.0%
4	法国	5	31.3%	3	昆士兰大学	澳大利亚	4	25.0%
5	德国	3	18.8%	3	法国国家农业食品与环境研究院	法国	4	25.0%
6	以色列	2	12.5%	6	乔治亚大学	美国	3	18.8%
6	加拿大	2	12.5%	6	华中农业大学	中国	3	18.8%
8	英国	1	6.3%	6	法国国家科学研究中心	法国	3	18.8%
8	新加坡	1	6.3%	6	巴黎-萨克雷大学	法国	3	18.8%
8	捷克	1	6.3%	10	佛罗里达大学	美国	2	12.5%
8	菲律宾	1	6.3%	10	中国科学院	中国	2	12.5%
8	巴基斯坦	1	6.3%	10	南十字星大学	澳大利亚	2	12.5%
8	西班牙	1	6.3%					
8	南非	1	6.3%					



施引论文产出国家和机构中（表3），核心论文产出排名第二的澳大利亚排名第三，占比约12%。中美澳在核心论文和施引论文产出方面均名列前三，表现突出。施引机构方面，中国的中国农业科学院、中国科学院、华中农业大学依次排名前三。

表3 “植物泛基因组研究”研究前沿中施引论文的TOP产出国家和机构

排名	国家	施引论文	比例	排名	机构	所属国家	施引论文	比例
1	中国	272	43.7%	1	中国农业科学院	中国	93	15.0%
2	美国	141	22.7%	2	中国科学院	中国	55	8.8%
3	澳大利亚	76	12.2%	3	华中农业大学	中国	49	7.9%
4	德国	60	9.6%	4	国际农业研究磋商小组	菲律宾	29	4.7%
5	英国	46	7.4%	5	法国国家农业食品与环境研究院	法国	27	4.3%
6	法国	37	5.9%	6	西澳大利亚大学	澳大利亚	26	4.2%
7	日本	29	4.7%	7	美国农业部	美国	19	3.1%
7	菲律宾	29	4.7%	8	中国农业大学	中国	18	2.9%
9	印度	27	4.3%	8	法国国家科学研究中心	法国	18	2.9%
10	加拿大	18	2.9%	10	吉森大学	德国	17	2.7%



1.3 重点热点前沿——“动植物碱基编辑器研究”

碱基编辑器 (Base Editor) 是基于 CRISPR/Cas 基因编辑系统发展起来的新型靶基因修饰技术，可以在不切断核酸骨架的情况下实现单核苷酸定点突变，在基因组和转录组编辑过程中能够直接化学修饰靶核碱基。有专家认为，如果说 CRISPR 是基因编辑的皇冠，那么碱基编辑器就是皇冠上的明珠。2017 年，哈佛大学 David Liu 教授因创建新型碱基编辑器被评为“Science 年度十大突破”，并入选“Nature 年度十大人物”。

该前沿共有核心论文 46 篇，其中 42 篇发表在《Nature》、

《Science》或其子刊上。研究主要集中于 DNA 碱基编辑器，其中研究胞嘧啶碱基编辑器的论文偏多，研究腺嘌呤碱基编辑器的论文数量相对较少。编辑对象涉及小鼠、斑马鱼、拟南芥、水稻、小麦、玉米、番茄、甘蓝型油菜、马铃薯等。对小鼠、斑马鱼和拟南芥的基因编辑主要是将其作为模式动植物开展研究，旨在改进碱基编辑器，或者构建人类疾病模型。对水稻、小麦、玉米、番茄等作物的编辑应用，主要是为了建立相应的编辑技术实现作物遗传改良，其中对水稻进行碱基编辑的研究应用较多。在这 46 篇论文中，被引频

次排名前 2 位的分别被引了 1174 次和 786 次，均是哈佛大学教授 David Liu 团队的论文。第 1 篇论文即首度报道构建出一种新的碱基编辑器的论文，该论文于 2016 年发表在《Nature》上开发出了胞嘧啶碱基编辑器 (Cytidine base editors, CBEs)，将 G.C 碱基对变换为 T.A 碱基对。第 2 篇论文，于 2017 年发表于在《Nature》上报道了他们开发的腺嘌呤碱基编辑器 (Adenine Base Editor, ABEs)，实现了腺嘌呤编辑，即 A.T 碱基对变换为 G.C 碱基对，这两篇论文意味着利用碱基编辑器可以实现碱基之间的自由转换。

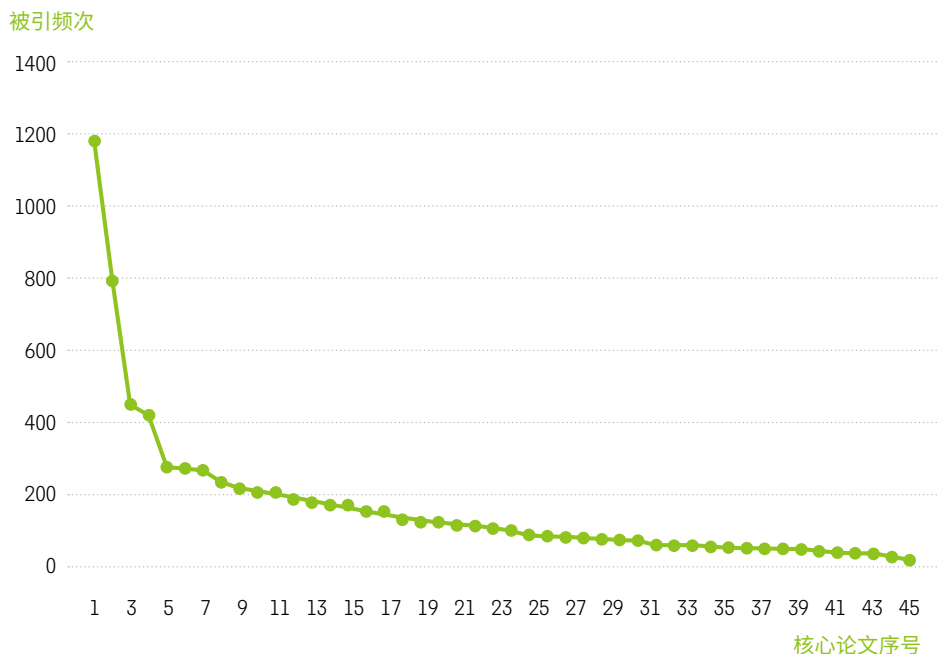


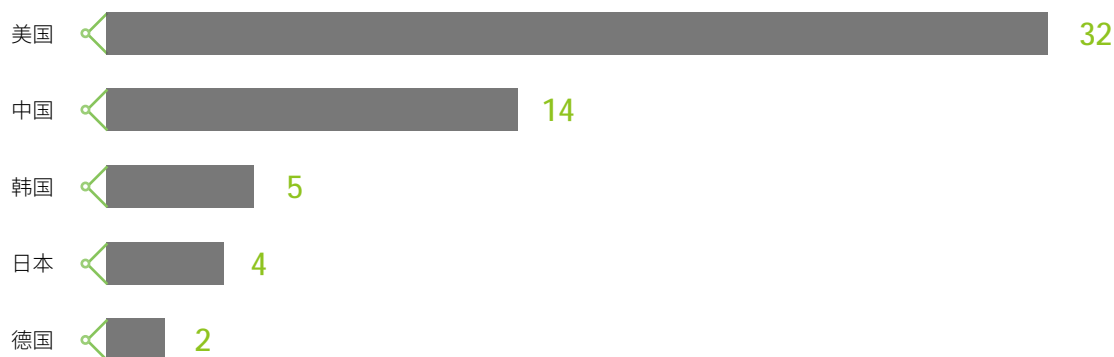
图 3 “动植物碱基编辑器研究” 研究前沿中核心论文的被引频次分布曲线

核心论文产出国家和机构分析显示（表4），主要来自5个国家，分别是美国、中国、韩国、日本和德国，其中美国贡献率最高，有32篇，占比近70%；其次是美国，有14篇，占比约30%；其余三国贡献5篇或以下。机构中，美国的哈佛大学、麻省理工学院和博得研究所名列前三，占比分别为47.8%、37%和37%。总体而言，美国在该前沿表现突出，占据明显优势。

表4 “动植物碱基编辑器研究”研究前沿中核心论文的TOP产出国家和机构

排名	国家	核心论文	比例	排名	机构	所属国家	核心论文	比例
1	美国	32	69.6%	1	哈佛大学	美国	22	47.8%
2	中国	14	30.4%	2	麻省理工学院	美国	17	37.0%
3	韩国	5	10.9%	2	博得研究所	美国	17	37.0%
4	日本	4	8.7%	4	中国科学院	中国	10	21.7%
5	德国	2	4.3%	5	韩国基础科学研究所	韩国	5	10.9%
				5	首尔国立大学	韩国	5	10.9%
				7	Beam Therapeutics 公司	美国	4	8.7%
				7	波士顿儿童医院	美国	4	8.7%
				7	中国农业科学院	中国	4	8.7%
				7	加州大学圣迭戈分校	美国	4	8.7%
				7	马萨诸塞州综合医院	美国	4	8.7%

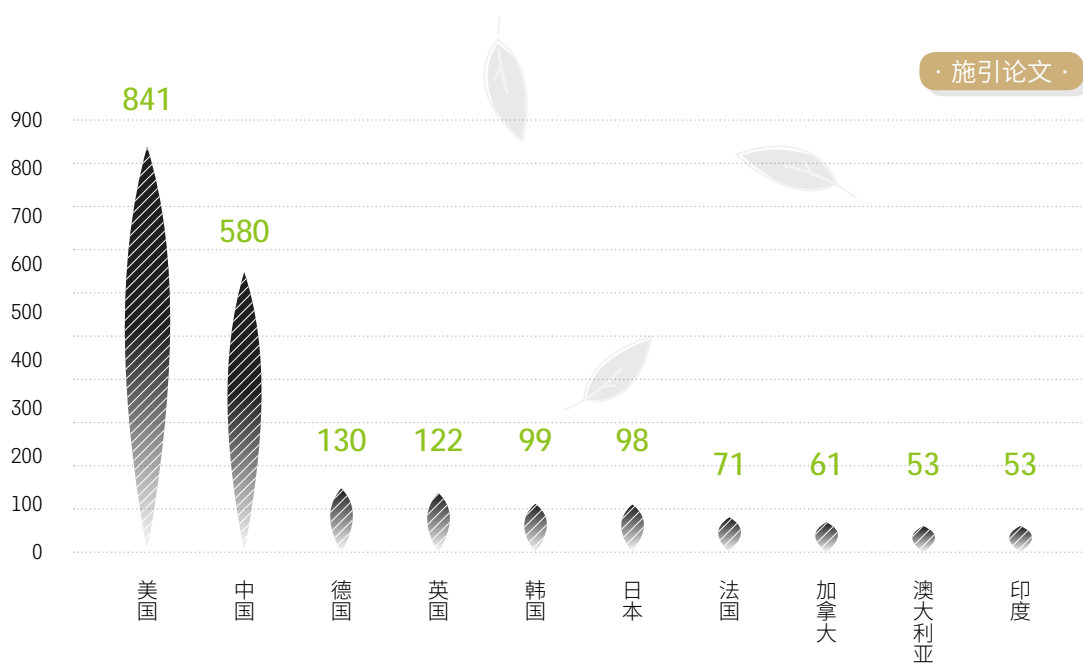
· 核心论文 ·



施引论文产出国家和机构中(表 5)，核心论文产出排名第一的美国其施引论文产出也最多，占比约 41%，中国与核心论文排名一样，依然排在第二位，占比约为 28%。其后依次是德国和英国，占比为 6% 左右。中国科学院、哈佛大学和麻省理工学院在机构排名中位于前三，占比在 5% ~ 10% 之间。

表 5 “动植物碱基编辑器研究”研究前沿中施引论文的 TOP 产出国家和机构

排名	国家	施引论文	比例	排名	机构	所属国家	施引论文	比例
1	美国	841	40.5%	1	中国科学院	中国	192	9.2%
2	中国	580	27.9%	2	哈佛大学	美国	148	7.1%
3	德国	130	6.3%	3	麻省理工学院	美国	109	5.2%
4	英国	122	5.9%	4	博德研究所	美国	91	4.4%
5	韩国	99	4.8%	5	哈佛医学院	美国	77	3.7%
6	日本	98	4.7%	6	中国农业科学院	中国	55	2.6%
7	法国	71	3.4%	7	上海科技大学	中国	53	2.5%
8	加拿大	61	2.9%	8	斯坦福大学	美国	43	2.1%
9	澳大利亚	53	2.5%	9	上海交通大学	中国	39	1.9%
9	印度	53	2.5%	9	加州大学圣迭戈分校	美国	39	1.9%



2. 新兴前沿及重点新兴前沿解读

2.1 新兴前沿概述

农业科学、植物学和动物学领域有 4 个方向入选新兴前沿（表 6），聚焦农田土壤污染修复和植物抗逆研究。

表 6 农业科学、植物学和动物学领域新兴前沿

序号	新兴前沿	核心论文	被引频次	核心论文平均出版年
1	农田土壤铜污染的植物修复研究	15	320	2019.8
2	植物抗胁迫的系统信号传导	12	230	2019.7
3	提高植物抗非生物胁迫性的调节因子	7	182	2019.7
4	产 ACC 脱氨酶根际促生菌对作物干旱胁迫的缓解作用	6	125	2019.7

2.2 重点新兴前沿解读——“产 ACC 脱氨酶根际促生菌对作物干旱胁迫的缓解作用”

一直以来，植物与微生物的有益互动，尤其是植物根际促生菌（PGPR）如何调控和影响作物抗旱性，是旱作农业重点关注的问题之一。其中含 1-氨基环丙烷-1-羧酸（ACC）脱氨酶活性的植物根际促生细菌更是目前国内外的研究热点之一，其在促进植物生长，延缓植物衰老和增强植物抗逆性等方面具

有广阔的应用前景。ACC 脱氨酶具有降解乙烯前体物 ACC，能有效抑制乙烯的生物合成，达到延缓植物衰老的效果。用含 ACC 脱氨酶的 PGPR 接种植物，可降低乙烯含量，从而减轻非生物胁迫对植物生长和发育产生的影响。

该新兴前沿共有核心论文 6 篇，

主要研究内容包括：干旱胁迫下产生 ACC 脱氨酶的 PGPR 对小麦生长和产量参数的影响；在无菌条件下筛选含可以提高玉米耐旱性的 ACC 脱氨酶的 PGPR；含 ACC 脱氨酶的 PGPR 和生物炭的联合施用对缓解小麦干旱，及干旱胁迫下提高玉米生长和生产力的有效性等。

2021 研究前沿
RESEARCH FRONTS

生态与环境科学



1. 热点前沿及重点热点前沿解读

1.1 生态与环境科学领域 Top 10 热点前沿发展态势

生态与环境科学领域的 Top 10 热点前沿主要分布在生态科学和环境科学两个子领域（表 7 和图 4），全球性的生态环境问题及新冠肺炎疫情相关的生态环境问题是主要关注点。

具体来看，环境科学子领域的热点前沿主要涉及新冠肺炎疫情相关环境研究，空气污染相关研究，及全氟化合物、汞、微塑料等全球性传统和新污染物的环境特征、风险与控制研究。2020 年新冠肺炎疫情在全球肆虐，该领域的 2 个热点前沿展现了新冠肺炎疫情与环境的相互影响，包括“空气、水体、物体表面等环境中新型冠状病毒的检测与传播”和“新冠肺炎疫情期

间的封锁隔离措施对空气质量的影响”。空气污染是 2021 年热点前沿的焦点，相关前沿包括 3 个，分别是“低成本大气颗粒物传感器性能评估”、“气溶胶与大气边界层相互作用及其对空气质量的影响”和“全球空气污染造成的死亡率和疾病负担估计”。其中，“气溶胶与大气边界层相互作用及其对空气质量的影响”相关研究曾入选 2020 年的热点研究前沿。此外，“新冠肺炎疫情期间的封锁隔离措施对空气质量的影响”也同时是空气污染相关的前沿。全球性污染物相关前沿包括“燃煤及工业烟气中汞污染的消除”、“微塑料在土壤中的暴露及对土壤生态系统的影响”和“全氟和多氟烷基化合物的分布、暴露、

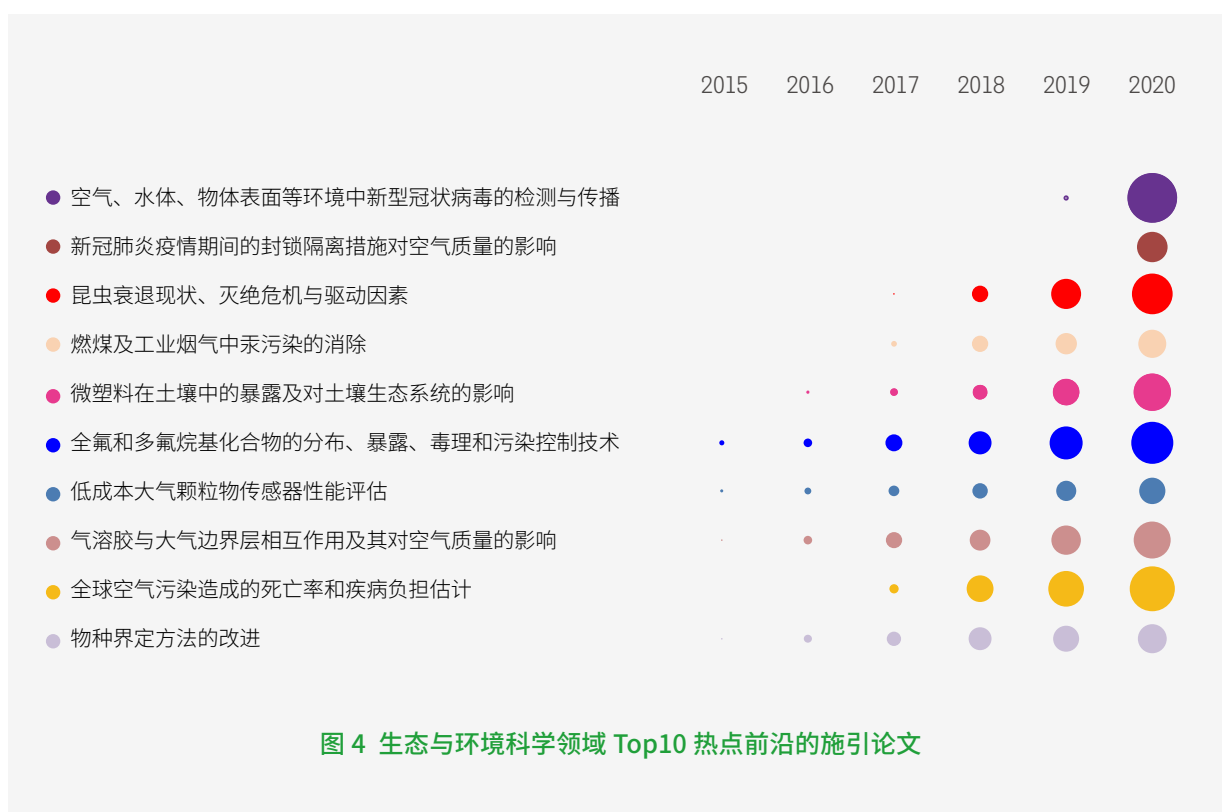
毒理和污染控制技术”。这三个前沿所涉及污染物均是在全球范围内带来重大、长期生态环境风险，受到全球关注的典型污染物，多年入选环境领域的热点前沿。如汞污染相关研究分别在 2016、2017、2020 年入选热点前沿；微塑料污染相关研究分别在 2015、2016、2017、2020 年入选热点前沿；全氟化合物相关研究在 2020 年和 2021 年连续被列入热点前沿。

生态科学子领域的热点前沿主要涉及生物多样性和物种分类两个方面，具体包括“昆虫衰退现状、灭绝危机与驱动因素”和“物种界定方法的改进”。

表 7 生态与环境科学领域 Top 10 热点前沿

排名	热点前沿	核心论文	被引频次	核心论文平均出版年
1	空气、水体、物体表面等环境中新型冠状病毒的检测与传播	31	1843	2020
2	新冠肺炎疫情期间的封锁隔离措施对空气质量的影响	27	1295	2020
3	昆虫衰退现状、灭绝危机与驱动因素	20	1828	2019.4
4	燃煤及工业烟气中汞污染的消除	27	1225	2018.9
5	微塑料在土壤中的暴露及对土壤生态系统的影响	29	2657	2018.2
6	全氟和多氟烷基化合物的分布、暴露、毒理和污染控制技术	36	3008	2018.1
7	低成本大气颗粒物传感器性能评估	17	1395	2018.1

排名	热点前沿	核心论文	被引频次	核心论文平均出版年
8	气溶胶与大气边界层相互作用及其对空气质量的影响	22	1977	2018
9	全球空气污染造成的死亡率和疾病负担估计	3	1884	2018
10	物种界定方法的改进	11	1351	2018



1.2 重点热点前沿——“昆虫衰退现状、灭绝危机与驱动因素”

昆虫是生态系统的重要组成部分，对整个生物圈包括人类的生存影响深远。昆虫在生态系统中扮演着分解者、植食者、传粉者、捕食者或寄生者的角色，而其本身又是其它动植物的猎物。昆虫生物多

样性和数量的减少，不仅会影响包括植物授粉在内的生态系统服务功能，还会影响食物链中以它为食的动植物等的生存，造成食物网和生态系统的崩溃，引起巨大的生态、环境级联效应，进而造成社会和经

济损失。

近年来，随着人类活动导致的生境破碎化、栖息地丧失、化肥农药的大量使用和有毒化学品在环境中的广泛扩散、气候变化等，全球

昆虫生物多样性已经呈现急剧下降的趋势。但是，由于昆虫衰退的过程是很宏观的，身处其中的人类很难获得足够直观、深刻的体会，且除美欧等部分发达国家外，昆虫生物多样性的监测极不充分，其衰退和多样性丧失状况被严重低估。

该热点前沿的核心论文有 20 篇，研究内容主要是飞虫、节肢动物等陆生和水生昆虫的种类和丰度在全球范围以及美欧等地区的监测与下降状况，昆虫衰退的主要驱动因素，及昆虫多样性的下降与生态系统功能的相互作用。该前沿的论文给出了全球多地出现昆虫多样性衰退的令人震惊的

科学证据。2017 年，荷兰奈梅亨大学等机构的研究人员在《Plos One》上发表的论文显示，1989-2016 年，德国各地飞虫生物量普遍减少了 76%。该文基于数据揭示的昆虫多样性和生物量衰退的现象引起很大震动，论文被引频次最高，达到 663 次（图 5）。澳大利亚悉尼大学的研究人员 2019 年在《Biological Conservation》上刊发了一篇关于全球范围内昆虫减少现状及其驱动因素的综述，强调了全球近一半的昆虫物种正在迅速减少，三分之一正濒危灭绝，指出栖息地丧失、农业集约化、污染、病原体和生物入侵等生物因素，及气候变化是最主要的驱动因素。该论文被引用 446 次，

是被引频次第二高的论文。

2020 年，欧盟发布了面向 2030 年的生物多样性战略，七国集团科学院发布关于全球昆虫衰退及对关键生态系统服务的潜在危害的联合声明，联合国第五版《全球生物多样性展望》指出当前生物多样性的丧失速度之快在人类历史中前所未见。今年，《生物多样性公约》第十五次缔约方大会在中国召开。该热点前沿揭示的研究与这些国际行动共同为人类拉响了警报，呼吁人类亟需采取变革行动，保护地球的生物多样性。

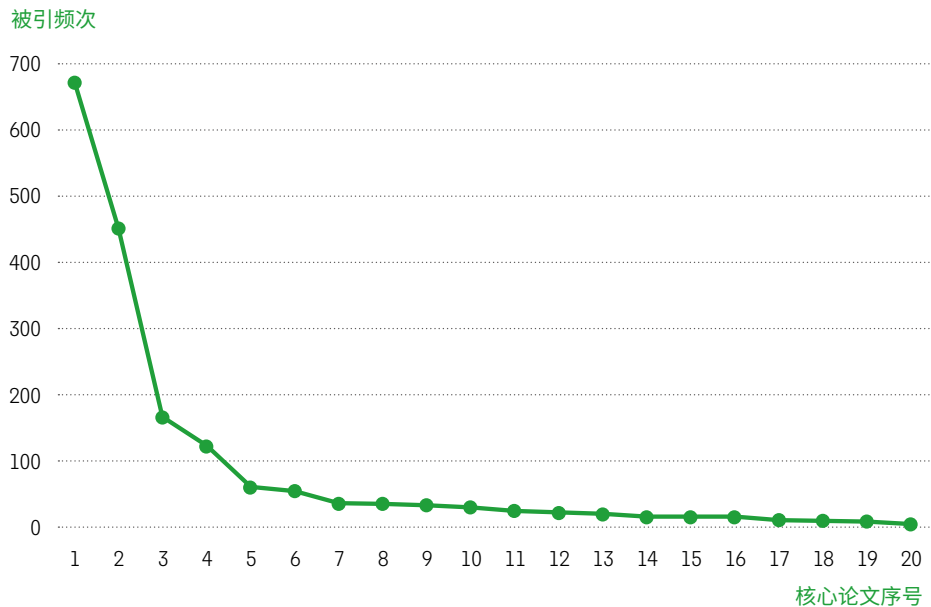
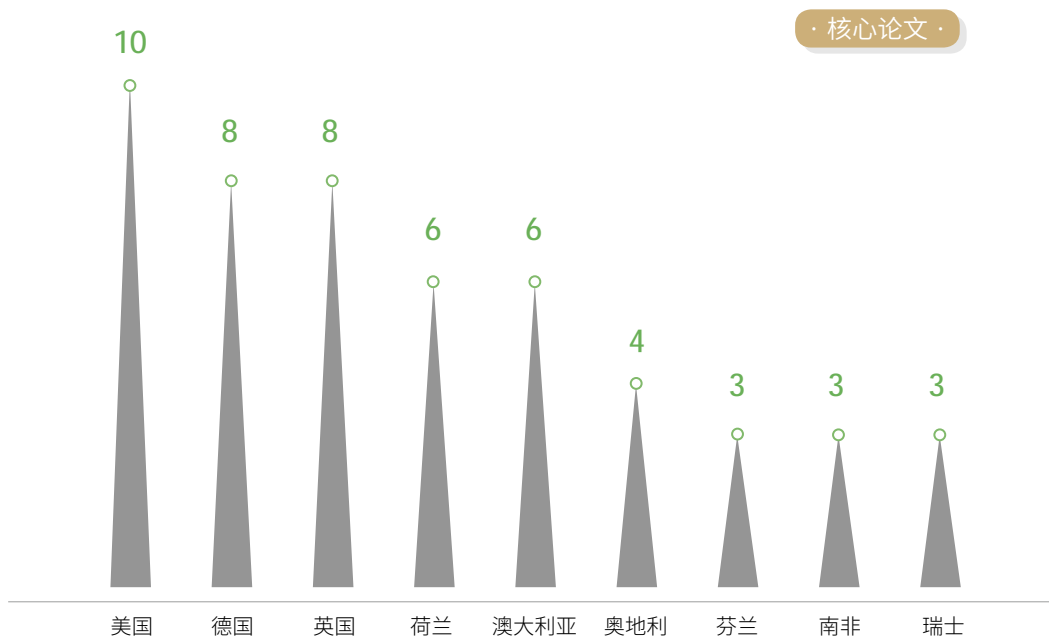


图 5 “昆虫衰退现状、灭绝危机与驱动因素” 研究前沿中核心论文的被引频次分布曲线

统计分析核心论文产出的国家和机构（表 8），核心论文来源国有 23 个，发表 3 篇及以上核心论文的国家有 9 个。美国核心论文数有 10 篇，占核心论文总数的一半；最多的前两位机构分别是荷兰的奈梅亨大学和奥地利的萨尔茨堡大学。

表 8 “昆虫衰退现状、灭绝危机与驱动因素”研究前沿中核心论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	核心论文	比例	排名	机构	所属国家	核心论文	比例
1	美国	10	50.0%	1	奈梅亨大学	荷兰	5	25.0%
2	德国	8	40.0%	2	萨尔茨堡大学	奥地利	4	20.0%
2	英国	8	40.0%	3	生物多样性综合研究中心	德国	3	15.0%
4	荷兰	6	30.0%	3	斯坦陵布什大学	南非	3	15.0%
4	澳大利亚	6	30.0%	3	亥姆霍兹联合会	德国	3	15.0%
6	奥地利	4	20.0%	3	慕尼黑工业大学	德国	3	15.0%
7	芬兰	3	15.0%	3	新英格兰大学	澳大利亚	3	15.0%
7	南非	3	15.0%	3	哈珀亚当斯大学	英国	3	15.0%
7	瑞士	3	15.0%					



从施引论文的来源国家和机构来看(表9),美国、德国和英国是施引论文的前三位来源国。施引论文的Top来源机构主要来自德国和法国等,施引论文前十位机构中,德国有5家,法国有3家。施引论文最多的3家机构分别是法国国家科学研究中心、德国亥姆霍兹联合会和法国国家

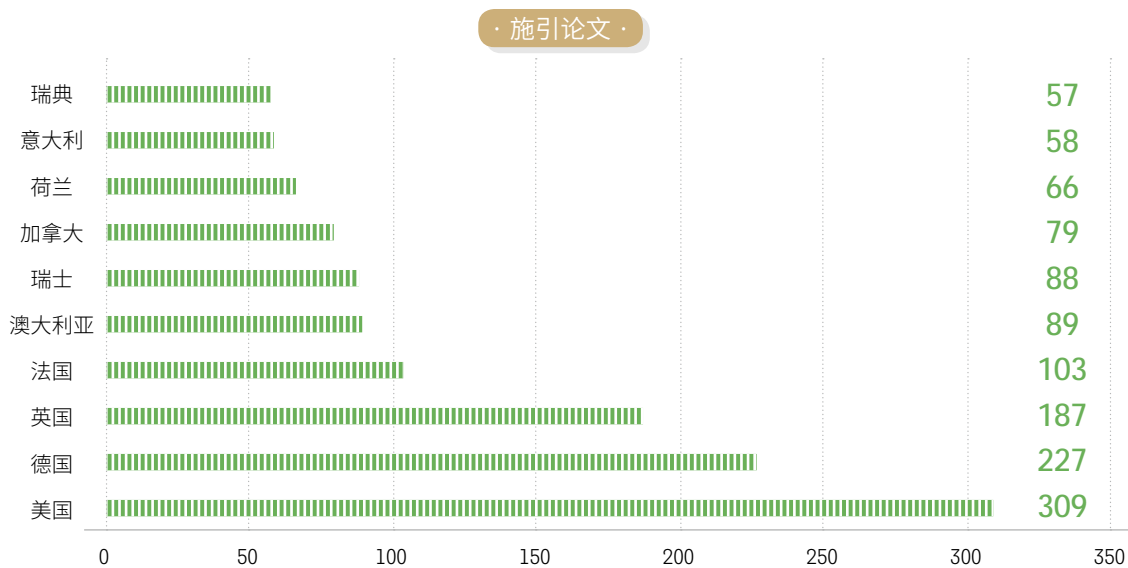
农业食品与环境研究院。

综合核心论文和施引论文的表现,美国、德国、英国、荷兰、法国等美欧发达国家表现突出,这些国家均是昆虫多样性研究与监测工作开展较早、较系统的国家。机构中主要以德国、法国、荷兰和奥地利

机构表现突出。荷兰奈梅亨大学和瓦格宁根大学,德国生物多样性综合研究中心和亥姆霍兹联合会,法国国家科学研究中心和国家农业食品与环境研究院,奥地利萨尔茨堡大学等贡献了较大比例的核心论文或施引论文,在该前沿中具有重要地位。

表9 “昆虫衰退现状、灭绝危机与驱动因素”研究前沿中施引论文的Top产出国家和机构

排名	国家	施引论文	比例	排名	机构	所属国家	施引论文	比例
1	美国	309	26.7%	1	法国国家科学研究中心	法国	65	5.6%
2	德国	227	19.6%	2	亥姆霍兹联合会	德国	37	3.2%
3	英国	187	16.1%	2	法国国家农业食品与环境研究院	法国	37	3.2%
4	法国	103	8.9%	4	瓦格宁根大学	荷兰	34	2.9%
5	澳大利亚	89	7.7%	5	瑞士联邦理工学院	瑞士	31	2.7%
6	瑞士	88	7.6%	6	生物多样性综合研究中心	德国	30	2.6%
7	加拿大	79	6.8%	7	赫尔辛基大学	芬兰	29	2.5%
8	荷兰	66	5.7%	8	德国森肯贝格自然研究学会	德国	27	2.3%
9	意大利	58	5.0%	9	法国发展研究所	法国	26	2.2%
10	瑞典	57	4.9%	9	瑞典农业科学大学	瑞典	26	2.2%



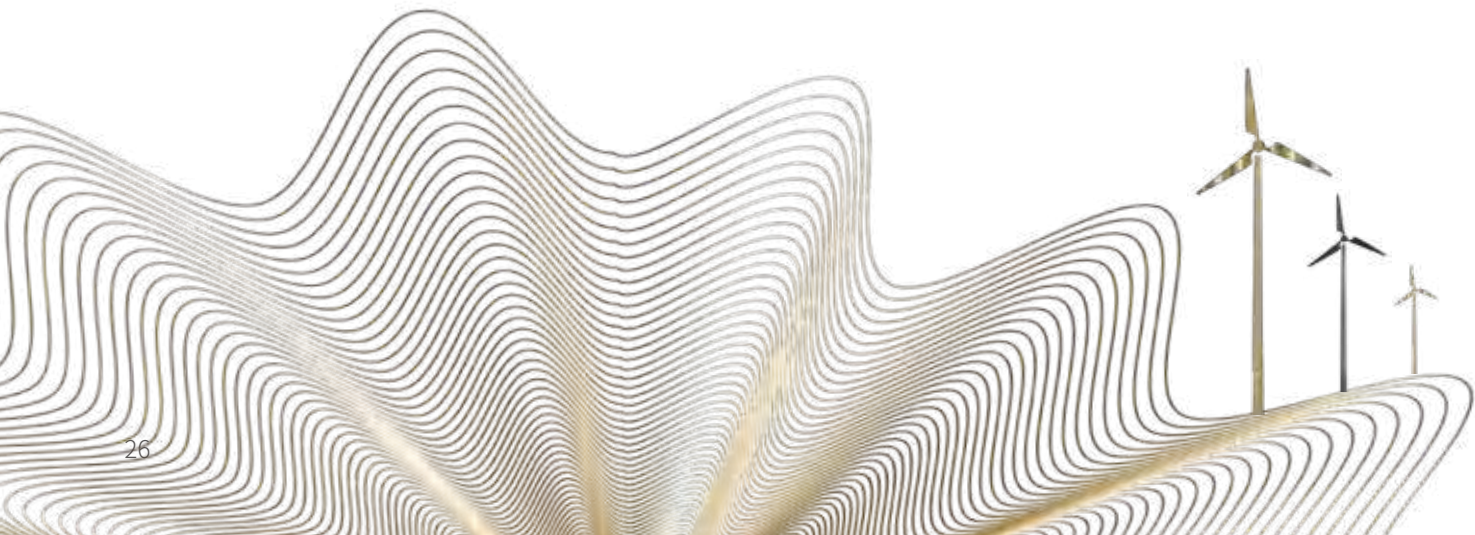
1.3 重点热点前沿——“全氟和多氟烷基化合物的分布、暴露、毒理和污染控制技术”

全氟及多氟烷基化合物 (Perfluorinated alkyl substances, PFAS, 下文简称全氟化合物) 是一大类新型持久性有机污染物 (POPs), 被广泛应用于工业生产和生活消费领域, 如纺织品的表面防污处理剂、不粘锅炊具、方便食品包装等。全氟化合物具有持久性和远距离迁移性, 可在生物体内蓄积与放大, 可产生脏器毒性、神经毒性、免疫和内分泌毒性、生殖毒性和致癌性, 已在全球各类环境介质及生物体内检出, 其对人类和环境的危害已经引起了广泛关注和国际控制行动。全氟辛酸及其盐类和相关化合物 (PFOA) 及全氟辛基磺酸及其盐类和全氟辛基磺酰氟 (PFOS) 是代表性的全氟化合物, 已被列入《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》的新增 POPs 名单。

该热点前沿的核心论文有 36 篇, 主要集中在 4 个方向: (1) 全球全氟化合物的污染状况及来源解析, 重点是地表水、地下水和饮用水等水环境中的污染; (2) 全氟化合物的毒理学和健康风险研究, 包括人体暴露途径、肝毒性、对胎儿及儿童生长发育的影响等; (3) 全氟化合物的控制技术, 包括水体中的吸附技术、氧化还原技术等; (4) 长链全氟化合物的潜在替代品, 包括新的短链和超短链全氟及多氟化合物的环境和毒理特征。

全氟化合物首次引起关注是其在美国引发的饮用水污染危机。哈佛大学陈曾熙公共卫生学院等机构的研究人员 2016 年发表在《Environmental Science & Technology Letters》上的论文对全美饮用水中全氟化合物的浓度进行了分析, 发现 600 万美国居民的饮用水中全氟

化合物的浓度超过了美国环保局制定的终身健康建议量。该论文被引用 267 次, 是该前沿被引频次最高的一篇核心论文 (图 6)。该前沿影响力较高的另一篇论文指出在 3000 多种全氟化合物中, 只有少数长链化合物得到了较充分的研究并成为国际管控清单的对象或潜在候选物质, 绝大多数其他的全氟化合物也需要得到关注。该文来自瑞典斯德哥尔摩大学等机构, 发表在《Environmental Science & Technology》上, 被引频次为 256 次。随着全氟化合物研究持续成为研究热点, 更多的科学证据不断呈现, 越来越多的该类化合物得到了深入研究, 不断引起国际关注并推动对其强化管制的国际行动。如近期, 全氟己基磺酸 (PFHxS) 及其盐类已在美欧多国引起讨论, 已经被纳入《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》的候选 POPs 名单。



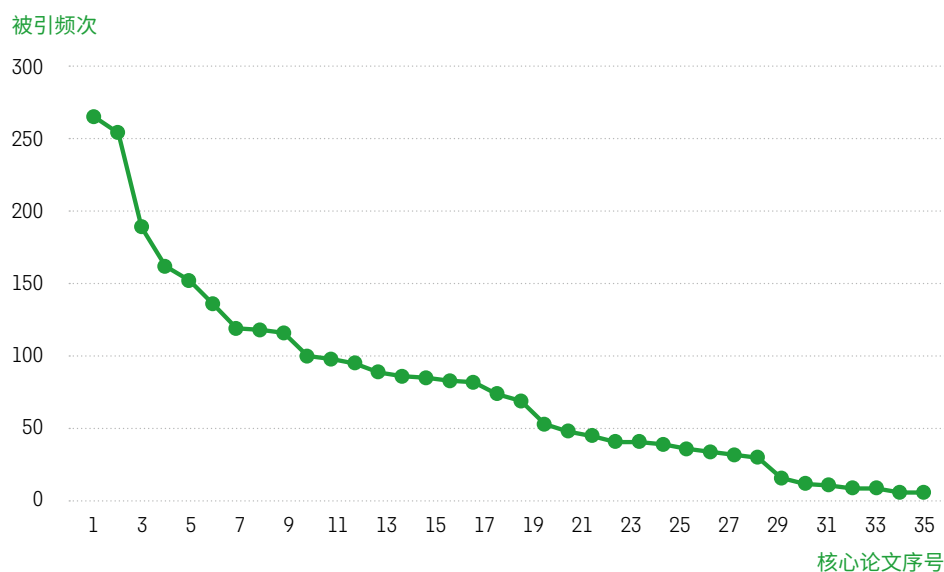


图6 “全氟和多氟烷基化合物的分布、暴露、毒理和污染控制技术”研究前沿中核心论文的被引频次分布曲线

统计分析核心论文产出的国家和机构（表10）表明，美国是贡献最大的核心论文产出国，核心论文占论文总数的47.2%，约占半数。瑞典贡献的核心论文占22.2%，排

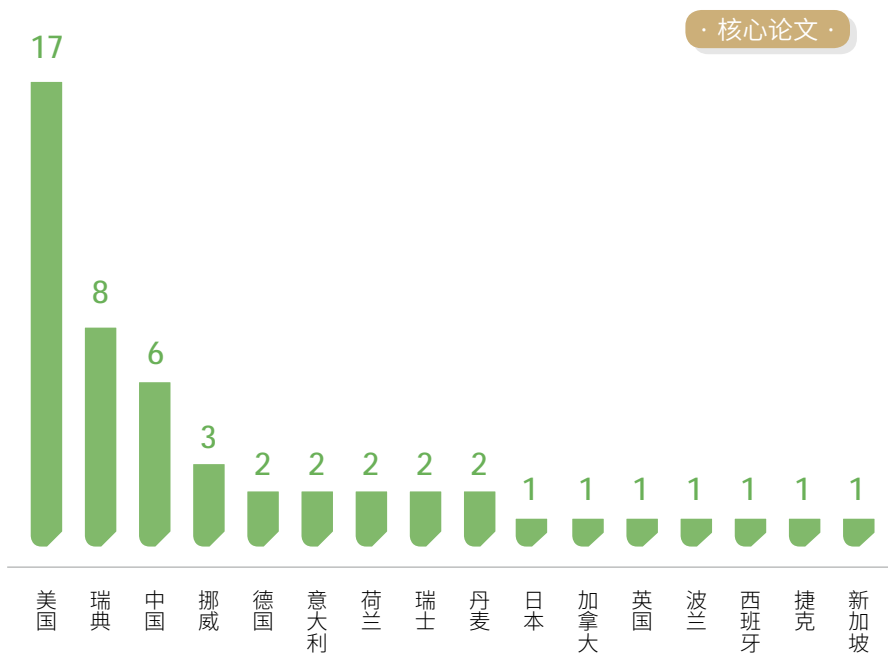
第二位，中国核心论文占16.7%，排第三。其他国家都低于10%。核心论文的产出机构主要来自美国和瑞典。其中，核心论文最多的两家机构为美国科罗拉多矿业大学和美

国环保局，各有4篇。贡献核心论文达到2篇及以上的17家机构中，美国有10家，瑞典有3家。中国科学院也贡献了2篇核心论文。

表10 “全氟和多氟烷基化合物的分布、暴露、毒理和污染控制技术”研究前沿中核心论文的Top产出国家和机构

排名	国家	核心论文	比例	排名	机构	所属国家	核心论文	比例
1	美国	17	47.2%	1	科罗拉多矿业大学	美国	4	11.1%
2	瑞典	8	22.2%	1	美国环保局	美国	4	11.1%
3	中国	6	16.7%	3	斯德哥尔摩大学	瑞典	3	8.3%
4	挪威	3	8.3%	3	寂静的春天研究所	美国	3	8.3%
5	德国	2	5.6%	5	卡罗林斯卡学院	瑞典	2	5.6%
5	意大利	2	5.6%	5	隆德大学	瑞典	2	5.6%
5	荷兰	2	5.6%	5	绿色科学政策研究所	美国	2	5.6%
5	瑞士	2	5.6%	5	中国科学院	中国	2	5.6%

排名	国家	核心论文	比例	排名	机构	所属国家	核心论文	比例
5	丹麦	2	5.6%	5	克莱姆森大学	美国	2	5.6%
10	日本	1	2.8%	5	哈佛大学	美国	2	5.6%
10	加拿大	1	2.8%	5	加州有毒物质控制部	美国	2	5.6%
10	英国	1	2.8%	5	挪威公共卫生研究所	挪威	2	5.6%
10	波兰	1	2.8%	5	北卡罗来纳大学	美国	2	5.6%
10	西班牙	1	2.8%	5	美国环境工作组	美国	2	5.6%
10	捷克	1	2.8%	5	加州大学伯克利分校	美国	2	5.6%
10	新加坡	1	2.8%	5	苏黎世联邦理工学院	瑞士	2	5.6%
				5	苏黎世联邦理工学院	瑞士	2	5.6%



从施引论文的来源国家和机构来看（表 11），美国仍是贡献最大的国家，施引论文占总论文数的 38.8%；中国贡献排第二位，占总施引论文数的 28.1%；其他国家均低于 10%。施引论文的前十位来源机构分别来自中国、美国和瑞典。其中，中国科学院以 115 篇施引论文排第

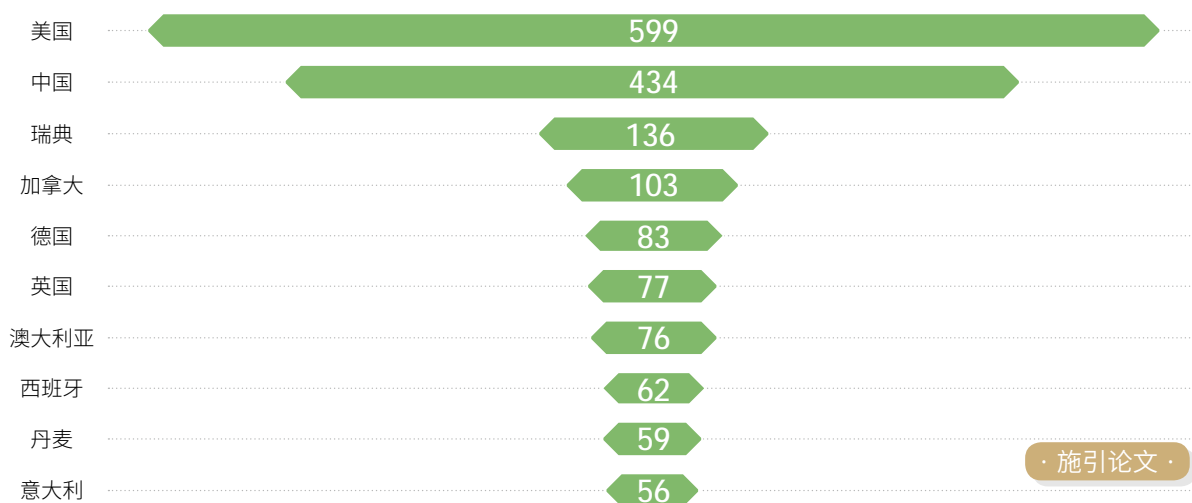
一位，南开大学排第七位；美国有 6 家机构，美国卫生部贡献的施引论文有 61 篇，排第二位，哈佛大学排并列第三位；瑞典有两家机构，分别排并列第三和第八位。

从核心论文和施引论文的贡献来看，美国、中国和瑞典在该前沿

中表现最好。美国在该前沿中居于引领地位，贡献了最多的核心论文和施引论文，表现突出的研究机构也以美国最多。瑞典在核心论文和施引论文中也有较好的表现。中国是该前沿的重要参与者，有较高的核心论文和施引论文数量，中国科学院近年在该领域的追赶表现突出。

表 11 “全氟和多氟烷基化合物的分布、暴露、毒理和污染控制技术”研究前沿中施引论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	施引论文	比例	排名	机构	所属国家	施引论文	比例
1	美国	599	38.8%	1	中国科学院	中国	115	7.5%
2	中国	434	28.1%	2	美国卫生部	美国	61	4.0%
3	瑞典	136	8.8%	3	哈佛大学	美国	52	3.4%
4	加拿大	103	6.7%	3	斯德哥尔摩大学	瑞典	52	3.4%
5	德国	83	5.4%	5	北卡罗来纳大学	美国	49	3.2%
6	英国	77	5.0%	6	美国环保局	美国	38	2.5%
7	澳大利亚	76	4.9%	7	南开大学	中国	37	2.4%
8	西班牙	62	4.0%	8	瑞典农业科学大学	瑞典	36	2.3%
9	丹麦	59	3.8%	9	科罗拉多矿业大学	美国	32	2.1%
10	意大利	56	3.6%	10	美国疾病预防控制中心	美国	31	2.0%



2. 新兴前沿及重点新兴前沿解读

2.1 新兴前沿概述

生态与环境科学领域有 2 个方向入选新兴前沿，即“气候环境因素对新冠肺炎疫情的影响”和“大气二氧化氮水平与新冠肺炎死亡率升高相关”。

表 12 生态与环境科学领域新兴前沿

序号	新兴前沿	核心论文	被引频次	核心论文平均出版年
1	气候环境因素对新冠肺炎疫情的影响	23	923	2020
2	大气二氧化氮水平与新冠肺炎死亡率升高相关	2	263	2020

2.2 重点新兴前沿解读——“大气二氧化氮水平与新冠肺炎死亡率升高相关”

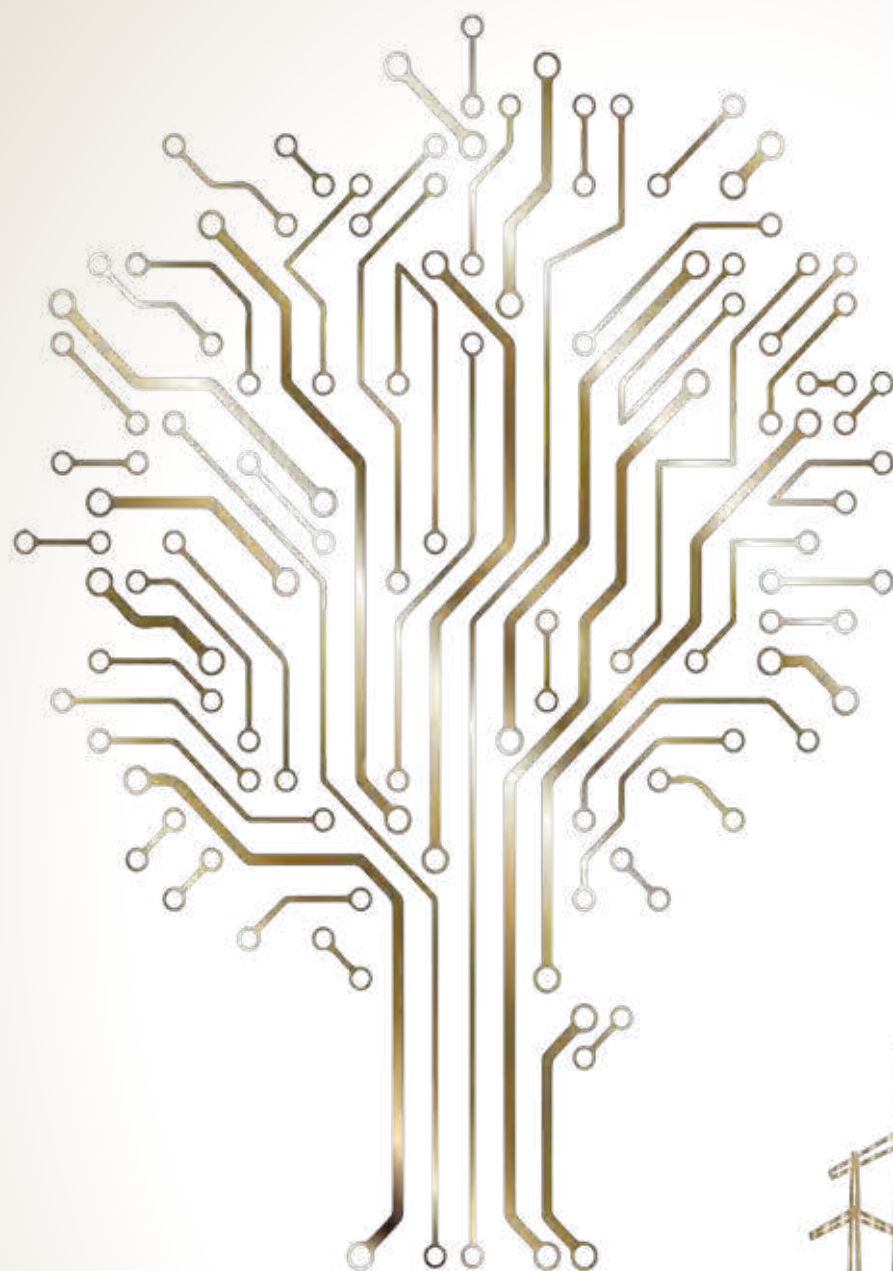
空气污染对人类健康具有重大影响。二氧化氮是由柴油车和其他化石燃料燃烧产生的一种空气污染物，可对人类的呼吸系统产生损害，导致高血压、糖尿病、心血管病等。随着新冠肺炎疫情的持续，科学家对新型冠状病毒的了解越来越深入。空气污染，如氮氧化物污染是否对新冠肺炎的流行及死亡率有所影响，引起了科学家的兴趣。

该新兴前沿的主要内容是探讨长期接触二氧化氮与新冠肺炎致死率之间的关系。德国马丁路德大学的研究人员在《*Science of the Total Environment*》上发表的论文对新冠肺炎疫情震中的空气污染数据进行了研究，结果发现，二氧化氮污染浓度与新冠病死率具有显著的相关性。在意大利、西班牙、法国和德国的共 4443 例死亡病例中，

3487 例（78%）都发生在五个氮氧化物浓度最高的地区。同样，来自丹麦奥胡斯大学等机构的研究小组发表在《*Environmental Pollution*》上的研究也指出，意大利的空气污染与新冠肺炎死亡率之间存在显著的相关性。未来应进一步研究空气污染因素与新冠肺炎死亡率升高的确切因果关系。

2021 研究前沿

RESEARCH FRONTS



2021 研究前沿
RESEARCH FRONTS

地球科学



1. 热点前沿及重点热点前沿解读

1.1 地球科学领域 Top 10 热点前沿发展态势

地球科学领域 Top10 热点前沿中有 4 个属于地理学相关研究，3 个属于地质学，3 个属于大气科学研究。从研究主题上看，地球科学领域 Top 10 热点前沿更加聚焦全球气候变化。其中，利用地球系统模型开展的气候敏感性评估和全球气候变化研究等主题自 2015 年起

已 4 次入选《研究前沿》报告，展现出地学界对人类活动与气候变化研究的持续关注。从研究方法上看，利用天基探测平台开展地球科学研究的特点更加突出，再次印证了遥感和信息技术进步对地球科学发展的巨大推动作用，例如：基于数字高程模型的高亚洲冰川质量变化研

究，基于多个卫星数据的全球火灾排放评估，基于日光诱导叶绿素荧光卫星数据的植被总初级生产量评估，全球降水数据集的研制与评估，卫星土壤湿度数据产品评估与验证等。

表 13 地球科学领域 Top 10 热点前沿

排名	热点前沿	核心论文	被引频次	核心论文平均出版年
1	基于多种地球系统模型的气候敏感性评估	43	1895	2019.2
2	基于数字高程模型的高亚洲冰川质量变化研究	25	2076	2018.1
3	华北克拉通金矿床时空演化与构造环境研究	26	1985	2018
4	基于多个卫星数据的全球火灾排放评估	9	1163	2018
5	南极洲和格陵兰岛冰量损失对海平面变化的影响	38	4211	2017.8
6	基于日光诱导叶绿素荧光卫星数据的植被总初级生产量评估	29	2272	2017.7
7	太古代大陆地壳演化与板块构造研究	19	1475	2017.7
8	煤中稀土元素地球化学研究	14	1257	2017.6
9	全球降水数据集的研制与评估	7	1254	2017.6
10	卫星土壤湿度数据产品评估与验证	25	2511	2017.5

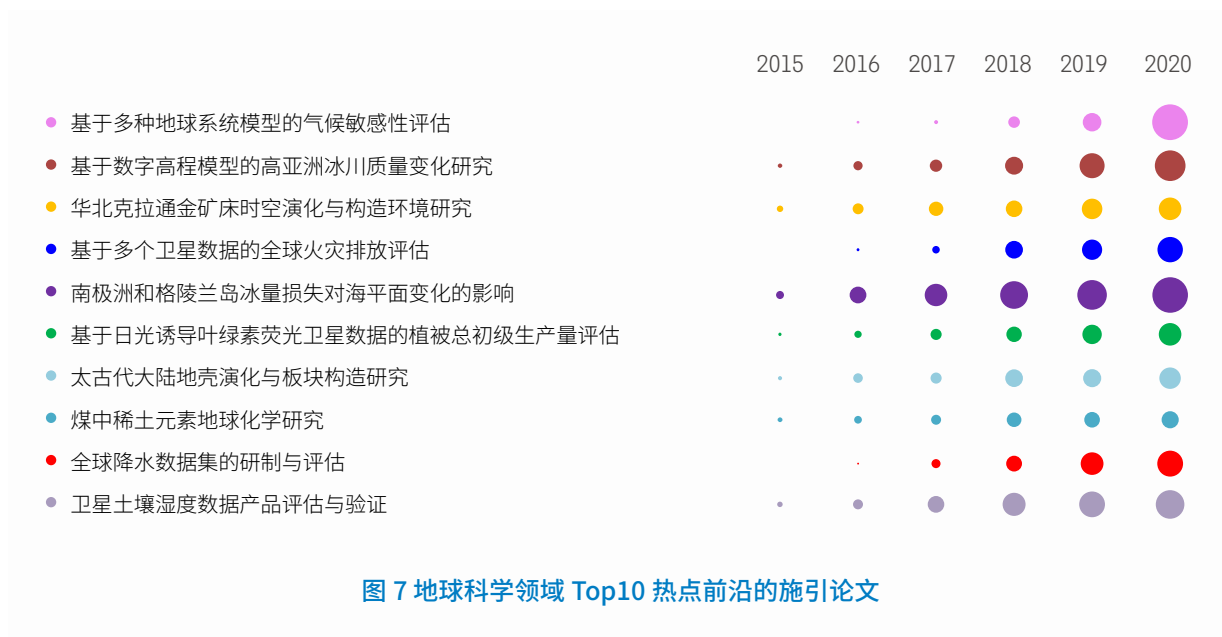


图 7 地球科学领域 Top10 热点前沿的施引论文

1.2 重点热点前沿——“基于多个卫星数据的全球火灾排放评估”

火灾是改变生态系统和大气成分的重要地球系统过程，火灾排放产生的大量气溶胶颗粒物不仅影响着区域和全球的大气成分及其理化性质，对地-气系统能量平衡、空气质量和人体健康也具有重要影

响。火灾动态如火灾频次、燃烧强度和烈度等也显著影响着地表植被的组成、结构和空间分布形态、生产力和火后植被恢复等。传统的人工瞭望、巡视和飞机观测等手段费用较高，覆盖范围有限，难以有效

监测火灾的燃烧和排放状态。随着空间探测技术的发展，利用卫星遥感技术可以获取长时间、大空间尺度下大气和地表信息，成为定量估算火灾排放、评估火灾的发生和燃烧强度的重要手段。

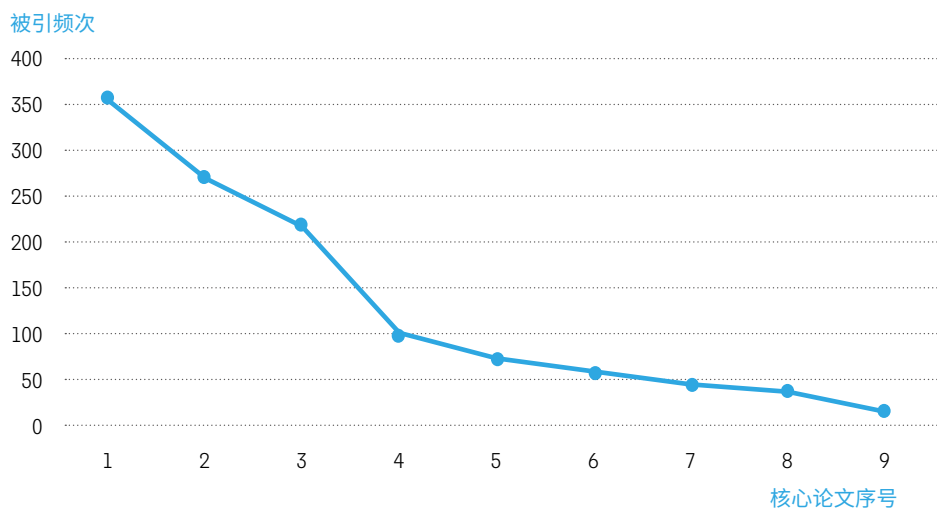


图 8 “基于多个卫星数据的全球火灾排放评估” 研究前沿中核心论文的被引频次分布曲线

热点前沿“基于多个卫星数据的全球火灾排放评估”主要聚焦全球火灾排放估算、火灾燃烧面积的变化、测绘算法与产品等方面。9篇核心论文主要使用了搭载在美国国家航空航天局的“水”卫星和“土”卫星上的中分辨率成像光谱仪数据，以及在此基础上创建的全球火灾排放数据库。中分辨率成像光谱仪是美国地球观测系统计划中用于观测全球生物和物理过程的重要仪器。全球火灾排放数据库则是目前广泛应用于量化全球不同类型火灾排放、提供近乎实时污染气体排放量估算、跟踪正在发生的火灾事件的权威数据集。

表 14 可以看出美国在该前沿占据绝对优势，贡献了 7 篇核心论文，占有所有核心论文的 77.8%。西班牙、英国、荷兰和德国紧随其后，积极参与。在核心论文产出机构方面，美国机构也最多，其中美国马里兰大学帕克分校贡献 6 篇，荷兰阿姆斯特丹自由大学和西班牙阿尔卡拉大学各贡献了 3 篇核心论文。

值得一提的是，由阿姆斯特丹自由大学主导的美荷合作发表在《Earth System Science Data》上的“Global fire emissions estimates

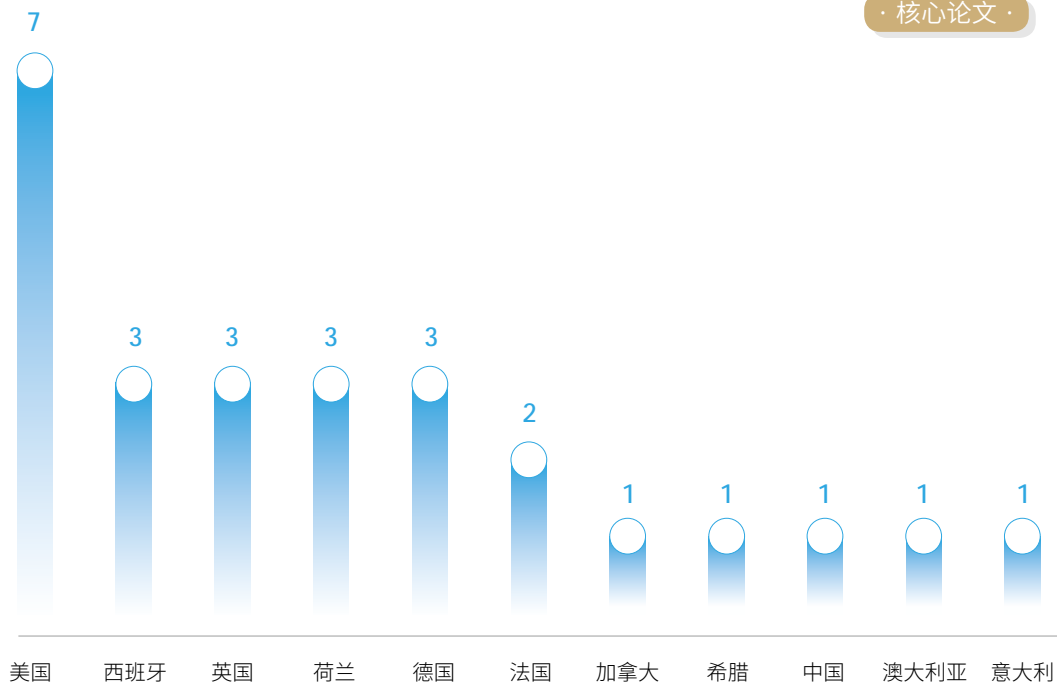
during 1997-2016”论文被引频次最高，达 354 次，利用第 4 版全球火灾排放数据库，量化了 1997-2016 年期间的全球火灾排放模式，结果有助于了解十年间全球火灾的动态变化及其对地球系统的影响。马里兰大学帕克分校主导的发表在《Remote Sensing of Environment》上的“The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products”一文被引频次位列第二，利用中分辨率成像光谱仪第 6 版数据，描述了对火灾探测算法和不同分级数据产品的改进，特别是对小

型森林空地引发的错误警报，以及被浓烟掩盖的大型火灾遗漏等情况的处理。由美国国家航空航天局主导的美荷合作发表在《Science》上的“A human-driven decline in global burned area”一文被引频次位列第三，利用多个卫星数据集评估长期火灾趋势，发现 1998-2015 年间全球火灾面积下降了约 25%，在全球变暖的大背景下，受人类活动引发的农业扩张和集约化的影响，热带草原地区的火灾活动减少幅度最大。

表 14 “基于多个卫星数据的全球火灾排放评估”研究前沿中核心论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	核心论文	比例	排名	机构	所属国家	核心论文	比例
1	美国	7	77.8%	1	马里兰大学帕克分校	美国	6	66.7%
2	西班牙	3	33.3%	2	阿姆斯特丹自由大学	荷兰	3	33.3%
2	英国	3	33.3%	2	阿尔卡拉大学	西班牙	3	33.3%
2	荷兰	3	33.3%	4	莱斯特大学	英国	2	22.2%
2	德国	3	33.3%	4	杜克大学	美国	2	22.2%
6	法国	2	22.2%	4	美国地质调查局	美国	2	22.2%
7	加拿大	1	11.1%	4	爱达荷大学	美国	2	22.2%
7	希腊	1	11.1%	4	美国国家航空航天局	美国	2	22.2%
7	中国	1	11.1%	4	加州大学欧文分校	美国	2	22.2%
7	澳大利亚	1	11.1%	4	马普学会	德国	2	22.2%
7	意大利	1	11.1%	4	法国国家科学研究中心	法国	2	22.2%

· 核心论文 ·

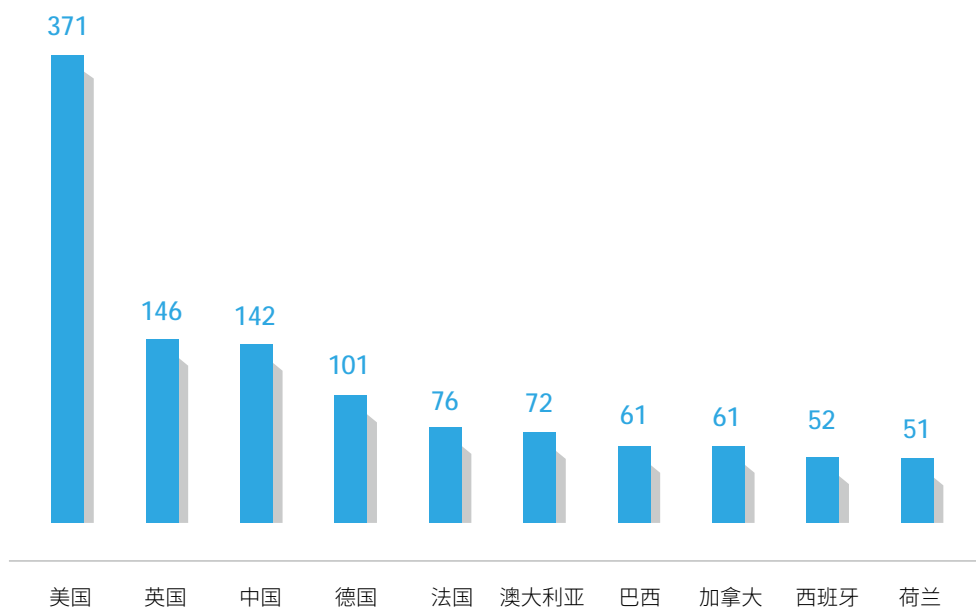


分析该前沿的施引论文（表 15）可以看出，美国的施引论文最多，达 371 篇。在 Top10 施引论文机构中有 5 所美国机构，其中美国国家航空航天局表现最为突出。法国国家科学研究中心和中国科学院分别以 69 和 61 篇施引论文位于施引论文 Top 机构的第二和第三位。

表 15 “基于多个卫星数据的全球火灾排放评估” 研究前沿中施引论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	施引论文	比例	排名	机构	所属国家	施引论文	比例
1	美国	371	45.4%	1	美国国家航空航天局	美国	95	11.60%
2	英国	146	17.9%	2	法国国家科学研究中心	法国	69	8.40%
3	中国	142	17.4%	3	中国科学院	中国	61	7.50%
4	德国	101	12.4%	4	美国国家海洋与大气管理局	美国	44	5.40%
5	法国	76	9.3%	4	巴黎-萨克雷大学	法国	44	5.40%
6	澳大利亚	72	8.8%	6	马里兰大学帕克分校	美国	41	5.00%
7	巴西	61	7.5%	7	亥姆霍兹联合会	德国	40	4.90%
7	加拿大	61	7.5%	8	加州大学欧文分校	美国	37	4.50%
9	西班牙	52	6.4%	9	原子能源与替代能源委员会	法国	35	4.30%
10	荷兰	51	6.2%	9	科罗拉多大学博尔德分校	美国	35	4.30%

· 施引论文 ·



1.3 重点热点前沿——“全球降水数据集的研制与评估”

近年来受全球气候变化影响，极端降水事件日益频繁，引起广泛关注。降水是水循环的重要组成部分，是气象学、水文学、生态学的重要参数，也是天气和气候研究中的重要参数，也是天气和气候研究中的重要参数，也是天气和气候研究中的重要参数，也是天气和气候研究中的重要参数。高精度、长周期、空间连续的降水记录不仅对气候变化和水文模拟研究至关重要，也是地球化学和地球物理研究、气象和大气科学研究以及水资源管理等众多研究领域的重要输入。目前获取降水信息的主要方法有四种，包括：地基雨量计观测、地基雷达遥感、卫星遥感、大气数据再分析模拟等。目前常用的全球降水数据集则主要包

相关的以及再分析数据集。由于上述测量方法在观测原理、算法精度、产品时空分辨率和覆盖范围等方面存在巨大差异，导致不同的全球降水数据集之间存在较大差异，但同时也具有明显的互补性。未来综合最先进、最精确的主要测量方法和数据的全球降水数据集有望支持更卓越的科学研究。

本热点前沿包括 7 篇核心论文，重点对多种全球降水数据集的类型、空间分辨率、时间分辨率、全球覆盖范围、时间范围、数据来源、校正、算法等进行了分析和比较。其中，Hylke E. Beck 在欧盟委员会联合研究中心期间带领团队

于 2017 年发表在《Hydrology and Earth System Sciences》上的论文被引频次最高（335 次），该研究系统介绍了多源加权集成降水数据集（MSWEP）的设计理念和 MSWEP 1.1 版本的研制细节，并对数据集的性能进行了评估。2019 年 Hylke E. Beck 等关于 MSWEP 2.0 版本的方法论和定量评估分析的论文也入选该热点前沿。MSWEP 数据集集成了雨量计、卫星和再分析数据，具有 3 小时的时间分辨率和 0.1° 的空间分辨率，时间跨度为 1979 年至今。自 2016 年 1.0 版本发布以来，MSWEP 数据集一直广受关注，在持续获得大量拓展应用的同时，性能持续优化，截至目前已升级至 2.8

版本。

北京师范大学缪驰远团队于 2017 年发表在《Reviews of Geophysics》上的论文对比分析了目前可用的 30 个全球降水数据集的数据源和估算方法，涵盖站点测量、卫星遥感、再分析资料三种类型，论文重点评估了数据集之间降

水估算的差异及其影响因素。该论文被引频次排名第二（305 次），受关注度也较高。Hylke E. Beck 于 2018 年在美国普林斯顿大学发表的另外一篇论文利用站点观测和天文模拟对 22 个降水数据集进行了全球尺度的评估。

另外三篇核心论文则分别

重点揭示美国热带降雨测量任务（TRMM）和美国气候预测中心变形技术（CMORPH）整合的卫星反演降水数据集的性能和劣势，以及利用 CONUS 第四阶段站点-雷达数据对 26 个网格化降水数据集的每日数据进行评估，可为选择最适合特定应用的降水数据集提供参考。

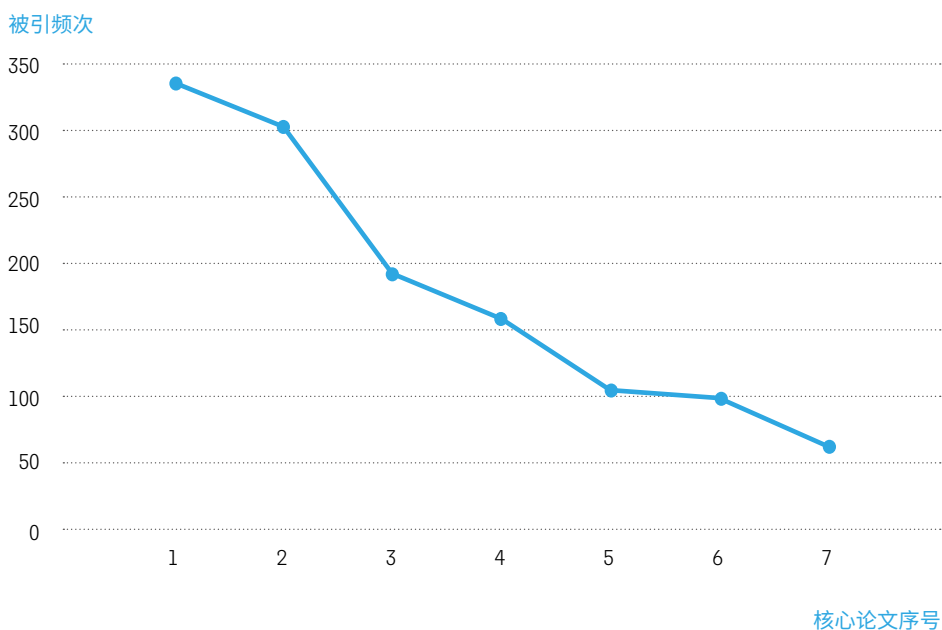


图 9 “全球降水数据集的研制与评估” 研究前沿中核心论文的被引频次分布曲线

该热点前沿核心论文 Top 产出国和机构(表 16)中,美国排名第一,贡献了 85.7% 的核心论文,参与相关研究的机构既包括马里兰大学帕克分校、普林斯顿大学、乔治梅森大学、加州大学欧文分校等高校,也包括美国国家航空航天局、美国

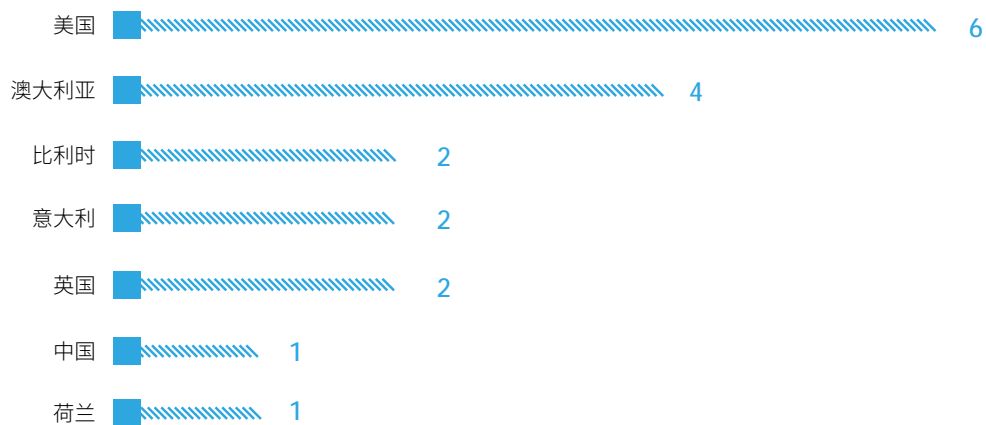
国家海洋与大气管理局等国立研究机构,还包括 Innovim 有限责任公司、Wyle 公司等信息技术服务企业。澳大利亚以 4 篇核心论文的贡献排名第二,澳大利亚国立大学积极参与相关研究,在该前沿核心论文机构产出中排名第一。位于英国

的欧洲中期天气预报中心、位于意大利的欧盟委员会联合研究中心等都参与了相关研究。中国以北京师范大学的 1 篇高被引论文跻身排行榜。

表 16 “全球降水数据集的研制与评估”研究前沿中核心论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	核心论文	比例	排名	机构	所属国家	核心论文	比例
1	美国	6	85.7%	1	澳大利亚国立大学	澳大利亚	4	57.1%
2	澳大利亚	4	57.1%	2	马里兰大学帕克分校	美国	3	42.9%
3	比利时	2	28.6%	2	普林斯顿大学	美国	3	42.9%
3	意大利	2	28.6%	4	欧洲中期天气预报中心	英国	2	28.6%
3	英国	2	28.6%	4	国家研究委员会	意大利	2	28.6%
6	中国	1	14.3%	4	根特大学	比利时	2	28.6%
6	荷兰	1	14.3%	4	美国国家航空航天局	美国	2	28.6%
				11	美国国家海洋与大气管理局	美国	1	14.3%
				11	欧盟委员会联合研究中心	意大利	1	14.3%
				11	澳大利亚研究理事会	澳大利亚	1	14.3%
				11	三角洲研究院	荷兰	1	14.3%
				11	Innovim 有限责任公司	美国	1	14.3%
				11	北京师范大学	中国	1	14.3%
				11	阿姆斯特丹自由大学	荷兰	1	14.3%
				11	乔治梅森大学	美国	1	14.3%
				11	加州大学欧文分校	美国	1	14.3%
				11	Wyle 公司	美国	1	14.3%
				11	联邦科学与工业研究组织	澳大利亚	1	14.3%

· 核心论文 ·



从施引论文角度来看（表 17），美国和中国分列 Top 产出国第一和第二；Top 10 产出机构中有 4 家美国机构、3 家中国机构、3 家法国机构，可谓美中欧并驾齐驱，其中中国科学院施引论文数量最多，对该热点前沿的持续推进贡献最突出，法国国家科学研究中心、美国国家航空航天局紧随其后，北京师范大学、清华大学亦榜上有名。

表 17 “多种全球降水数据集的优化与评估”研究前沿中施引论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	施引论文	比例	排名	机构	所属国家	施引论文	比例
1	美国	277	31.9%	1	中国科学院	中国	90	10.4%
2	中国	233	26.8%	2	法国国家科学研究中心	法国	61	7.0%
3	英国	107	12.3%	3	美国国家航空航天局	美国	39	4.5%
4	法国	79	9.1%	4	普林斯顿大学	美国	36	4.1%
5	德国	69	7.9%	5	法国研究与发展研究所	法国	35	4.0%
6	意大利	65	7.5%	6	美国国家大气研究中心	美国	29	3.3%
7	澳大利亚	61	7.0%	6	美国国家海洋与大气管理局	美国	29	3.3%
8	荷兰	59	6.8%	8	北京师范大学	中国	28	3.2%
9	瑞士	40	4.6%	8	图卢兹大学	法国	28	3.2%
10	日本	39	4.5%	10	清华大学	中国	27	3.1%

· 施引论文 ·



2. 新兴前沿及重点新兴前沿解读

2.1 新兴前沿概述

地球科学领域有 1 项研究入选新兴前沿，即“洞察号对火星地震的探测研究”。

表 18 地球科学领域新兴前沿

序号	新兴前沿	核心论文	被引频次	核心论文平均出版年
1	洞察号对火星地震的探测研究	11	290	2019.8

2.2 重点新兴前沿解读——“洞察号对火星地震的探测研究”

洞察号是美国国家航空航天局“发现”计划中的任务之一，于 2018 年 5 月发射，同年 11 月在火星表面着陆，其主要任务是调查火星的内部结构和过程，了解包括地球在内的岩质行星的形成与演化。洞察号包含 1 个可在火星表面钻孔的着陆器，搭载的 3 台探测仪器可从地壳、地幔和地核等角度探测火星的“生命体征”。其中，负责勘察火星内部结构、研究火星是否存在地震现象的内部结构地震实验仪由法国、美国、瑞士、英国、德国等国的多家科研机构共同研制，并于 2019 年 4 月 6 日首次探测到一个安静但明显的地震信号，标志着“火星地震学”这一新学科领域的诞生。

该新兴前沿共有 11 篇核心论文，内容主要聚焦洞察号开展的内部结构地震实验、火星地震数据分析、火星大气观测及任务的其他初步探测结果。由法国巴黎地球物理学院、巴黎第七大学和法国国家科学研究中心主导的内部结构地震实验仪团队发表的“SEIS: Insights Seismic Experiment for Internal Structure of Mars”是该新兴前沿中被引频次最高的论文，达到 64 次。团队详细描述了实验的科学目标、基本原理、传感器等子系统性能、测量方法、仪器操作以及实验数据服务、处理和分发等内容，并期待为理解火星内部和诺亚纪早期以来的火星演化提供关键佐证。

2021 研究前沿
RESEARCH FRONTS

临床医学



1. 热点前沿及重点热点前沿解读

1.1 临床医学领域 Top 10 热点前沿发展态势

临床医学领域位居前十位的热点前沿集中于新型冠状病毒肺炎（COVID-19，简称新冠肺炎）、肿瘤免疫与靶向治疗两个前沿群。突发的新冠肺炎疫情是现代医学面临的重大挑战，相关研究迅速成为国际临床医学研究的热点，并在 2021 年临床医学热点前沿 Top10 中占据 6 个席位成为绝对主流，研究主题涉及新冠肺炎病例临床特征、CT 诊断、药物治疗、肺外表现及并发症、对母婴影响等问题。而肿瘤免疫和联合靶向治疗是历年研究前沿的核心议题，并在新冠肺炎火热研究冲击下持续保持较高热度。

表 19 临床医学领域 Top 10 热点前沿

排名	热点前沿	核心论文	被引频次	核心论文平均出版年
1	新冠肺炎病例临床特征	6	32799	2020
2	胸部 CT 在新冠肺炎诊断和管理中的作用	40	7277	2020
3	瑞德西韦治疗新冠肺炎研究	7	5043	2020
4	新冠肺炎并发静脉血栓形成	9	4593	2020
5	新冠肺炎孕妇临床表现与母婴结局	29	2542	2020
6	新冠肺炎患者神经系统表现	2	1484	2020
7	PD-1/PD-L1 免疫联合疗法治疗肾细胞癌	4	2392	2018.8
8	胆道肿瘤靶向治疗和免疫治疗	28	2240	2018.6
9	慢性淋巴细胞白血病（CLL）联合靶向药物治疗	18	1987	2018.6
10	PET/CT 用于肿瘤免疫治疗评价	33	3762	2018.4



1.2 重点热点前沿——“新冠肺炎病例临床特征”

新冠肺炎疫情从 2019 年开始肆虐全球，截至目前依然没有针对性的特效治疗和预防手段，给人类健康造成严重威胁。这一亟待全人类共同应对的公共卫生挑战必然成为近几年的研究热点。通过引文分析遴选出的 2021 年临床医学领域的两个重点热点前沿都与新冠肺炎相关，也印证了这一点。

“新冠肺炎病例临床特征”热点前沿的 6 篇核心论文，截止 2021 年 3 月篇均被引达 4000 次以上，也是 2020 年 Web of Science 数据库收录论文被引频次最多的 6 篇论文。其中，由中国疾病预防控制中心、武汉金银潭医院等机构于 2020 年

2 月联合发表在《The New England Journal of Medicine》上的论文被引 4657 次，率先向全世界揭示了新冠肺炎的致病元凶——新型冠状病毒 (SARS-CoV-2)。其余 5 篇核心论文则都是对新冠肺炎住院患者临床特征的汇总归纳，内容涉及临床症状、影像学特征、实验室检查、预后转归等方面。主要发现包括：发热、咳嗽为最常见症状，其他也有肌痛或乏力、咯痰、头痛、咯血、腹泻等，部分患者无典型症状；胸部 CT 常出现磨玻璃影，但部分非重症患者甚至极少数重症患者无影像学检查异常；多数患者血液检查出现淋巴细胞计数减少；患者排毒

时间中位数为 20 天，最短 8 天，最长可达 37 天，部分解释了出院后复阳的情况；并发症包括急性呼吸窘迫综合征、病毒血症、心肌损伤、休克等，有基础疾病的老年男性更易出现重症和致命性并发症；ICU 转入率为 5%~32%，住院死亡率为 1.4%~28%。随着新冠疫情在全球多地的持续局部流行以及相关研究的逐步深入，更多临床证据得以揭示，从而为疫情精准防控提供科学依据。

该热点前沿 6 篇核心论文全部来自中国，均发表在武汉发现新冠肺炎疫情后不久，第一时间向世界公开新冠肺炎研究发现，体现疫情

防控及时、公开、透明、负责任的态度。核心论文 Top 机构也都来自中国，包括武汉金银潭医院、中日友好医院、北京协和医学院、中国

疾病预防控制中心等，其中居首位的武汉金银潭医院是最早集中收治新冠肺炎患者的定点医院。这些机构在早期患者救治和科技战疫中发

挥了重要作用。上述机构的研究者曹彬、王健伟、钟南山、高福、王行环、谭文杰、张欣欣等也为全球科技战疫作出重要贡献。

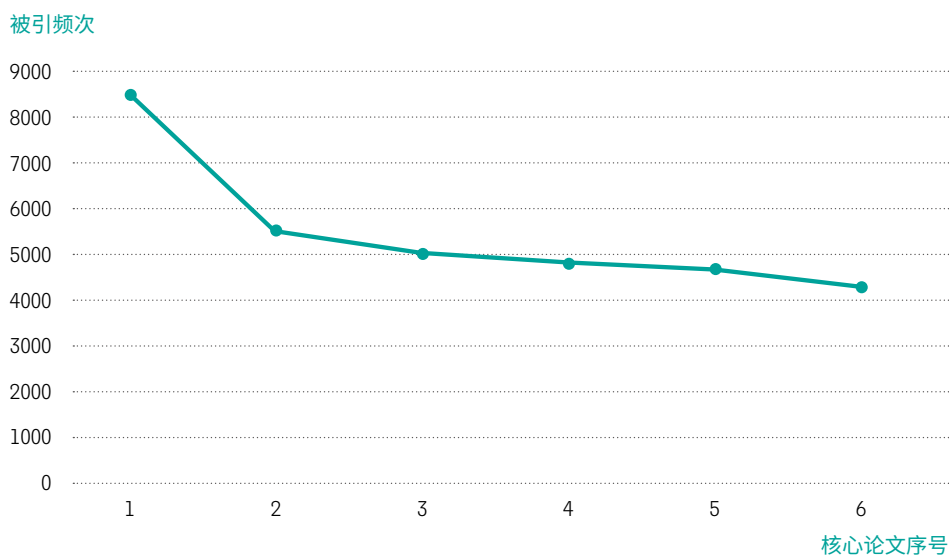


图 11 “新冠肺炎病例临床特征”研究前沿中核心论文的被引频次分布曲线

表 20 “新冠肺炎病例临床特征”研究前沿中核心论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	核心论文	比例	排名	机构	所属国家	核心论文	比例
1	中国	6	100.0%	1	武汉金银潭医院	中国	4	66.7%
				2	首都医科大学	中国	3	50.0%
				2	北京协和医学院	中国	3	50.0%
				4	中国科学院	中国	2	33.3%
				4	华中科技大学	中国	2	33.3%
				4	中国疾病预防控制中心	中国	2	33.3%
				4	清华大学	中国	2	33.3%
				4	武汉肺科医院	中国	2	33.3%
				4	武汉大学	中国	2	33.3%

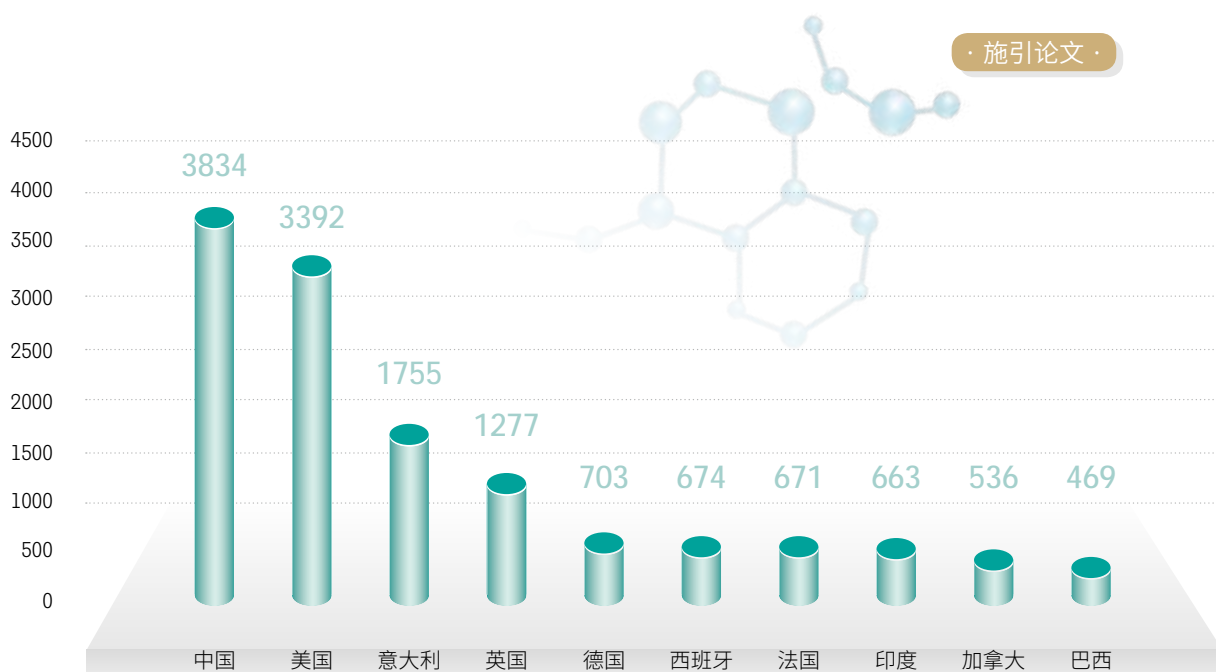
施引论文方面，中国、美国以较大优势领先于其他国家，反映两国在新冠肺炎的临床研究领域最为活跃。其后主要是意大利、英国等

欧洲国家。印度、巴西这两个新兴经济体国家以多达数百篇施引论文上榜，也是历年从未有过的，与这些国家新冠肺炎疫情严重程度存在

一定关联。施引论文 Top 产出机构超半数来自中国，居前三位的分别是中国的华中科技大学、武汉大学和美国的哈佛大学。

表 21 “新冠肺炎病例临床特征” 研究前沿中施引论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	施引论文	比例	排名	机构	所属国家	施引论文	比例
1	中国	3834	21.5%	1	华中科技大学	中国	648	3.6%
2	美国	3392	19.0%	2	武汉大学	中国	413	2.3%
3	意大利	1755	9.8%	3	哈佛大学	美国	408	2.3%
4	英国	1277	7.2%	4	法国国家健康与医学研究所	法国	273	1.5%
5	德国	703	3.9%	5	中国科学院	中国	245	1.4%
6	西班牙	674	3.8%	6	米兰大学	意大利	229	1.3%
7	法国	671	3.8%	7	巴黎公共援助医院	法国	226	1.3%
8	印度	663	3.7%	8	北京协和医学院	中国	212	1.2%
9	加拿大	536	3.0%	9	复旦大学	中国	198	1.1%
10	巴西	469	2.6%	10	伦敦大学学院	英国	195	1.1%



1.3 重点热点前沿——“新冠肺炎孕妇临床表现与母婴结局”

孕妇作为新冠肺炎感染人群中的一个特殊群体，她们受感染后的临床表现及母婴结局备受关注，成为新冠肺炎相关研究的一个热点。

该重点热点前沿的 29 篇核心论文，大部分是回顾性总结评价孕妇在感染新冠肺炎后的临床特征、妊娠结局和垂直传播风险等。其中，由武汉大学和北京大学等机构于 2020 年 3 月联合发表在《Lancet》上的论文被引最高（856 次），该研究发现孕妇感染后临床特征与其他成年患者并无明显差异，且尚无充分证据表明孕期感染会导致垂直传播。而湖北省妇幼保健院和

复旦大学 2020 年 2 月合作发表在《Translational Pediatrics》上的论文被引 354 次，发现孕期感染会对新生儿产生不利影响，导致胎儿窘迫、早产等情况发生。其他研究的主要发现包括：妊娠和分娩不会加重病情，染病孕妇以轻症居多，预后较好；常见症状、实验室检查、胸部 CT 表现与其他成人基本一致；部分孕妇症状不典型或者无症状增加了早期筛查难度，胸部 CT 和 RT-PCR 有助于早期诊断；孕期感染可能对母婴结局造成不利影响，如自然流产、胎膜早破、早产、胎儿窘迫以及新生儿呼吸窘迫、窒息、发热、血小板减少伴肝功能异常，

甚至死亡；部分研究发现孕妇阴道分泌物病毒检测为阴性，阴道分娩导致垂直传播风险很低。但对于孕产妇及其新生儿，应尽可能做好防护隔离措施，减少暴露机会，降低垂直传播风险，同时做好随访，警惕新生儿产后迟发感染。

该热点前沿核心论文 Top 产出国家方面，无论是论文数量还是被引频次，中国的贡献率都最高，遥遥领先；其次为美国和意大利。其中华中科技大学、武汉大学在该前沿核心论文 Top 产出机构中领先；意大利的多家研究机构也表现亮眼，占据多个席位。

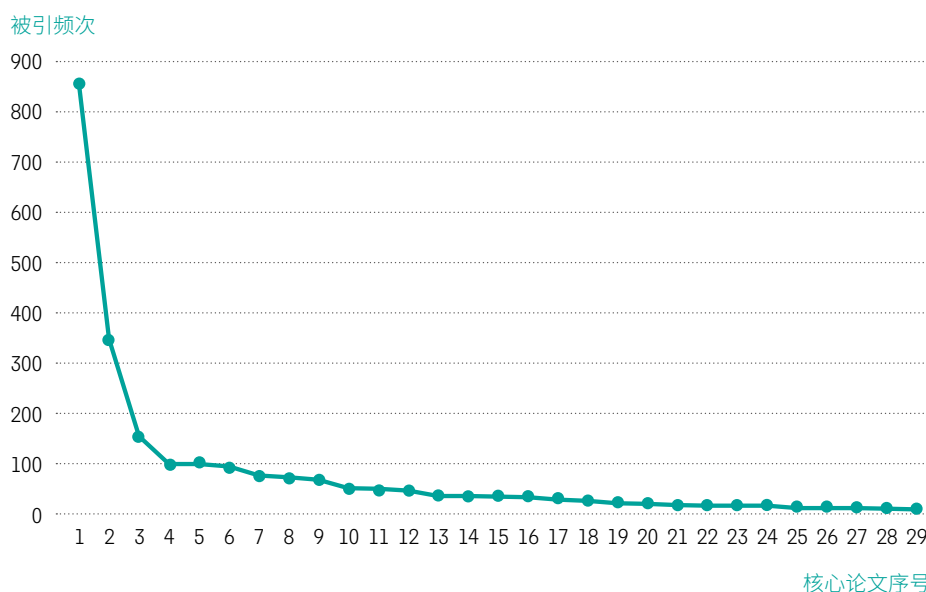
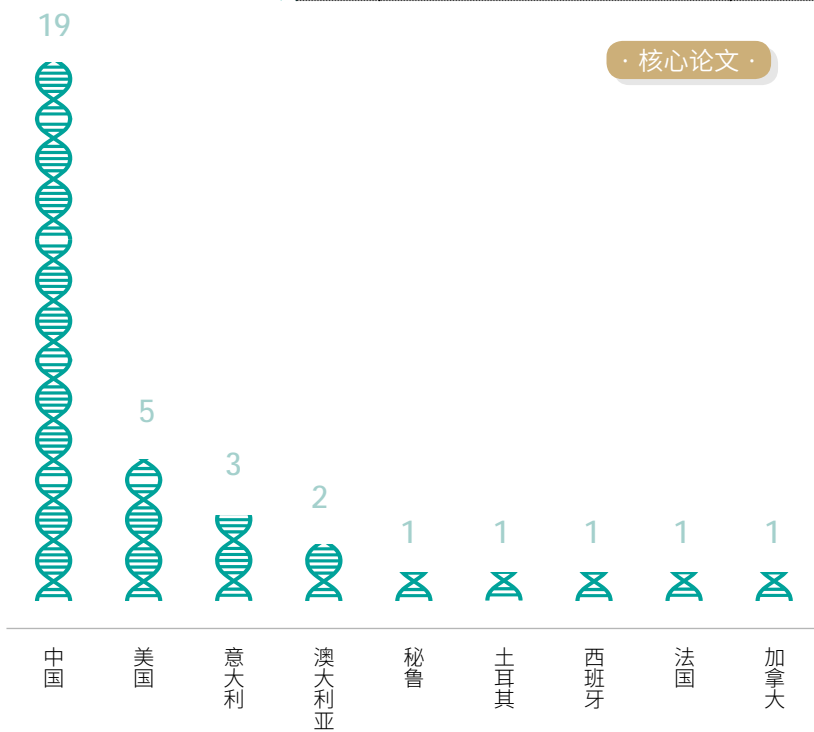


图 12 “新冠肺炎孕妇临床表现与母婴结局” 研究前沿中核心论文的被引频次分布曲线

表 22 “新冠肺炎孕妇临床表现与母婴结局” 研究前沿中核心论文的 Top 产出国家和机构

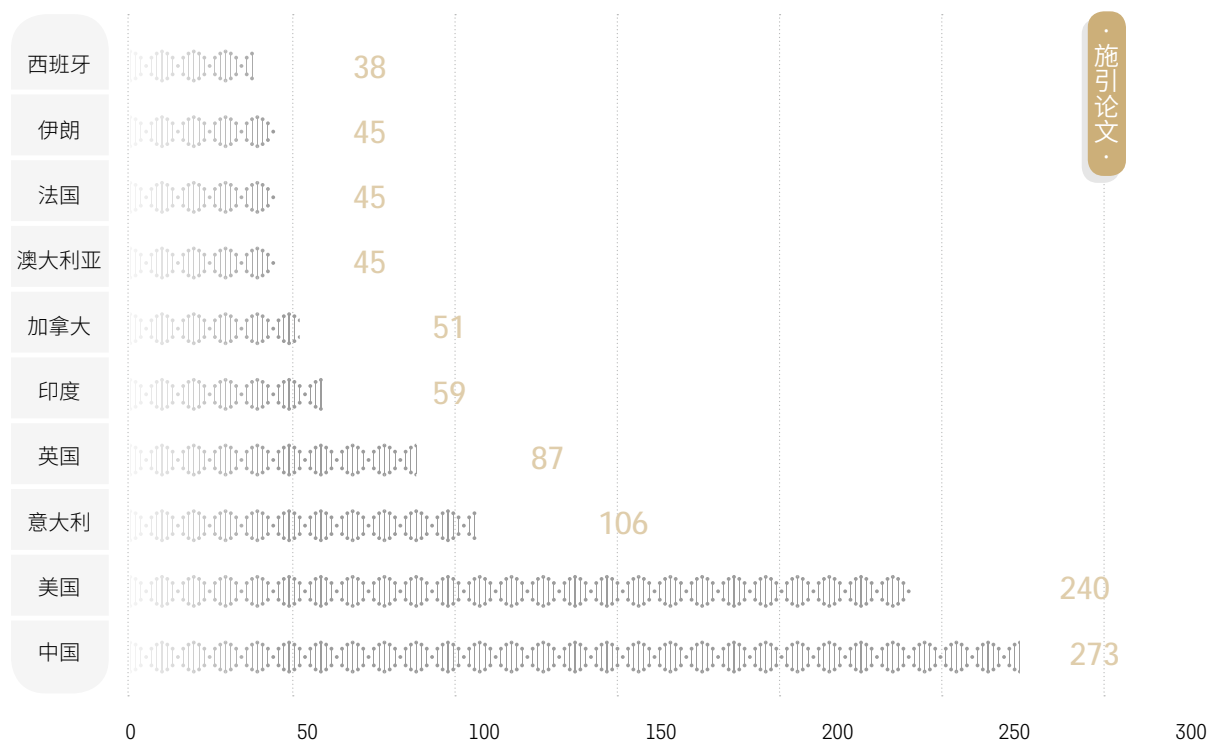
排名	国家	核心论文	比例	排名	机构	所属国家	核心论文	比例
1	中国	19	65.5%	1	华中科技大学	中国	10	34.5%
2	美国	5	17.2%	2	武汉大学	中国	7	24.1%
3	意大利	3	10.3%	3	湖北省妇幼保健院	中国	3	10.3%
4	澳大利亚	2	6.9%	4	上海交通大学	中国	2	6.9%
5	秘鲁	1	3.4%	4	米兰大学	意大利	2	6.9%
5	土耳其	1	3.4%	4	帕多瓦大学	意大利	2	6.9%
5	西班牙	1	3.4%	4	北京大学	中国	2	6.9%
5	法国	1	3.4%	4	米兰马焦雷医院	意大利	2	6.9%
5	加拿大	1	3.4%	4	博洛尼尼医院	意大利	2	6.9%
				4	IRCSS 基金会圣马泰奥医院	意大利	2	6.9%
				4	米兰比可卡大学	意大利	2	6.9%
				4	巴里乔瓦尼第二十三医院	意大利	2	6.9%
				4	帕多瓦医院	意大利	2	6.9%
				4	圣杰勒德医院	意大利	2	6.9%
				4	帕维亚大学	意大利	2	6.9%



施引论文方面，中国和美国表现最为突出，领先优势明显，反映其对孕期感染新冠肺炎患者的研究热度较高，其次为意大利、英国。施引论文 Top 产出机构以中国的华中科技大学、武汉大学和法国的巴黎公共援助医院领先。

表 23 “新冠肺炎孕妇临床表现与母婴结局” 研究前沿中施引论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	施引论文	比例	排名	机构	所属国家	施引论文	比例
1	中国	273	22.9%	1	华中科技大学	中国	62	5.2%
2	美国	240	20.2%	2	武汉大学	中国	48	4.0%
3	意大利	106	8.9%	3	巴黎公共援助医院	法国	26	2.2%
4	英国	87	7.3%	4	圣保罗大学	巴西	20	1.7%
5	印度	59	5.0%	5	上海交通大学	中国	19	1.6%
6	加拿大	51	4.3%	6	伦敦大学学院	英国	18	1.5%
7	澳大利亚	45	3.8%	6	多伦多大学	加拿大	18	1.5%
7	法国	45	3.8%	8	法国国家健康与医学研究所	法国	17	1.4%
7	伊朗	45	3.8%	8	莫纳什大学	澳大利亚	17	1.4%
10	西班牙	38	3.2%	8	巴黎 - 萨克雷大学	法国	17	1.4%



2. 新兴前沿及重点新兴前沿解读

2.1 新兴前沿概述

新冠肺炎疫情是全球科学事业面临的一次重大考验，全球生物医学科学家顺势而为，纷纷开展各项科研攻关和长期科研项目，为疫情防控提供科技支撑。临床医学领域今年入选的29个新兴前沿均为新冠肺炎研究，可分为新冠肺炎临床表现、脏器损伤及并发症、对基础疾病影响、流行病学、院感防控、治疗方法、疫苗研发、免疫特征、诊断技术九大前沿群。具体而言，“临床表现”前沿群包含早期病例临床表现、味嗅觉障碍、消化系统

症状、眼部表现、儿童临床表现以及无症状感染者临床表现6个新兴前沿，“脏器损伤与并发症”前沿群包含心脏损伤、肝损伤、血脑屏障损伤、急性肾损伤以及儿童多系统炎症综合征、格林巴利综合征6个新兴前沿，“对基础疾病影响”前沿群包含对肿瘤、实体器官移植、痴呆以及高血压用药影响4个新兴前沿，“流行病学”前沿群包含人群流动限制政策影响、疫情评估模型、非洲疫情传播以及儿童流行病学4个新兴前沿，“院感防控”前

沿群包含头颈部外科、耳鼻喉手术、口腔医学以及炎症性肠病应对院感防控4个新兴前沿，“治疗方法”前沿群包含维生素D、膳食补充剂、羟氯喹/阿奇霉素联用治疗3个新兴前沿。

综合CPT指标、前沿发展潜力及科技情报研究人员的判断，选取“新型冠状病毒感染致脏器损伤及并发症”以及“新型冠状病毒疫苗研发”两个前沿群作为重点分析对象。

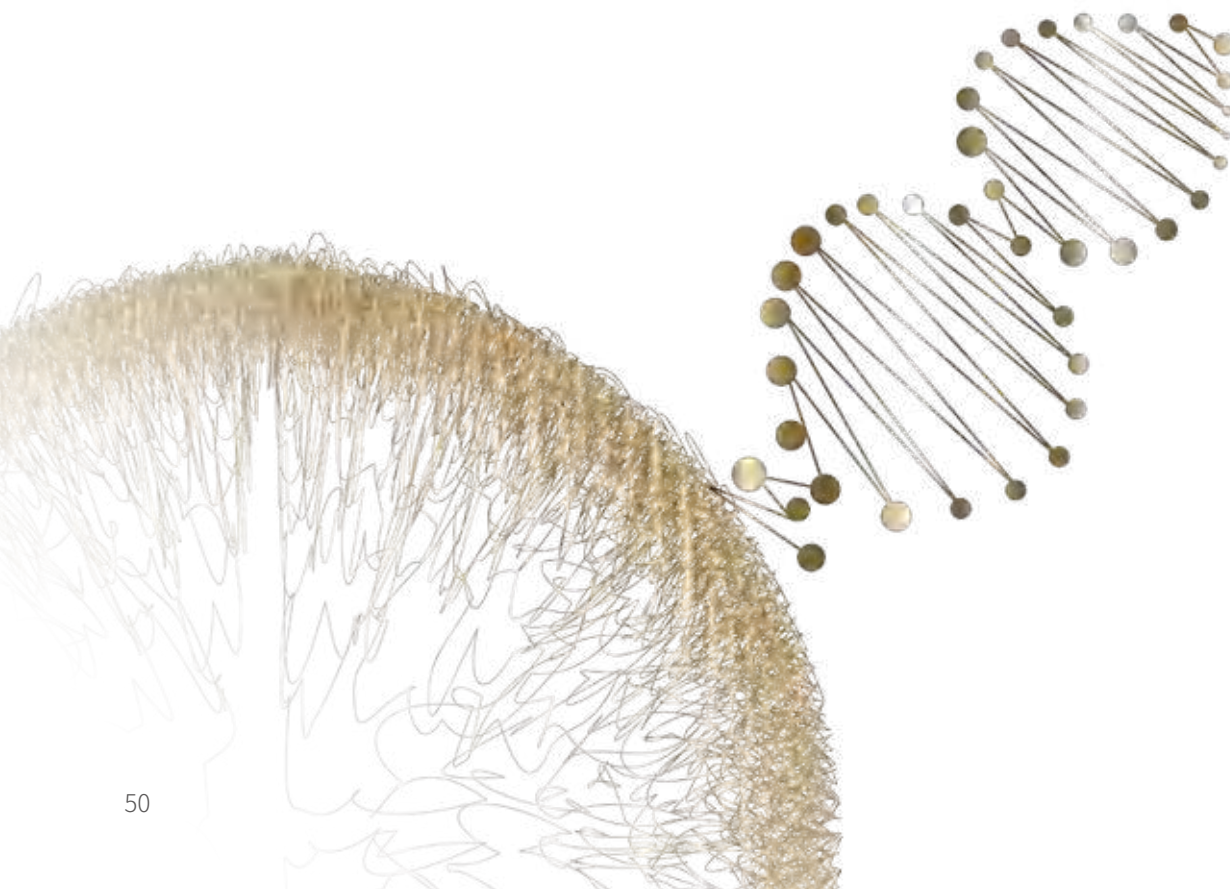


表 24 临床医学领域新兴前沿

排名	新兴前沿	核心论文	被引频次	核心论文平均出版年
1	新冠肺炎对肿瘤患者临床影响	19	1528	2020
2	早期新冠肺炎病例免疫特征	2	1510	2020
3	不同技术路线新型冠状病毒疫苗研发	18	1480	2020
4	早期新冠肺炎病例流行病学及临床特征	18	1395	2020
5	新冠肺炎感染儿童并发多系统炎症综合征	15	1370	2020
6	新冠肺炎患者血管紧张素转换酶抑制剂与血管紧张素受体阻断剂使用影响	11	1330	2020
7	RT-PCR 技术检测新型冠状病毒	2	1301	2020
8	新冠肺炎患者味觉障碍	13	1293	2020
9	实体器官移植受者新冠肺炎感染研究	27	1226	2020
10	新冠肺炎患者心脏损伤与死亡率关系	2	1211	2020
11	儿童新冠肺炎流行病学特征	2	1028	2020
12	新冠肺炎患者并发急性肾损伤	13	974	2020
13	新冠肺炎患者消化系统症状	6	947	2020
14	新冠肺炎患者眼科症状	12	932	2020
15	新冠肺炎疫情下口腔医学挑战	13	877	2020
16	人群流动限制政策对新冠肺炎疫情扩散影响	3	835	2020
17	新冠肺炎疫情期间头颈部外科手术管理	20	738	2020
18	新冠肺炎患者肝损伤	13	735	2020
19	数学建模评估新冠肺炎传播与控制动力学	2	723	2020
20	新冠肺炎患儿临床特征	10	665	2020
21	新冠肺炎患者血脑屏障损伤	21	662	2020
22	新冠肺炎患者并发格林巴利综合征	8	400	2020
23	新冠肺炎无症状感染者临床特征	2	393	2020
24	新冠肺炎疫情期间耳鼻喉手术管理	13	350	2020
25	膳食补充剂治疗新冠肺炎	7	176	2020
26	新冠肺炎疫情对痴呆患者影响	6	162	2020
27	新型冠状病毒潜在细胞表位识别及疫苗研发	9	692	2019.9
28	新冠肺炎院感防控：炎症性肠病管理	23	995	2019.8
29	维生素 D 与新冠肺炎关系	21	1256	2019.6

2.2 重点新兴前沿解读——“新型冠状病毒感染致脏器损伤及并发症”前沿群

呼吸系统症状通常被认为是新型冠状病毒感染的主要特征和表现。但研究者逐渐关注到，新型冠状病毒感染也会对其他器官产生广泛影响。已有证据表明，血液系统、心血管系统、泌尿生殖系统、消化系统、内分泌系统、神经系统、皮肤和眼部等都可能受到新型冠状病毒感染影响，患者面临包括血栓、心肌功能障碍、心律失常、急性冠状动脉综合征、急性肾损伤、胃肠道症状、肝损伤、高血糖、眼疾病和皮肤病等多种并发症风险。新型冠状病毒感染致肺外脏器损伤和并发症的致病机制，可能是由新型冠状病毒直接攻击广泛分布在人体多组织的 ACE2 受体引发，或是感染诱发内皮损伤和血栓炎症、免疫反应失调、ACE2 通路异常适应性等导致。并发症的发生不仅与较高的死亡风险相关，还会降低患者出院后自理能力，造成严重疾病负担。因此，对新型冠状病毒感染致肺外

脏器损伤和并发症的波及范围、致病机制、治疗措施、长期影响等的研究，日益受到关注。

“新型冠状病毒感染致脏器损伤及并发症”前沿群包括新型冠状病毒感染致心肌损伤、肝损伤、急性肾损伤、血脑屏障损伤、格林巴利综合征以及儿童多系统炎症综合征 6 个新兴前沿。心肌损伤、肝损伤和急性肾损伤是新型冠状病毒感染最常见并发症，发生率分别为 20-30%、16-19% 和 20-50%。而 5-10% 的新型冠状病毒感染者可能发生血脑屏障损伤和功能障碍，罕见且严重的格林 - 巴利综合征病例也数见报告。儿童是新冠肺炎的易感人群，美国疾病控制与预防中心流行病学资料显示，相比成人，儿童发病率、住院率和死亡率相对较低。但自 2020 年 4 月以来，在欧美等新冠肺炎高流行地区一种罕见的被命名为儿童多系统炎症综合征的儿

科并发症屡见报道，该疾病发病严重，表现出与川崎病和中毒性休克症状相似的临床特征，在新冠肺炎疫情期间增长了 30 倍，且 60% 患儿需重症监护，病死率为 0.9-2.0%。

新冠肺炎流行给人类带来了长期健康问题。尽管疫苗已取得了巨大成功，但疫情最终结局仍取决于全球卫生系统应对、疫苗效力、新型冠状病毒变种发展趋势及文化调整等诸多因素，人类依旧面临新冠肺炎流行的威胁。随着新冠肺炎的肺外影响的现实世界证据不断积累，对新型冠状病毒引起的并发症和后遗症的认识已不断加强。但有效解决新型冠状病毒感染并发症和后遗症是一项长期而复杂的工作，相关研究将围绕肺外脏器损伤和并发症致病机制、肺外脏器保护、并发症多学科协同处理、长期后遗症影响评估与应对、康复指导等全方面展开。

2.3 重点新兴前沿解读——“新型冠状病毒疫苗研发”前沿群

通过疫苗接种达到有效群体免疫，被认为是当下预防新冠肺炎最经济、有效措施。在全球科学界共同努力下，新型冠状病毒疫苗研发速度和规模达到前所未有水平，短

短数月便有疫苗获批紧急使用（通常疫苗研发需 8-20 年），打破既往疫苗研发和上市历史记录。据世界卫生组织（WHO）数据统计显示，截止 2021 年 9 月 24 日全球共

有数百家单位从事新冠病毒疫苗研发，目前处于临床研究阶段的疫苗 121 种、处于临床前试验阶段的有 194 种。“以创记录的速度开发和测试急需的新型冠状病毒疫苗”被

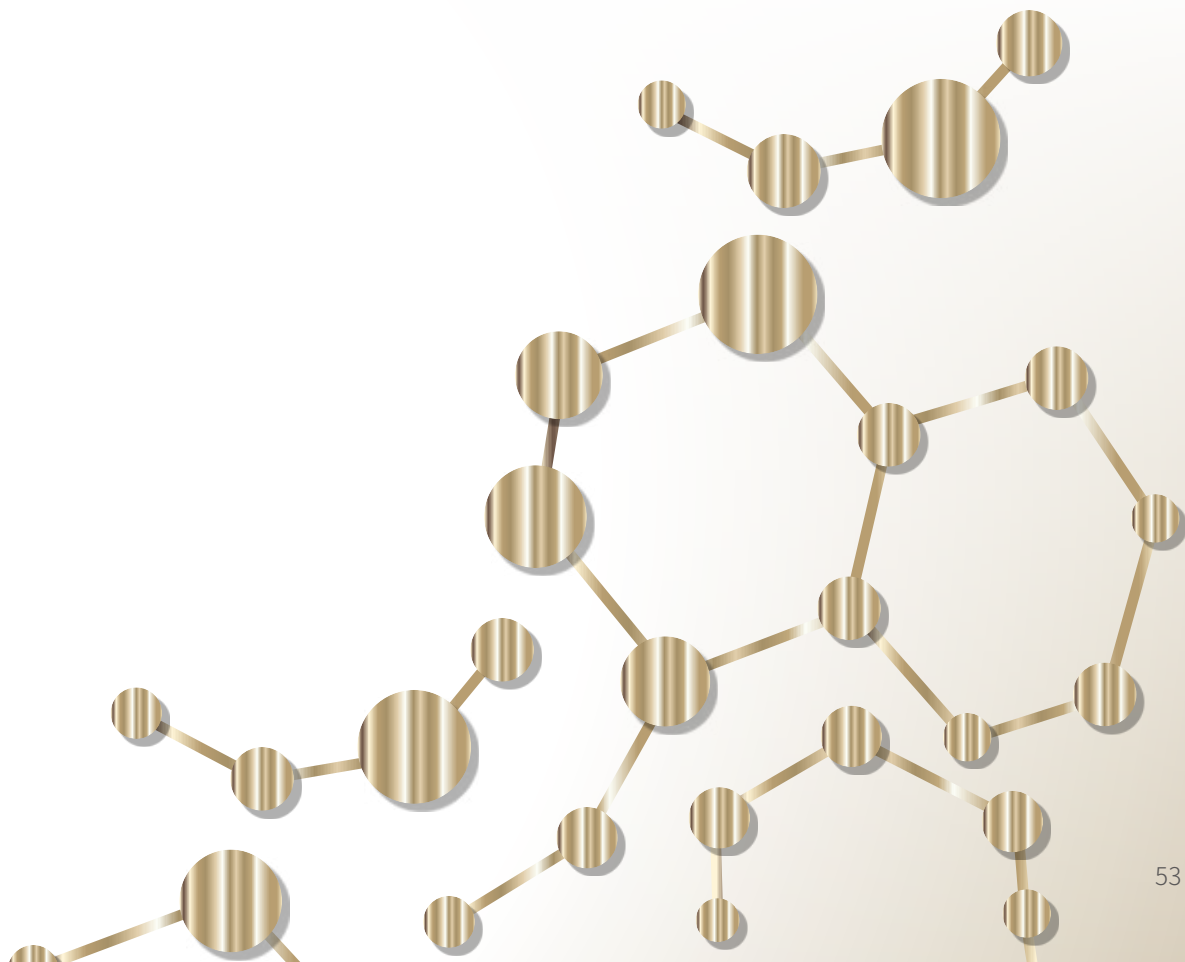
《Science》杂志评选为 2020 年十大科学突破的首位。

“新型冠状病毒疫苗研发”前沿群包括“不同技术路线新型冠状病毒疫苗研发”、“新型冠状病毒潜在细胞表位识别及疫苗研发”两个新兴前沿。其中，“不同技术路线新型冠状病毒疫苗研发”新兴前沿的 18 篇核心论文，涉及美国、中国、俄罗斯和英国多家医药企业和研究所 15 种疫苗的临床前及临床 1/2 期试验研究，覆盖当前新型冠状病毒疫苗研发的蛋白质亚单位疫苗、病毒载体疫苗、核酸疫苗、灭活或减毒疫苗等多种技术路线，这其中包括两款已获美国 FDA

紧急使用批准的 mRNA 疫苗（辉瑞公司 BNT162b 和 Moderna 公司 mRNA-1273）、首个已获 WHO 紧急使用认证的中国灭活疫苗（国药集团 BBIBP-CoV）、首个在中国批准上市的腺病毒载体疫苗（康希诺生物 Ad5-nCoV）以及 Novavax 公司在研的 NVX-CoV2373 重组蛋白疫苗、Inovio 公司在研的 INO-4800DNA 疫苗等。而“新型冠状病毒潜在细胞表位识别及疫苗研发”新兴前沿核心论文则聚焦在运用生物信息学方法预测和识别新型冠状病毒疫苗研发的 B 细胞表位和 T 细胞表位。

目前多条疫苗研发技术路线均

取得了一定进展，但全球疫情尚未出现明显放缓趋势，且由于现有疫苗保护持续时间等数据尚不完整、不同人群健康状况和感染风险各异、单款疫苗产能无法满足全球需求、新型冠状病毒新变异株出现等原因引发的不确定性，新型冠状病毒疫苗研发仍面临较大挑战。继续研发具有更高安全性、有效性、广泛性和便捷性的多种候选疫苗可为防控疫情提供更充足准备。



2021研究前沿
RESEARCH FRONTS

生物科学



1. 热点前沿及重点热点前沿解读

1.1 生物科学领域 Top 10 热点前沿发展态势

生物科学领域位居前十位的热点前沿主要集中于新型冠状病毒(SARS-CoV-2)的致病机理研究、瑞德西韦抑制冠状病毒的机制研究、卡介苗诱导的训练免疫、肿瘤相关成纤维细胞对肿瘤免疫应答的影响、大脑海马神经元再生和星形胶质细胞功能多样性、脂蛋白(a)与心血管疾病风险、抑郁症相关基因座研究以及基于图像的深度学习自动识别和诊断疾病等主题。

在与新冠肺炎的战斗中，科学家在与病毒赛跑，新型冠状病毒致病机理相关研究迅速成为生物科学领域的热点，通过对病原、关键靶点及受体的确定，为后续疫情防控和药物及疫苗研究等奠定了工作基础。2021年的相关热点前沿包括“新冠肺炎病原的鉴定、病毒全基因组序列分析和ACE2受体识别”和“新型冠状病毒刺突糖蛋白的结构、功能和抗原性”。

“瑞德西韦抑制冠状病毒的机制研究”热点前沿研究证实瑞德西韦可以强效抑制冠状病毒属的复

制，包括一些引起人畜共患疾病如中东呼吸综合征 MERS 和 SARS 的冠状病毒。临床医学领域中与之相关的热点前沿是“瑞德西韦治疗新冠肺炎研究”。

脑科学研究、肿瘤发生和治疗研究、抑郁症发病机制和药物作用机制研究等是历年生物科学领域研究前沿的核心议题。

脑科学方面包括 2 个热点前沿“成年人类大脑海马神经元再生研究”和“大脑星形胶质细胞异质性和功能多样性”，其中热点前沿“大脑星形胶质细胞异质性和功能多样性”是 2020 年热点前沿“星形胶质细胞与神经退行性疾病以及大脑衰老的关系”的发展和延续。此外，“肿瘤相关成纤维细胞在肿瘤免疫治疗中作用”热点前沿则与 2020 年的热点前沿“基于 MicroRNA 的肿瘤治疗”相关。“全基因组关联研究确定抑郁症相关的基因座”热点前沿与 2020 年的“氯胺酮抗抑郁作用机制的研究”热点前沿一样都关注抑郁症主题。

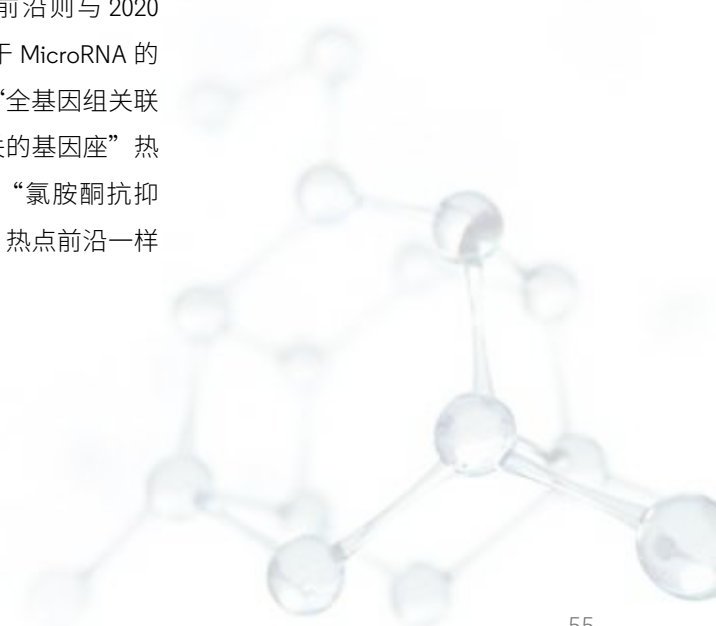


表 25 生物科学领域 Top 10 热点前沿

排名	热点前沿	核心论文	被引频次	核心论文平均出版年
1	新冠肺炎病原的鉴定、病毒全基因组序列分析和 ACE2 受体识别	2	5280	2020
2	新型冠状病毒刺突糖蛋白的结构、功能和抗原性	3	5357	2020
3	肿瘤相关成纤维细胞对肿瘤免疫应答的影响	19	3195	2018.5
4	卡介苗诱导的训练免疫	14	2555	2018.5
5	成年人类大脑海马神经元再生研究	6	1531	2018.5
6	脂蛋白 (a) 与心血管疾病风险以及 RNA 疗法治疗高脂血症	42	3770	2018.3
7	全基因组关联研究确定抑郁症相关基因座	11	2566	2018.3
8	瑞德西韦抑制冠状病毒的机制研究	8	2470	2018.3
9	大脑星形胶质细胞异质性和功能多样性	12	3189	2018.2
10	基于图像的深度学习自动诊断疾病研究	34	7178	2018.1



1.2 重点热点前沿——“新冠肺炎病原鉴定、病毒全基因组序列分析和 ACE2 受体识别”

新冠肺炎疫情给全球卫生体系和社会经济发展带来了严峻挑战。在与时间和疫情争分夺秒的科研攻关中，科学家和临床医务工作者始终站在科学的前沿，基于新冠肺炎数据发表了大量高质量论文，为疫情防控提供了重要线索。新发传染病病原快速鉴定是疫情应急防控体系的重中之重。该热点前沿的 2 篇核心论文于 2020 年 2 月 3 日同日发表在《Nature》期刊上，是写在抗击疫情第一线的较早的两篇论文。这两项研究在最短的时间内提供了有关新型冠状病毒的第一份详细报告，证实新型冠状病毒（SARS-CoV-2）是造成武汉市持续性急性呼吸道综合症流行的病因，并从核酸检测、血清学诊断、病毒分离和受体利用等方面，揭示了新

型冠状病毒的基本生物学特性、全基因组序列、ACE2 受体以及可能的自然宿主。两篇论文结论相互佐证，为后续疫情防控和药物及疫苗研究等奠定了工作基础。

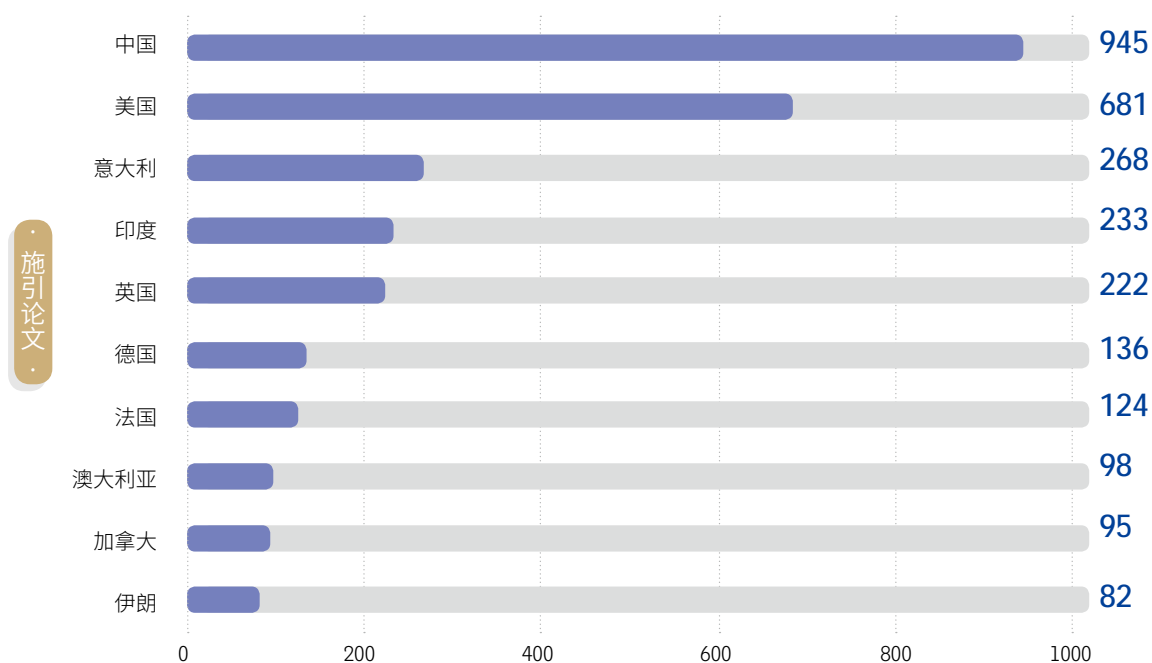
其中，中国科学院武汉病毒研究所、武汉市金银潭医院及湖北省疾病预防控制中心联合团队快速鉴定出病原体为新型冠状病毒（SARS-CoV-2），并揭示了其与 SARS-CoV 冠状病毒的相似性，同时该研究提供了确凿证据证明新型冠状病毒入侵人体细胞的关键受体是血管紧张素转换酶-2（ACE2）该项发现为后续相关研究提供了关键支撑。另一篇论文中，复旦大学附属上海市公共卫生临床中心和公共卫生学院、华

中科技大学武汉中心医院、中国疾病预防控制中心传染病预防控制研究所、武汉疾病预防控制中心和澳大利亚悉尼大学等组成的研究团队在全球最早公布新型冠状病毒全基因组序列，对之后的全球防疫和疫苗及药物研发工作意义重大。

这两篇核心论文被引频次分别达到 3655 次和 1625 次。从施引论文的国家分布来看，中国参与了 945 篇施引论文，占比为 62.1%，是施引论文数量最多的国家。美国以 681 篇施引论文排名第二，表明中国和美国在该前沿展开了较多的跟进研究。施引论文的前十名产出机构中，中国机构占 8 家，占绝对优势，其他 2 家是美国哈佛大学和法国国家健康与医学研究所。

表 26 新冠肺炎病原鉴定、全基因组序列分析和 ACE2 受体识别”
研究前沿中施引论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	施引论文	比例	排名	机构	所属国家	施引论文	比例
1	中国	945	24.8%	1	中国科学院	中国	128	3.4%
2	美国	681	17.9%	2	华中科技大学	中国	124	3.3%
3	意大利	268	7.0%	3	复旦大学	中国	77	2.0%
4	印度	233	6.1%	3	武汉大学	中国	77	2.0%
5	英国	222	5.8%	5	哈佛大学	美国	68	1.8%
6	德国	136	3.6%	6	北京协和医学院	中国	65	1.7%
7	法国	124	3.3%	7	首都医科大学	中国	50	1.3%
8	澳大利亚	98	2.6%	8	浙江大学	中国	44	1.2%
9	加拿大	95	2.5%	9	法国国家健康与医学研究所	法国	43	1.1%
10	伊朗	82	2.2%	10	香港大学	中国	42	1.1%



1.3 重点热点前沿——“新型冠状病毒刺突糖蛋白的结构、功能和抗原性”

新型冠状病毒是引发新冠肺炎疫情的致病原。新型冠状病毒（SARS-CoV-2）和 SARS-CoV 病毒一样，也是利用其表面的刺突糖蛋白（Spike glycoprotein, S 蛋白）结合人体 ACE2 受体（宿主细胞受体血管紧张素转化酶 2）侵入人体细胞。因此，研究新型冠状病毒 S 蛋白及其受体的结构与功能，对进一步揭示病毒入侵机制和相关靶向药物及疫苗研发具有重要意义。

该重点热点前沿由 3 篇核心论文组成，均于 2020 年疫情爆发初期发表在全球顶级期刊《Science》、《Cell》上，是众多新型冠状病毒

研究中的突出代表，在前人的基础上做出重要创新，揭示了新型冠状病毒 S 蛋白的结构及其在病毒侵入人体时发挥的作用，这些关键核心论文及其施引论文研究结果，为新型冠状病毒疫苗和药物的研发提供了思路和研究基础。其中，美国得克萨斯大学奥斯汀分校等团队首次利用冷冻电镜技术展示了 S 蛋白的三聚体结构，并指出新型冠状病毒与 ACE2 的亲合力是 SARS-CoV 的 10-20 倍，这很可能有助于解释其高传染性。德国莱布尼兹灵长类动物研究所等的论文，被引频次最高（2727 次），指出宿主细胞表面跨膜丝氨酸蛋白酶 2（TMPRSS2）

在 S 蛋白活化中扮演重要作用，TMPRSS2 抑制剂则可阻断病毒侵入过程。该研究对了解新型冠状病毒的传播和发病机制、确定抗病毒干预潜在靶点具有重要意义。美国华盛顿大学等的论文则详细阐释了 S 蛋白在新型冠状病毒与宿主感染和膜融合的机制，鉴定出 S 蛋白 S1/S2 亚基边界存在的独特弗林蛋白酶切割位点，解析出 S 蛋白胞外结构域三聚体的冷冻电镜结构。该研究的发现为疫苗和病毒侵入抑制剂的设计提供了蓝图。

该前沿的核心论文均得到了较高的引用。另外 2 篇的被引频次分

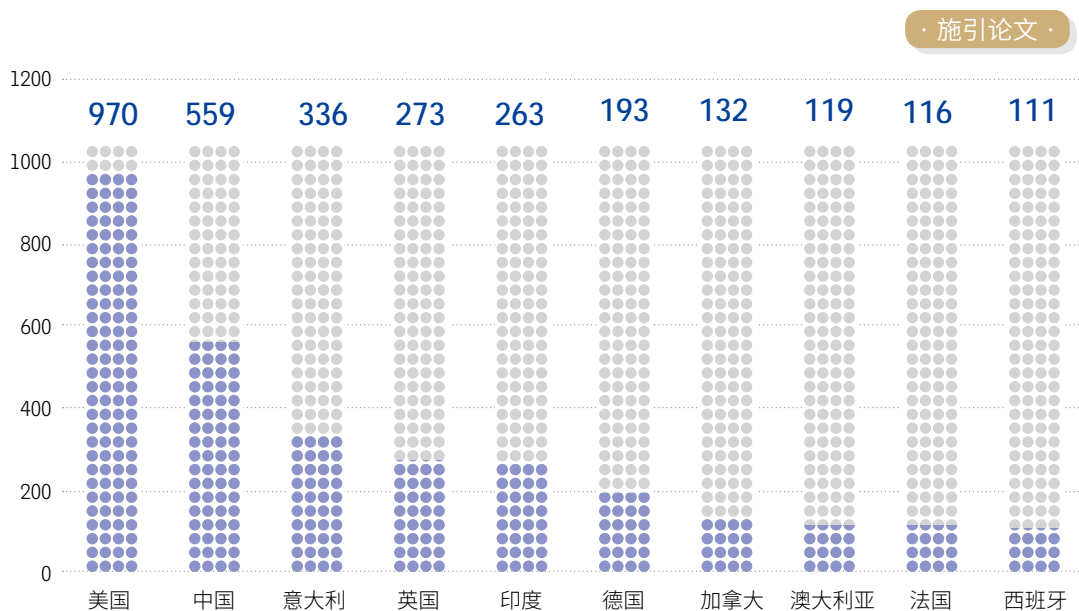
别为 1414 次，和 1214 次。从其施引论文的分布来看，美国是最活跃的国家，参与了 970 篇施引论文。其次是中国，参与了 559 篇施引论文。意大利以 336 篇施引论文排在

第三位（表 27）。TOP10 机构中，4 家机构来自美国，包括哈佛大学、美国国立卫生研究院、西奈山伊坎医学院和加州大学圣迭戈分校。4 家中国机构，分别是华中科技大

学、中国科学院、北京协和医学院和复旦大学。进入 TOP10 的另外 2 家机构是法国国家健康与医学研究所和意大利米兰大学。

表 27 “新型冠状病毒刺突糖蛋白的结构、功能和抗原性”研究前沿中施引论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	施引论文	比例	排名	机构	所属国家	施引论文	比例
1	美国	970	24.0%	1	哈佛大学	美国	101	2.5%
2	中国	559	13.8%	2	华中科技大学	中国	70	1.7%
3	意大利	336	8.3%	3	美国国立卫生研究院	美国	62	1.5%
4	英国	273	6.8%	4	中国科学院	中国	61	1.5%
5	印度	263	6.5%	5	法国国家健康与医学研究所	法国	55	1.4%
6	德国	193	4.8%	6	北京协和医学院	中国	45	1.1%
7	加拿大	132	3.3%	7	西奈山伊坎医学院	美国	42	1.0%
8	澳大利亚	119	2.9%	8	复旦大学	中国	41	1.0%
9	法国	116	2.9%	9	米兰大学	意大利	40	1.0%
10	西班牙	111	2.7%	10	加州大学圣迭戈分校	美国	39	1.0%



2. 新兴前沿及重点新兴前沿解读

2.1 新兴前沿概述

生物科学领域有 11 项研究入选新兴前沿，主要研究主题包括新型冠状病毒相关主题、全基因组泛癌分析、人黏连蛋白折叠基因组机制以及人工智能在肽疗法中的应用等。

其中，8 个新兴前沿从不同角度涉及新型冠状病毒研究，占据了新兴前沿的主要地位，包括致病原

理研究（利用模式动物研究新型冠状病毒致病机理、新型冠状病毒与 ACE2 相互作用的进化动力学）、治疗药物靶标研究（新型冠状病毒主蛋白酶 Mpro、新型冠状病毒 RNA 依赖性 RNA 聚合酶）、强效新型冠状病毒中和抗体研究、新型冠状病毒引发的 T 细胞免疫研究以及新型冠状病毒对女性生殖系统的影响研究。

表 28 生物科学领域新兴前沿

序号	新兴前沿	核心论文	被引频次	核心论文平均出版年
1	强效新型冠状病毒中和抗体	19	1681	2020
2	利用模式动物研究新型冠状病毒的致病机理	19	1606	2020
3	分子模拟方法鉴定抗新型冠状病毒主要蛋白酶的有效抗病毒药物	40	1563	2020
4	新型冠状病毒主蛋白酶结构解析和抑制剂发现	6	1048	2020
5	新型冠状病毒引发的 T 细胞免疫	7	978	2020
6	全基因组泛癌分析	8	647	2020
7	新型冠状病毒对生殖系统的影响	9	314	2020
8	新型冠状病毒的 RNA 依赖性 RNA 聚合酶的结构	2	292	2020
9	新型冠状病毒与 ACE2 相互作用的进化动力学研究	5	111	2020
10	人黏连蛋白通过 DNA 环挤压折叠基因组机制	6	259	2019.7
11	肽治疗学中的机器智能	8	241	2019.6

2.2 重点新兴前沿解读——“新型冠状病毒主蛋白酶的结构解析和抑制剂发现”

新冠肺炎疫情爆发以来，各方投入大量的精力和资金研发新冠肺炎防治的疫苗和药物。至今，疫苗研发已经取得极大进展，大规模的疫苗接种运动为疫情防控带来了积极作用。相比而言，新冠肺炎治疗药物研发却迟缓了很多。

原则上，在寻找新冠肺炎的治疗方案时，与病毒复制和宿主细胞控制有关的所有病毒酶和蛋白质都是潜在的成药靶点。科学家们基于新型冠状病毒本身的S蛋白，RNA依赖性RNA聚合酶（RdRp）和主蛋白酶（Mpro）以及基于宿主的ACE2受体和TMPRSS2等靶点，开展了各种抗病毒药物的开发。其中新型冠状病毒主蛋白酶（main protease, Mpro，又称为3CLpro）的进化高度保守，在介导病毒复制和转录中起着关键作用，成为新型冠状病毒较有吸引力的药物靶点。

该新兴前沿包括6篇核心论文来自中国、美国、澳大利亚和德国等国家，主要关注新型冠状病毒主蛋白酶Mpro的三维结构解析和

抑制剂发现。研究发现新型冠状病毒Mpro是相对分子质量为34000的半胱氨酸蛋白酶，与SARS-CoV Mpro相似性高达96%，Mpro活性分子是由2个彼此近似垂直的单体组成的二聚体结构，每个单体包括3个结构域。

该前沿还通过采取结合结构辅助药物设计、虚拟药物筛选和高通量筛选的方法，开展了广泛的抑制剂筛选，研究发现GC-376、boceprevir、carmofur、ebselen等药物对Mpro具有良好的抑制活性，能有效地抑制新型冠状病毒在宿主细胞中的复制。同时，发现筛选出的拟肽类化合物11a、11b、 α -酮酰胺抑制剂13b等具有开发成药物的潜力。

该新兴前沿的研究成果为快速开发具有临床潜力的抗新冠肺炎药物奠定了重要基础。同时，该前沿受到广泛关注，有众多的科学家展开了跟进研究，我们期待生物医药工作者早日开发出抗新冠肺炎的特效药。

2021 研究前沿
RESEARCH FRONTS

化学与材料科学



1. 热点前沿及重点热点前沿解读

1.1 化学与材料科学领域 Top 10 热点前沿发展态势

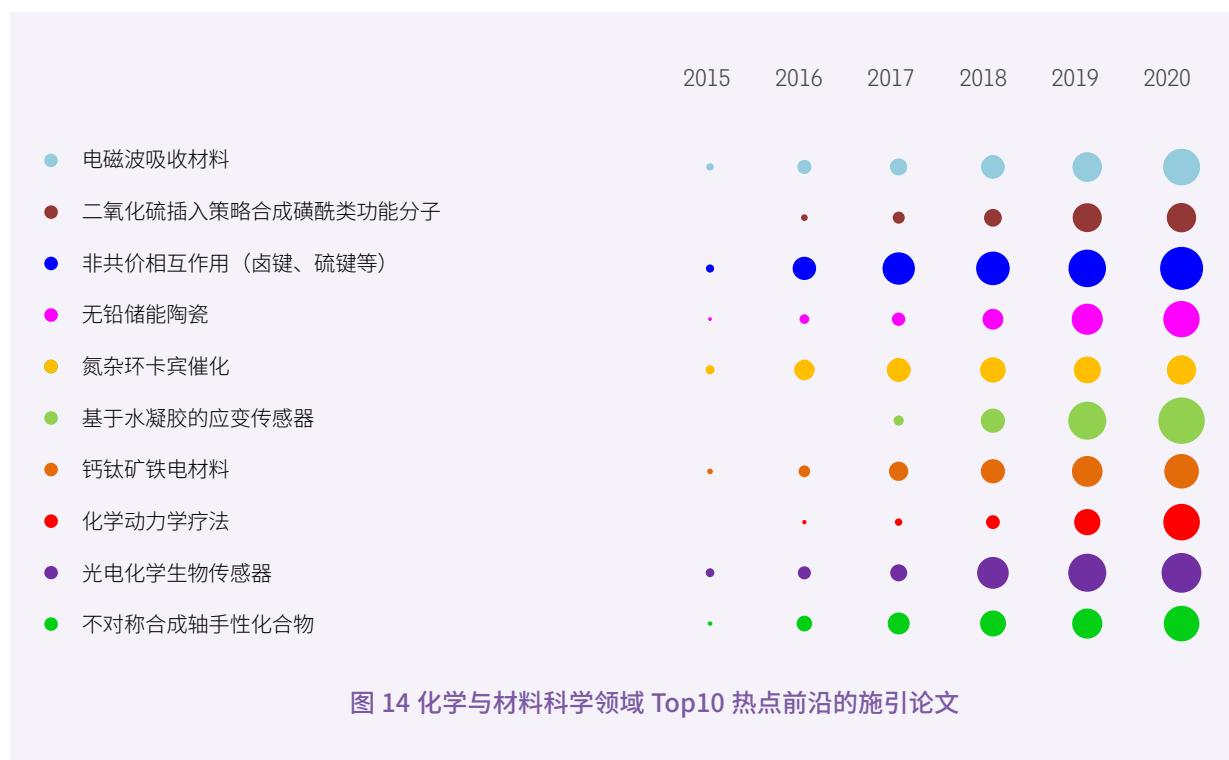
2021 年化学与材料科学领域 Top10 热点前沿主要分布在有机合成、先进材料、生物化学等方面 (表 29)。与 2013-2020 年相比, 2021 年 Top10 热点前沿中超过半数的前沿属于首次入选, 即使曾经出现过的研究主题在今年其研究方向也发生了迁移。在有机合成方面, 氮杂环卡宾催化去年曾入选 Top10 热点研究前沿, 2021 年突出了光和氮杂环卡宾的协同催化; 二氧化硫插入策略合成磺酰类功能分子、非共价相互作用 (卤键、硫键等) 及不对称合成轴手性化合物三个研究方向均是首次出现。先进材料方面, 钙钛矿材料的研究一直是近年来的热点, 2013-2020 年主要研究其作为电池材料和光学晶体材料在

太阳能电池和光电探测器领域的应用, 2021 年重点关注了其铁电性质; 基于水凝胶的应变传感器曾是 2020 年的热点前沿, 2021 年在其抗干燥、热稳定性及机械稳定性等性能提升方面做了较多研究; 电磁波吸收材料曾是 2016 年的新兴前沿, 重点关注了具有壳核结构的电磁波材料, 2021 年重点关注了具有棒状、花状及层状结构复合物对电磁波的吸收性能; 无铅储能陶瓷曾是 2020 年的热点前沿, 重点研究了无铅钙钛矿铁电储能陶瓷材料, 2021 年重点关注了无铅弛豫铁电储能陶瓷材料。生物化学方面, 化学动力学疗法和光电化学生物传感器均是首次入选研究前沿。



表 29 化学与材料科学 Top 10 热点前沿

排名	热点前沿	核心论文	被引频次	核心论文平均出版年
1	电磁波吸收材料	41	3079	2019
2	二氧化硫插入策略合成磺酰类功能分子	35	2450	2018.6
3	非共价相互作用（卤键、硫键等）	31	4608	2018.5
4	无铅储能陶瓷	41	4005	2018.5
5	氮杂环卡宾催化	24	2598	2018.5
6	基于水凝胶的应变传感器	29	3774	2018.3
7	钙钛矿铁电材料	22	2543	2018.3
8	化学动力学疗法	12	1959	2018.3
9	光电化学生物传感器	48	7832	2018.1
10	不对称合成轴手性化合物	30	5988	2018



1.2 重点热点前沿——“非共价相互作用（卤键、硫键等）”

卤键、硫键等二次键是超分子的弱相互作用，通常被视为氢键相互作用的竞争性相互作用。作为非共价键研究领域的新范式，卤键、硫键等二次键引发了分子间相互作用的新方向。借由这种新颖的分子间相互作用构筑的材料表现出独特的荧光、磷光、磁性、液晶、超分子凝胶等特性，在光波导、传感、催化和药物发现等领域具有广阔的应用前景，近年来成为化学与材料科学领域的热点研究方向。

针对卤素键的研究最早始于

1814年，Jean-Jacques Colin 制备了有史以来第一个具有金属光泽的蓝黑色卤素键合复合物 ($I_2 \cdots NH_3$)。针对硫键的研究则始于20世纪60年代。现如今，卤素键已在硅片和固态实验中得到广泛研究，溶液中的应用主要集中在阴离子识别和传感、阴离子模板自组装以及有机催化等领域。固相中，硫键已被用于纳米结构的构建和复杂阵列的自组装；近期在溶液中的应用主要利用分子内相互作用机理实现中间体构象或试剂的稳定，用于阴离子识别

和传输以及有机合成和有机催化中。尽管对这些二次共价键的研究由来已久，但目前对支配这些相互作用的基本几何和物理参数的研究和理解还处于初级阶段，对其在超分子构筑中所发挥的作用及在合成/转化、晶体工程、催化以及合成/构造功能材料中的应用的认知和实践还需进一步的深化。本前沿反映了这些二次键在阴离子识别、晶体工程、非共价有机合成和有机催化中的理论和应用探索中的一些重要研究进展。

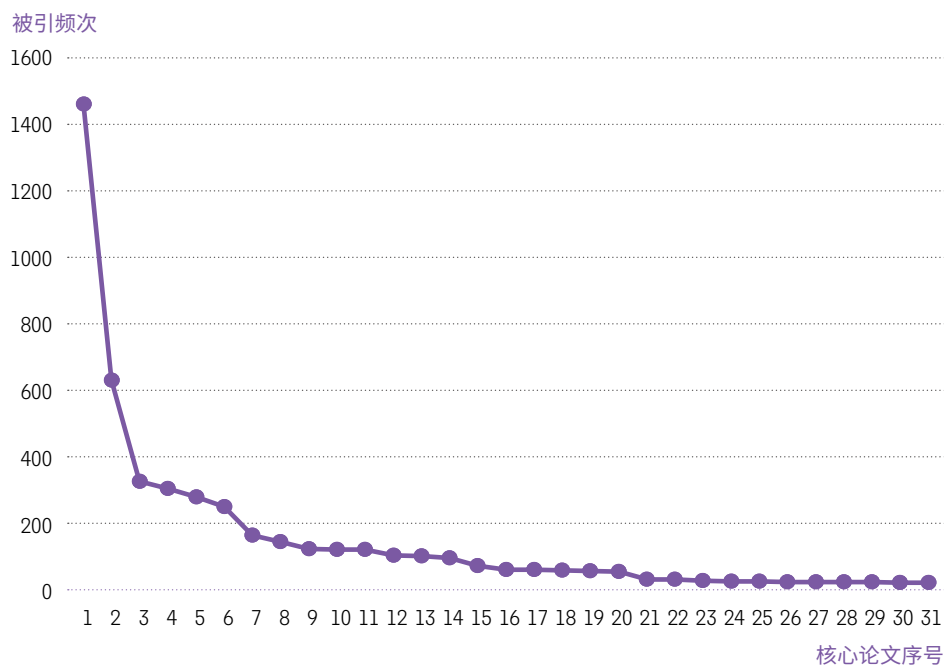
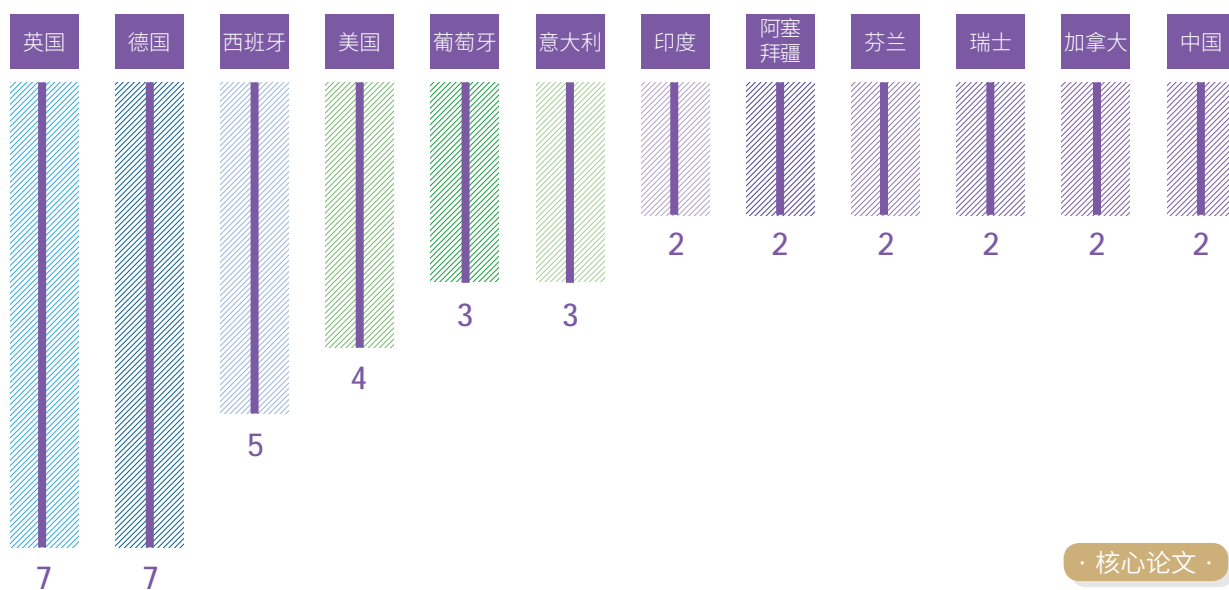


图 15 “非共价相互作用（卤键、硫键等）”研究前沿中核心论文的被引频次分布曲线

在本热点前沿中，意大利米兰理工大学等和英国牛津大学发表在《Chemical Reviews》上的关于卤素键及其在超分子化学中的两篇应用综述论文分别获得了 1462 次和 625 次的引用（图 15）。如表 30 所示，英国、德国和西班牙等国家在此前沿发表了多篇高水平论文，中国参与了 2 篇核心论文的撰写。核心论文 Top 机构中，来自英国的有 2 家，包括牛津大学和爱丁堡大学，来自西班牙和瑞士的也各有 2 家。

表 30 “非共价相互作用（卤键、硫键等）”研究前沿中核心论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	核心论文	比例	排名	机构	所属国家	核心论文	比例
1	英国	7	22.6%	1	巴利阿里群岛大学	西班牙	5	16.1%
1	德国	7	22.6%	1	波鸿鲁尔大学	德国	5	16.1%
3	西班牙	5	16.1%	3	米兰理工大学	意大利	3	9.7%
4	美国	4	12.9%	3	牛津大学	英国	3	9.7%
5	葡萄牙	3	9.7%	5	先正达	瑞士	2	6.5%
5	意大利	3	9.7%	5	西班牙高等科学研究理事会	西班牙	2	6.5%
7	印度	2	6.5%	5	里斯本大学	葡萄牙	2	6.5%
7	阿塞拜疆	2	6.5%	5	日内瓦大学	瑞士	2	6.5%
7	芬兰	2	6.5%	5	爱丁堡大学	英国	2	6.5%
7	瑞士	2	6.5%	5	犹他州州立大学	美国	2	6.5%
7	加拿大	2	6.5%	5	巴库国立大学	阿塞拜疆	2	6.5%
7	中国	2	6.5%					



· 核心论文 ·

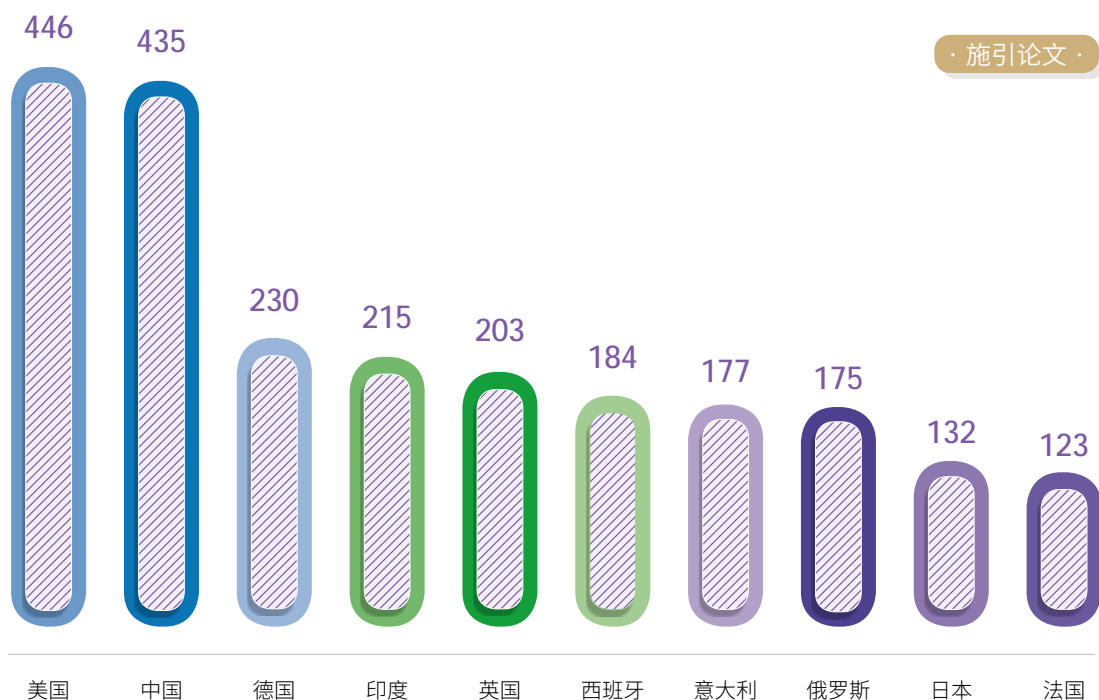
从施引论文角度看（表31），美国和中国是最活跃的国家，参与发表的施引论文数分别为446篇和435篇，远超过其他国家，均处于绝对领先地位。其次是德国、

印度和英国。在施引论文Top10机构中，有3家俄罗斯机构入选，俄罗斯科学院、圣彼得堡州立大学和南乌拉尔国立大学，其施引论文数分别位于第一、第三和第九位；法

国国家科学研究中心与俄罗斯科学院排名并列第一；中国科学院位列第四，在此前沿的施引论文数为82篇。

表 31 “非共价相互作用（卤键、硫键等）”研究前沿中施引论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	施引论文	比例	排名	机构	所属国家	施引论文	比例
1	美国	446	17.4%	1	法国国家科学研究中心	法国	97	3.8%
2	中国	435	17.0%	1	俄罗斯科学院	俄罗斯	97	3.8%
3	德国	230	9.0%	3	圣彼得堡州立大学	俄罗斯	86	3.4%
4	印度	215	8.4%	4	中国科学院	中国	82	3.2%
5	英国	203	7.9%	5	巴利阿里群岛大学	西班牙	70	2.7%
6	西班牙	184	7.2%	6	米兰理工大学	法国	50	1.9%
7	意大利	177	6.9%	7	西班牙高等科学研究理事会	西班牙	48	1.9%
8	俄罗斯	175	6.8%	8	印度理工学院	印度	44	1.7%
9	日本	132	5.1%	9	南乌拉尔国立大学	俄罗斯	42	1.6%
10	法国	123	4.8%	10	意大利国家研究委员会	意大利	41	1.6%



1.3 重点热点前沿——“化学动力学疗法”

化学动力学疗法(Chemodynamic Therapy, CDT) 是一类基于铁基芬顿反应的新型肿瘤治疗策略, 2016年由中国科学院上海硅酸盐研究所首次提出。该策略基于非晶铁纳米颗粒在肿瘤微环境中先酸解离、再催化过氧化氢歧化的逻辑响应关系, 在瘤内原位产生羟基自由基, 导致肿瘤细胞线粒体不可逆的破坏、DNA 链断裂以及蛋白和膜的氧化, 最终分解为生物安全的铁离子, 显著提高肿瘤治疗的特异性。为了进一步优化 CDT 治疗效果, 研究人员分别从纳米催化剂的选择(铁基/非铁基、均相/非均相、

有机/无机等), 肿瘤微环境的调控(降低瘤内 pH、增加反应底物 H_2O_2 、减少抗氧化剂谷胱甘肽等), 外源能量场的辅助(光、热、超声、电和磁场)等角度展开了详细的研究。这一新兴的治疗手段不仅能够直接杀灭肿瘤细胞, 还可以与其他肿瘤治疗策略(如化疗)有机结合, 共同提升抗肿瘤疗效。

该热点前沿中, 中国科学院上海硅酸盐研究所提出“化学动力学疗法”概念的 2016 年发表的原创论文“Synthesis of Iron Nanometallic Glasses and Their Application in

Cancer Therapy by a Localized Fenton Reaction”获得了最多的引用, 被引 308 次。中国科学院上海硅酸盐研究所与华东师范大学在 2019 年联合发表的综述性论文“Chemodynamic Therapy: Tumour Microenvironment-Mediated Fenton and Fenton-like Reactions”以及福州大学利用 MnO_2 基纳米制剂同时输送类 Fenton 离子和消耗谷胱甘肽以增强化疗动力学治疗的相关文章也获得较多的引用, 均被引 287 次, 这三篇论文均发表在《Angewandte Chemie-International Edition》上(图 16)。

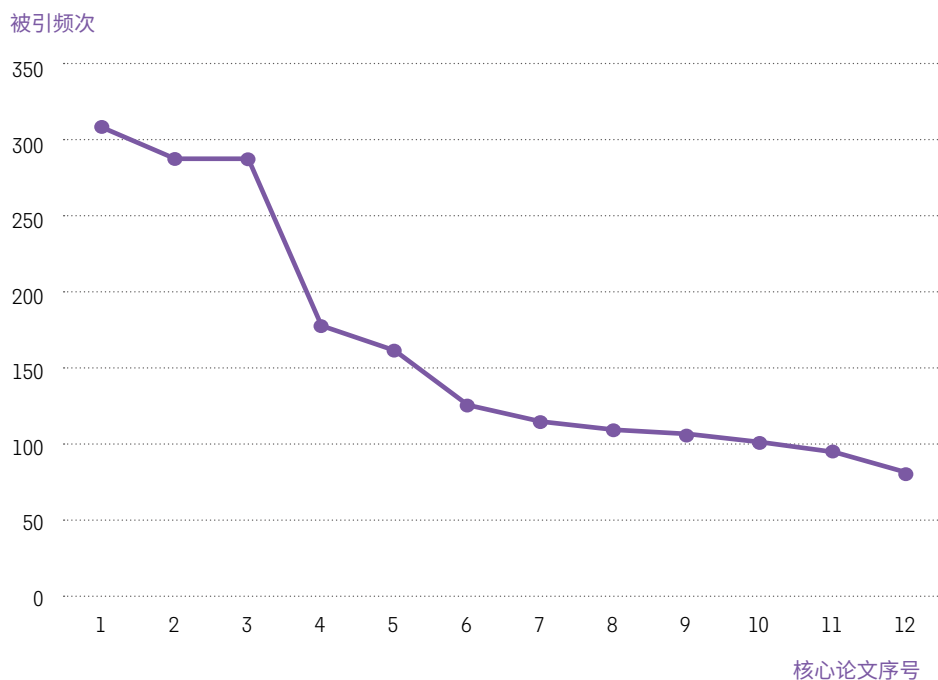


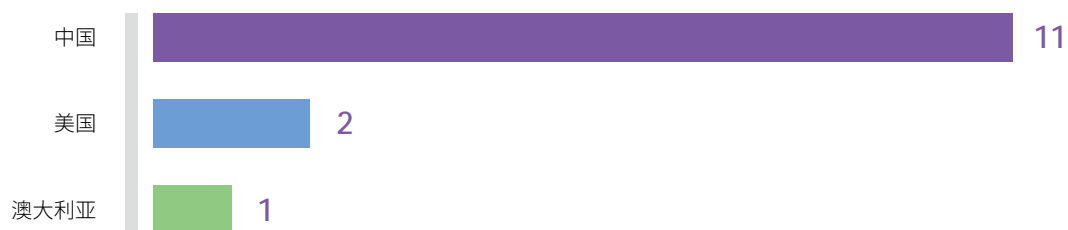
图 16 “化学动力学疗法”研究前沿中核心论文的被引频次分布曲线

在该研究前沿中，中国表现最活跃，是核心论文的主要产出国家（表 32）。美国和澳大利亚两国也有少量核心论文产出。核心论文 Top 产出机构中，中国机构占了绝大多数，其中中国科学院发文量最多，美国国立卫生研究院和澳大利亚的墨尔本大学在此前沿也有产出。

表 32 “化学动力学疗法”研究前沿中核心论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	核心论文	比例	排名	机构	所属国家	核心论文	比例
1	中国	11	91.7%	1	中国科学院	中国	5	41.7%
2	美国	2	16.7%	2	华东师范大学	中国	3	25.0%
3	澳大利亚	1	8.3%	3	福州大学	中国	2	16.7%
				3	深圳大学	中国	2	16.7%
				3	复旦大学	中国	2	16.7%
				3	美国国立卫生研究院	美国	2	16.7%
				7	吉林大学	中国	1	8.3%
				7	中国科学技术大学	中国	1	8.3%
				7	北京科技大学	中国	1	8.3%
				7	哈尔滨医科大学	中国	1	8.3%
				7	山东大学	中国	1	8.3%
				7	墨尔本大学	澳大利亚	1	8.3%
				7	同济大学	中国	1	8.3%
				7	济南大学	中国	1	8.3%
				7	武汉大学	中国	1	8.3%

· 核心论文 ·



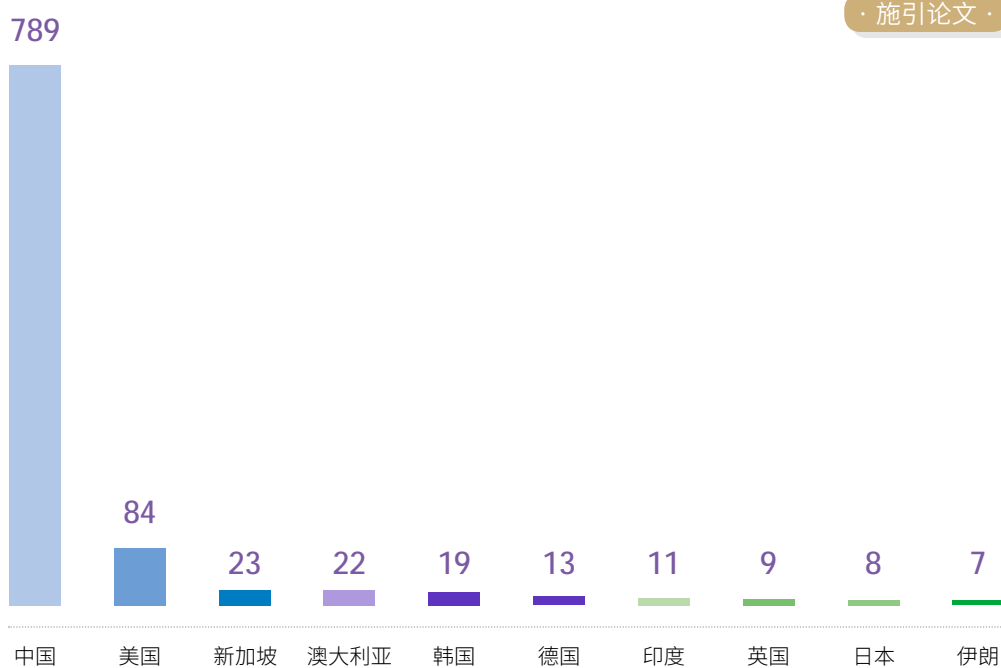
从施引论文角度看，该前沿获得了中国学者的大量引用，贡献了789篇施引论文，占施引论文总量的81.8%，美国、新加坡和澳大利

亚紧随其后。施引论文排名前十的机构中，包括9家中国机构和一家美国机构-美国国立卫生研究院。其中，中国科学院的施引论文最多，

为231篇，约占施引论文总量的四分之一。

表 33 “化学动力学疗法”研究前沿中施引论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家 / 地区	施引论文	比例	排名	机构	所属国家	施引论文	比例
1	中国	789	81.8%	1	中国科学院	中国	231	23.9%
2	美国	84	8.7%	2	中国科学技术大学	中国	64	6.6%
3	新加坡	23	2.4%	3	复旦大学	中国	40	4.1%
4	澳大利亚	22	2.3%	3	同济大学	中国	40	4.1%
5	韩国	19	2.0%	5	上海交通大学	中国	38	3.9%
6	德国	13	1.3%	6	吉林大学	中国	34	3.5%
7	印度	11	1.1%	7	深圳大学	中国	33	3.4%
8	英国	9	0.9%	7	苏州大学	中国	33	3.4%
9	日本	8	0.8%	7	浙江大学	中国	33	3.4%
10	伊朗	7	0.7%	10	美国国立卫生研究院	美国	32	3.3%



2. 新兴前沿及重点新兴前沿解读

2.1 新兴前沿概述

在化学与材料科学领域共有 3 项研究入选新兴前沿，1 项聚焦化学原理在病毒检测中的应用，即“化学传感器在新型冠状病毒检测中的应用”；1 项聚焦新型塑料的研发，即“新型塑料 vitrimers 的制备和性质研究”；还有 1 项侧重于海水淡化材料的研制，即“聚酰胺纳米膜用于海水淡化”（表 34）。这三个前沿方向均是首次进入新兴研究前沿。

表 34 化学与材料科学领域新兴前沿

序号	新兴前沿	核心论文	被引频次	核心论文平均出版年
1	化学传感器在新型冠状病毒检测中的应用	5	296	2019.8
2	新型塑料 vitrimers 的制备和性质研究	6	245	2019.7
3	聚酰胺纳米膜用于海水淡化	14	1881	2018.1

2.2 重点新兴前沿解读——“化学传感器在新型冠状病毒检测中的应用”

新冠肺炎 (COVID-19) 疫情肆虐全球，引发此次疫情的罪魁祸首是新型冠状病毒 (SARS-CoV-2)。检测新型冠状病毒的传感器是有效评估临床进展和对感染严重程度或严重趋势保持警惕的有力工具。由于新冠肺炎疫情期间要求提供频繁、低成本、快速且大批量地检测，灵敏度高且速度快的新型传感器应运而生。化学传感器操作简便、检测成本低廉，且灵敏度和准确性也更高，为新冠肺炎疫情的防控和诊断提供了诸多有潜力的检测方案。

在本前沿中，瑞士联邦理工学院和中国山东中医药大学联合制备了带有互补 DNA 受体的二维金纳米岛 (AuNIs) 双功能等离子体光热生物传感器，利用其等离子体光热 (PPT) 效应和局部表面等离子体共振 (LSPR) 传感转导功能，实现了对新型冠状病毒选定序列的灵敏检测。该方法的检测下限低至 0.22 μm ，并允许在多基因混合物中精确检测特定靶点。韩国基础科学研究院利用在场效应晶体管的石墨烯片上涂覆一种针对新型冠状病毒

尖峰蛋白的特异性抗体的策略，制备成可灵敏检测新型冠状病毒的传感器。美国马里兰大学基于金纳米颗粒 (AuNPs) 的比色分析方法，开发出一种无需任何复杂的仪器技术，即可实现对新型冠状病毒进行选择性的“肉眼”检测。

如今，新冠疫情的形势在全球多地仍不容乐观。基于化学技术制备更为灵敏、便捷的病毒传感器仍将是化学和生物医药工作者的长期任务。

2021 研究前沿
RESEARCH FRONTS

物理学



1. 热点前沿及重点热点前沿解读

1.1 物理学领域 Top 10 热点前沿发展态势

物理领域位居前十位的热点前沿主要集中于凝聚态物理、高能物理、理论物理和光学。凝聚态物理方面的热点前沿有 6 个，转角双层石墨烯、非厄米系统的拓扑态、高阶拓扑绝缘体和高阶拓扑超导体、二维范德瓦尔斯磁性材料依然是今年的研究前沿，反铁磁自旋电子学、高压下富氢化合物的高温超导电性成为了新的热点前沿。高能物理方面聚焦在味对称性与轻子质量的研究。理论物理方面，黑洞信息佯谬与纠缠熵研究以及量子多体疤痕与多体动力学备受关注。光学方面，基于 Ga_2O_3 的日盲紫外光电探测器成为了热点前沿。

表 35 物理学领域 Top 10 热点前沿

排名	热点前沿	核心论文	被引频次	核心论文平均出版年
1	双层转角石墨烯的特性研究	42	6121	2018.8
2	非厄米系统的拓扑态研究	45	4217	2018.7
3	黑洞信息佯谬与纠缠熵研究	28	1792	2018.7
4	量子多体疤痕与多体动力学	36	3093	2018.6
5	味对称性与轻子质量的研究	27	2376	2018.6
6	高阶拓扑绝缘体和高阶拓扑超导体	37	5048	2018.2
7	反铁磁自旋电子学	10	2174	2018.1
8	基于 Ga_2O_3 的日盲紫外光电探测器	17	1781	2018.1
9	二维范德华磁性材料的特性研究	37	8745	2017.7
10	高压下富氢化合物的高温超导电性研究	27	3676	2017.5

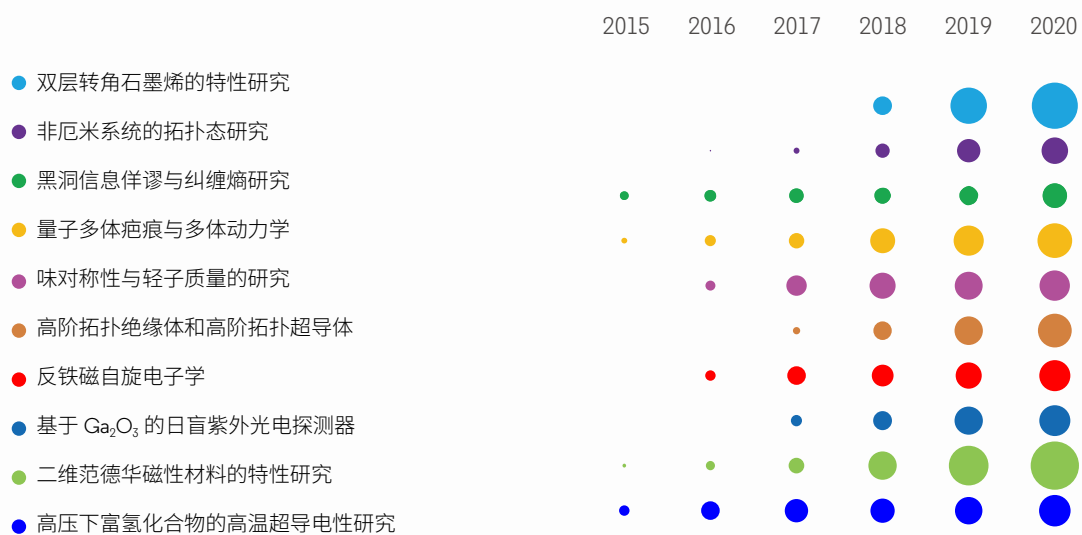


图 17 物理学领域 Top10 热点前沿的施引论文

1.2 重点热点前沿——“高压下富氢化合物的高温超导电性研究”

超导体是在某一临界温度下具有零电阻和抗磁性的导电材料，可大幅提高发电和输电的效率，在医疗、能源、信息、交通、科研等诸多领域具有巨大应用潜力。超导体研究的最终目标是获得能在室温下工作的超导体，科学家一直在努力寻找具有更高临界温度的超导体。在富氢化合物出现前，最高超导临

界温度的纪录保持者是铜氧化物，常压下 133 K，高压下 164 K。

富含氢的化合物被视为潜在的高温超导体，但真正的突破出现在 2015 年，德国马普学会化学研究所报道了硫化氢在高压下实现了 203K 的临界温度。这一发现引起了科学家对高压下富氢化合物的高

温超导电性的极大关注。2019 年，美国乔治·华盛顿大学等报道了镧化氢在高压下实现了 260K 的临界温度。目前，越来越多的富氢化合物超导体已被报道。然而，富氢化合物超导体只能在超高压条件下存在，阻碍了其实际应用的可能性。室温超导研究仍期待进一步的突破。

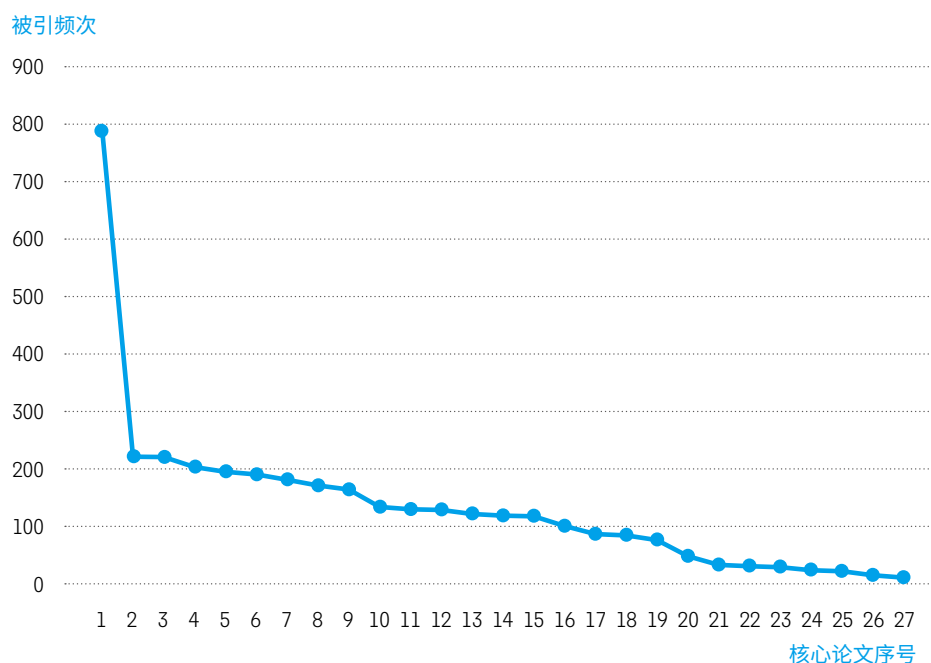


图 18 “高压下富氢化合物的高温超导电性研究”研究前沿中核心论文的被引频次分布曲线

从影响力看（图 18），27 篇核心论文中被引频次最高的论文是 2015 年德国马普学会化学研究所等发表在《Nature》上的一篇文章，实现 203K 的硫化氢研究，被引频

次为 785 次，远超其他论文。此外，富氢化合物的理论研究加速了富氢化合物超导体系的发现，也备受关注。西班牙多诺斯蒂亚国际物理中心（DIPC）、美国乔治·华盛顿大

学、吉林大学分别发表了对富氢化合物的理论预测论文，其被引频次都位列前茅。

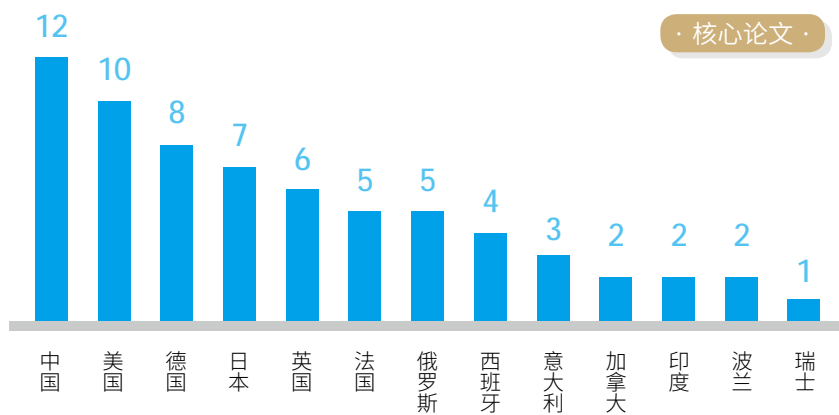
在这个热点前沿中，中国和美国表现最活跃，是核心论文的主要产出国家（表 36）。27 篇核心论文中，中国贡献 12 篇，占核心论文总量的 44.4%，美国参与的有 10

篇，占核心论文总量的 37.0%。德国、日本、英国等也有不错的表现。参与核心论文最多的机构是吉林大学、德国马普学会和英国剑桥大学。这些机构中，来自中国和美国各

有 3 所，俄罗斯和法国各有 2 所，德国、英国、日本、西班牙、意大利各 1 所。

表 36 “高压下富氢化合物的高温超导电性研究”研究前沿中核心论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	核心论文	比例	排名	机构	所属国家	核心论文	比例
1	中国	12	44.4%	1	吉林大学	中国	9	33.3%
2	美国	10	37.0%	2	马普学会	德国	7	25.9%
3	德国	8	29.6%	3	剑桥大学	英国	5	18.5%
4	日本	7	25.9%	4	卡内基科学研究所	美国	4	14.8%
5	英国	6	22.2%	4	西北工业大学	中国	4	14.8%
6	法国	5	18.5%	4	东北大学	日本	4	14.8%
6	俄罗斯	5	18.5%	4	斯科尔科沃科学技术学院	俄罗斯	4	14.8%
8	西班牙	4	14.8%	8	巴斯克大学	西班牙	3	11.1%
9	意大利	3	11.1%	8	罗马大学	意大利	3	11.1%
10	加拿大	2	7.4%	8	索邦大学	法国	3	11.1%
10	印度	2	7.4%	8	莫斯科物理技术学院	俄罗斯	3	11.1%
10	波兰	2	7.4%	8	乔治·华盛顿大学	美国	3	11.1%
13	瑞士	1	3.7%	8	美国能源部	美国	3	11.1%
				8	法国国家科学研究中心	法国	3	11.1%
				8	江苏师范大学	中国	3	11.1%



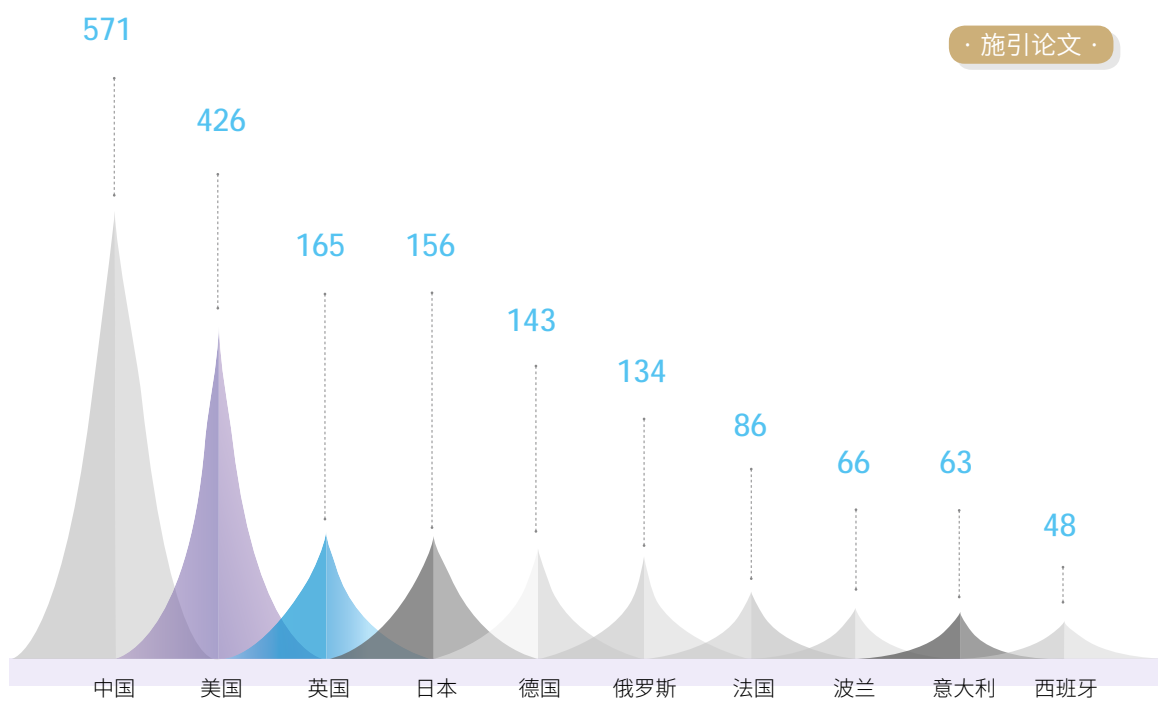
该前沿施引论文 Top 国家（表 37）中，中国和美国仍是最活跃的国家，远超其他国家。英国、日本、

德国紧随其后。施引论文总量排名前 10 的机构中，吉林大学和美国能源部的施引论文最多，随后是中

国科学院、俄罗斯科学院和卡内基科学研究所。

表 37 “高压下富氢化合物的高温超导电性研究”研究前沿中施引论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	施引论文	比例	排名	机构	所属国家	施引论文	比例
1	中国	571	38.6%	1	吉林大学	中国	166	11.2%
2	美国	426	28.8%	2	美国能源部	美国	126	8.5%
3	英国	165	11.1%	3	中国科学院	中国	120	8.1%
4	日本	156	10.5%	3	俄罗斯科学院	俄罗斯	74	5.0%
5	德国	143	9.7%	5	卡内基科学研究所	美国	70	4.7%
6	俄罗斯	134	9.0%	6	北京高压科学研究中心	中国	58	3.9%
7	法国	86	5.8%	7	东北大学	日本	55	3.7%
8	波兰	66	4.5%	8	法国国家科学研究中心	法国	54	3.6%
9	意大利	63	4.3%	9	马普学会	德国	53	3.6%
10	西班牙	48	3.2%	10	爱丁堡大学	英国	52	3.5%



1.3 重点热点前沿——“反铁磁自旋电子学”

自旋电子学将电子自旋相关效应与传统微电子学相结合，为研发具有高密度、低功耗的信息存储和太赫兹源等全新功能的下一代微电子器件提供了重要的机遇。目前，自旋电子器件的主要材料为铁磁体。近年来，反铁磁材料因为具有稳定、低能耗、高响应频率等优点，为自旋电子器件的研发提供了新的思路，反铁磁自旋电子学受到了广泛的关注。同时，由于反铁磁材料的高稳定性，实现反铁磁自旋电子器件的写入读出功能成为反铁磁自旋电子学的重要挑战。2016年，英国诺丁汉大学等报道了通过外加电流实现反铁磁磁矩的室温电学翻

转，证实了利用电流诱导代替磁场进行探测和操控反铁磁材料的可能性，引发反铁磁自旋电子学的研究热潮。

从影响力看（图19），10篇核心论文中被引频次最高的论文是捷克共和国科学院等机构在2016年发表在《Nature Nanotechnology》上的关于反铁磁自旋电子学的综述论文，被引频次为693次。英国诺丁汉大学等在2016年发表在《Science》上的通过外加电流实现反铁磁磁矩的室温电学翻转的论文，以及法国国家科学研究中心等在2018年发表在《Reviews of Modern Physics》上的反铁磁自旋

电子学综述文章紧随其后，被引频次分别为521次和485次。此外，德国美因茨约翰内斯·古滕贝格大学、清华大学分别开展的通过电流诱导操控反铁磁材料的研究，以及德国马普学会固体化学物理研究所的综述文章，也获得了广泛的引用。

在这个热点前沿中，英国和日本的表现最活跃，德国、美国和捷克紧随其后（表38）。参与核心论文最多的机构是英国诺丁汉大学、捷克共和国科学院和日本东北大学。这些机构中，来自日本的有3所，英国、捷克和美国各有2所，德国有1所。

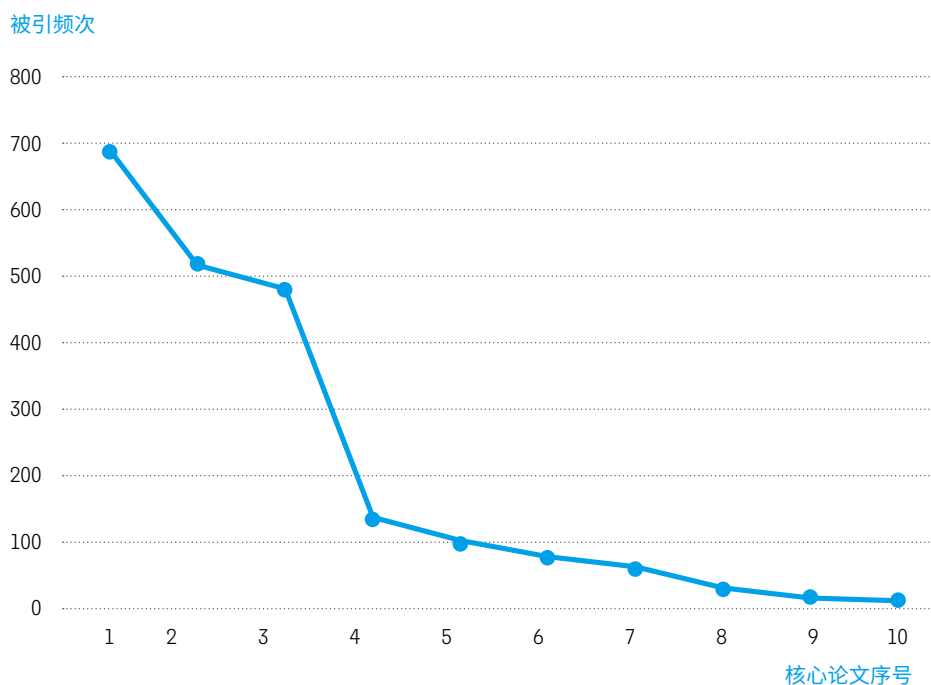
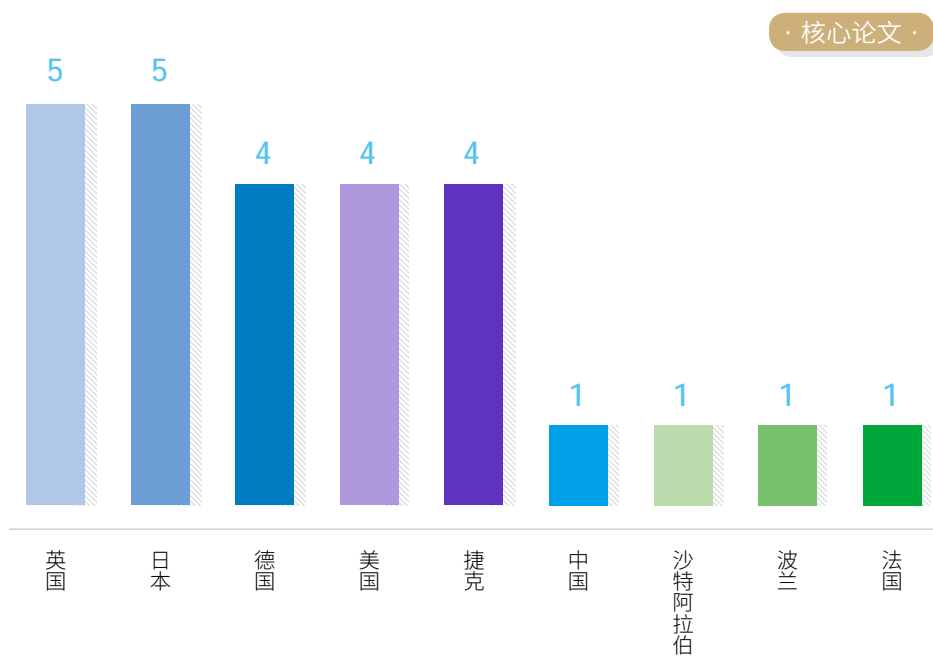


图 19 “反铁磁自旋电子学” 研究前沿中核心论文的被引频次分布曲线

表 38 “反铁磁自旋电子学”研究前沿中核心论文的 Top 产出国家和机构

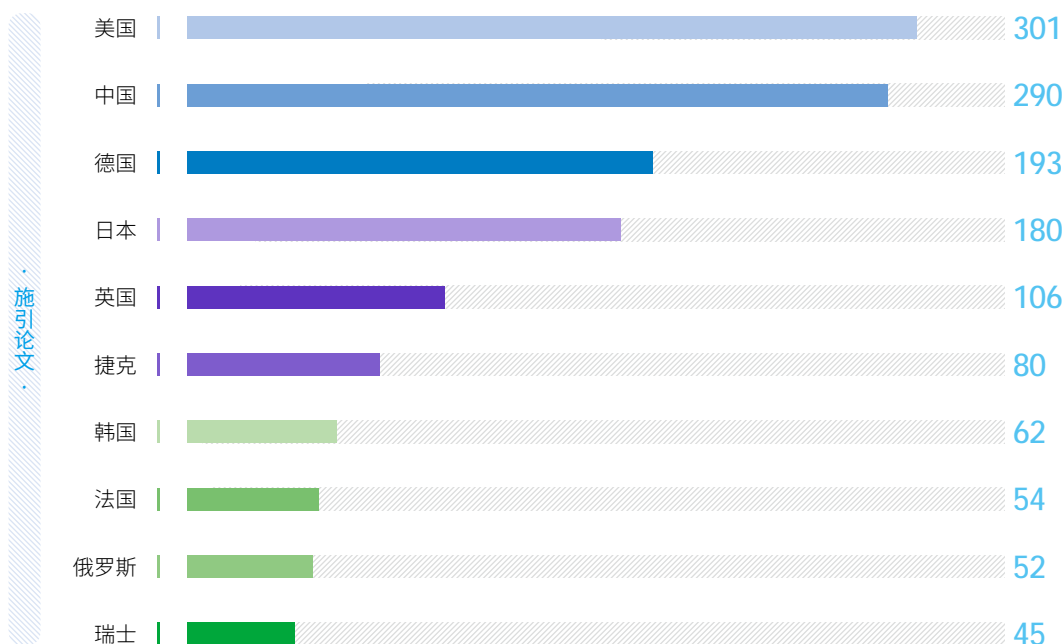
排名	国家	核心论文	比例	排名	机构	所属国家	核心论文	比例
1	英国	5	50.0%	1	诺丁汉大学	英国	4	40.0%
1	日本	5	50.0%	1	捷克共和国科学院	捷克	4	40.0%
3	德国	4	40.0%	3	东北大学	日本	3	30.0%
3	美国	4	40.0%	4	美因茨约翰内斯·古滕贝格大学	德国	2	20.0%
3	捷克	4	40.0%	4	东京大学	日本	2	20.0%
6	中国	1	10.0%	4	查理大学	捷克	2	20.0%
6	沙特阿拉伯	1	10.0%	4	加州大学洛杉矶分校	美国	2	20.0%
6	波兰	1	10.0%	4	亥姆霍兹联合会	德国	2	20.0%
6	法国	1	10.0%	4	钻石光源研究所	英国	2	20.0%
				4	京都大学	日本	2	20.0%



分析该热点前沿施引论文的国家和其他国家。德国和日本紧随其后。施引论文总量排名前10的机构中，德国美因茨约翰内斯·古滕贝格大学和中国是最活跃的国家，远超中国科学院和美国能源部的施引论文最多，随后是捷克共和国科学院、德国美因茨约翰内斯·古滕贝格大学和日本东北大学。

表 39 “反铁磁自旋电子学”研究前沿中施引论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	施引论文	比例	排名	机构	所属国家	施引论文	比例
1	美国	301	26.3%	1	中国科学院	中国	79	6.9%
2	中国	290	25.3%	2	美国能源部	美国	75	6.6%
3	德国	193	16.9%	3	捷克共和国科学院	捷克	70	6.1%
4	日本	180	15.7%	4	美因茨约翰内斯·古滕贝格大学	德国	66	5.8%
5	英国	106	9.3%	5	东北大学	日本	64	5.6%
6	捷克	80	7.0%	6	亥姆霍兹联合会	德国	55	4.8%
7	韩国	62	5.4%	7	东京大学	日本	51	4.5%
8	法国	54	4.7%	8	马普学会	德国	48	4.2%
9	俄罗斯	52	4.5%	9	诺丁汉大学	英国	45	3.9%
10	瑞士	45	3.9%	10	法国国家科学研究中心	法国	44	3.8%



2. 新兴前沿及重点新兴前沿解读

2.1 新兴前沿概述

物理学领域有 1 项研究入选新兴前沿，即“无限层型镍氧化物的超导电性研究”。

表 40 物理学领域新兴前沿

序号	新兴前沿	核心论文	被引频次	核心论文平均出版年
1	无限层型镍氧化物的超导电性研究	19	603	2019.8

2.2 重点新兴前沿——“无限层型镍氧化物的超导电性研究”

超导研究一直是凝聚态物理领域最重要的研究方向之一。铜氧化物的高温超导在 1986 年被发现，并在不久后得了诺贝尔物理学奖。此后，超导机理和新的超导材料的研究持续成为研究的热点，并不断取得重要进展，例如铜氧化物超导体体系创造的常压下高温超导温度纪录，铁基超导体体系的发现等。铜是第 29 号元素，镍是第 28 号元素，镍氧化物的电子结构与铜氧化物相

似，因此，镍氧化物的研究引起了广泛的关注。

近年来，钙钛矿结构镍氧化物和层状镍氧化物的研究取得了重要的进展，为镍氧化物的超导研究打下了坚实的基础。2019 年，美国斯坦福大学等将钙钛矿型镍氧化物转变成无限层结构，首次在 $\text{Nd}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{NiO}_2$ 体系中发现了超导现象。这一成果实现了关于镍氧化

物超导的猜想，激发了科学家对镍氧化物超导体体系的兴趣。在这个新兴前沿中，被引频次最高的论文正是斯坦福大学发表在《Nature》上的发现镍氧化物超导的研究，被引频次为 150 次。其他论文的研究内容包括了无限层型镍氧化物的超导相图、电子结构、超导理论预测、超导模型等。镍氧化物超导体体系的研究将为高温超导研究带来新的思路。

2021研究前沿
RESEARCH FRONTS

天文学与 天体物理学



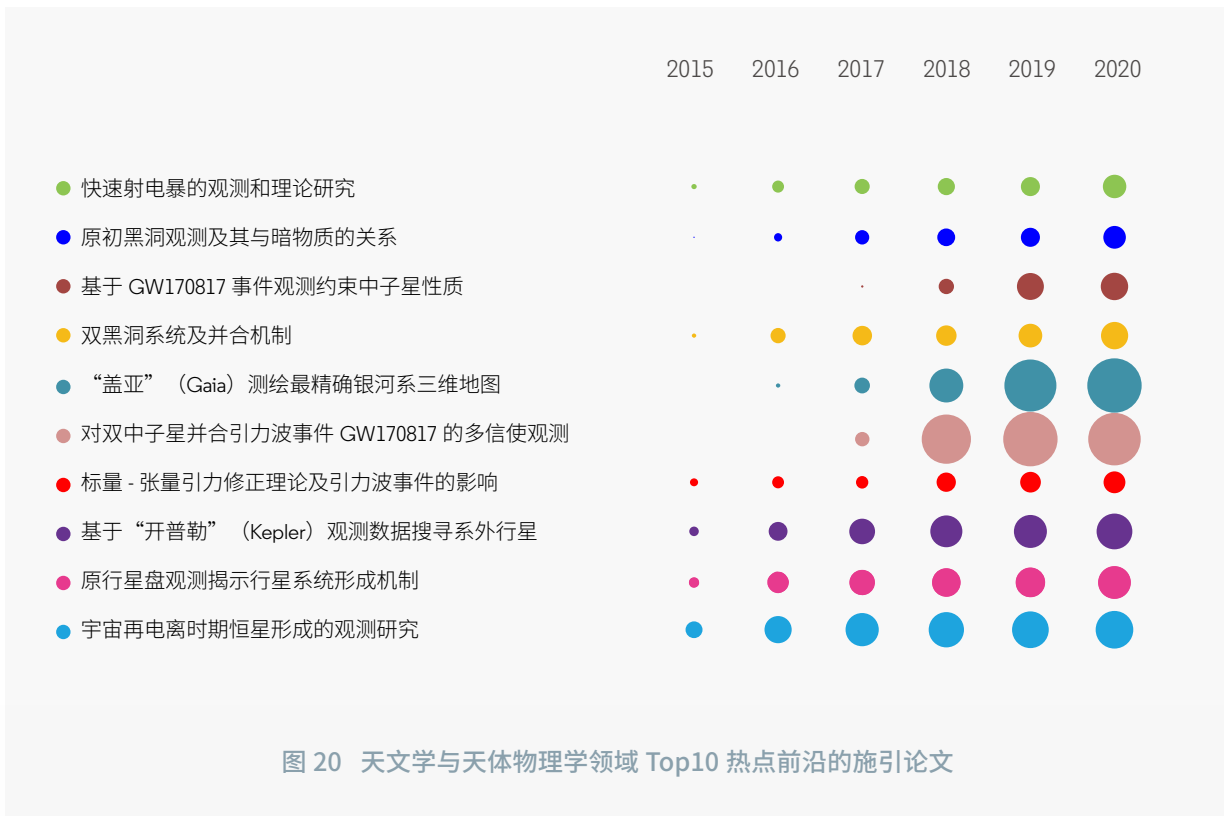
1. 热点前沿及重点热点前沿解读

1.1 天文学与天体物理学领域 Top 10 热点前沿发展态势

天文学与天体物理学领域位居前十位的热点前沿涉及引力波、快速射电暴、黑洞与暗物质关系、中子星性质、银河系地图、系外行星搜寻、恒星及行星系统形成等研究主题。总体来看，引力波的观测发现及其引发的相关研究在天文学与天体物理学领域产生了深远影响，众多热点前沿与此相关，如黑洞和中子星等致密天体性质研究、引力理论研究等。此外，近年来备受关注且神秘的快速射电暴事件的观测和理论研究再次上榜。大型科学任务平台继续发挥极高的影响力，“盖亚”（Gaia）、“开普勒”（Kepler）等任务的阶段性和集中产出榜上有名。黑洞、暗物质、恒星及行星系统形成等“一黑两暗三起源”相关的研究主题依旧表现突出。

表 41 天文学与天体物理学领域 Top 10 热点前沿

排名	热点前沿	核心论文	被引频次	核心论文平均出版年
1	快速射电暴的观测和理论研究	49	5084	2018.4
2	原初黑洞观测及其与暗物质的关系	35	3608	2018.1
3	基于 GW170817 事件观测约束中子星性质	19	3553	2018
4	双黑洞系统及并合机制	42	4704	2017.7
5	“盖亚”（Gaia）测绘最精确银河系三维地图	5	6702	2017.6
6	对双中子星并合引力波事件 GW170817 的多信使观测	38	11719	2017.3
7	标量 - 张量引力修正理论及引力波事件的影响	20	3737	2017.1
8	基于“开普勒”（Kepler）观测数据搜寻系外行星	38	6212	2017
9	原行星盘观测揭示行星系统形成机制	32	4900	2016.9
10	宇宙再电离时期恒星形成的观测研究	50	8354	2016.7



1.2 重点热点前沿——“原初黑洞观测及其与暗物质的关系”

在宇宙早期辐射为主阶段，小尺度上如果存在一个密度比周围环境高的致密区域，其在引力作用之下可能会发生引力坍缩并最终形成一个黑洞，即原初黑洞。不同于通常天文学上的黑洞，原初黑洞的质量分布可以非常广泛，理论上从普朗克质量（约 10^5 克）至数百万太阳质量的原初黑洞都有可能在早期宇宙中形成。

原初黑洞的动力学性质与冷暗物质接近，因此被公认为是占据了宇宙组分约四分之一的暗物质的有效候选者。由于原初黑洞诞生于原子形成之前，其周围没有可见物质，因此彻底黑暗，需借助黑洞引力场对光的弯曲，即引力透镜效应开展观测。此前关于黑洞引力透镜效应

的研究工作已对原初黑洞的质量进行了初步限制，并进一步约束了暗物质的黑洞模型。

热点研究前沿“原初黑洞观测及其与暗物质的关系”包括 35 篇核心论文，通过对“激光干涉仪引力波天文台”（LIGO）、“室女座引力波探测器”（Virgo）等多个地基/天基天文望远镜观测数据的分析，深入讨论了基于引力透镜效应对原初黑洞开展观测及性质研究、原初黑洞作为 LIGO 引力波源的可能性、原初黑洞构成全部暗物质的可能性等问题。3 篇被引频次最高的论文位列该前沿 35 篇核心论文的第一梯队。被引频次最高的核心论文来自诺贝尔物理学

奖得主、美国约翰·霍普金斯大学 Adam Riess 教授领衔的研究团队发表在《Physical Review Letters》上的论文，被引频次为 434 次，该文探讨了自 2015 年以来 LIGO/Virgo 合作组所捕获的若干黑洞引力波信号可能来自恒星级质量原初双黑洞并合过程，再次激发科学家探讨黑洞作为暗物质候选体的兴趣。被引频次排名第二的核心论文基于多种天文观测手段对原初黑洞的质量范围进行了限制，几乎排除了低质量的原始黑洞是暗物质的可能性。被引频次排名第三的核心论文指出引力波事件 GW150914 可以用原初黑洞理论来解释，并据此预测原初黑洞方案有望在不久的将来即得到检测。

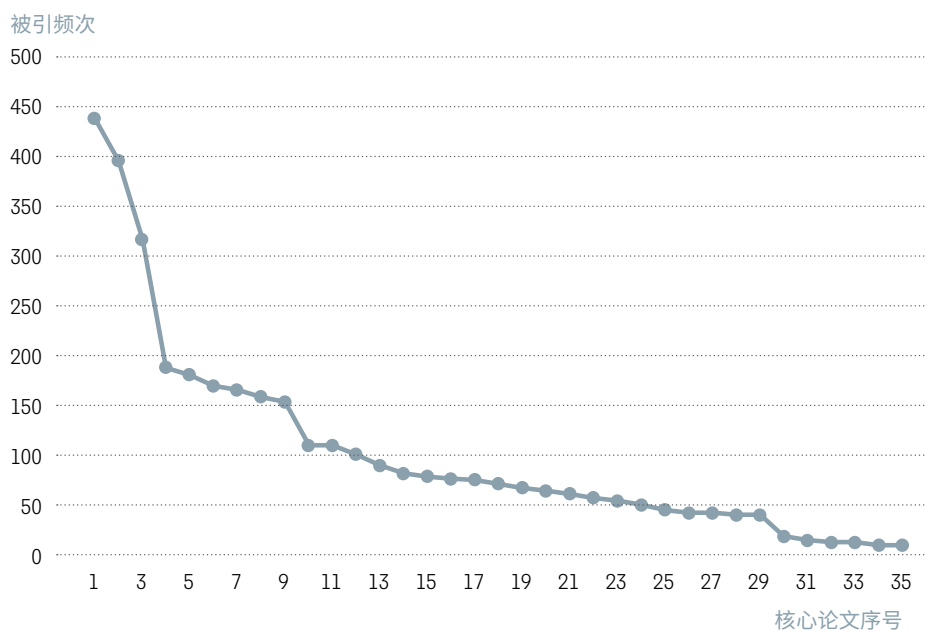
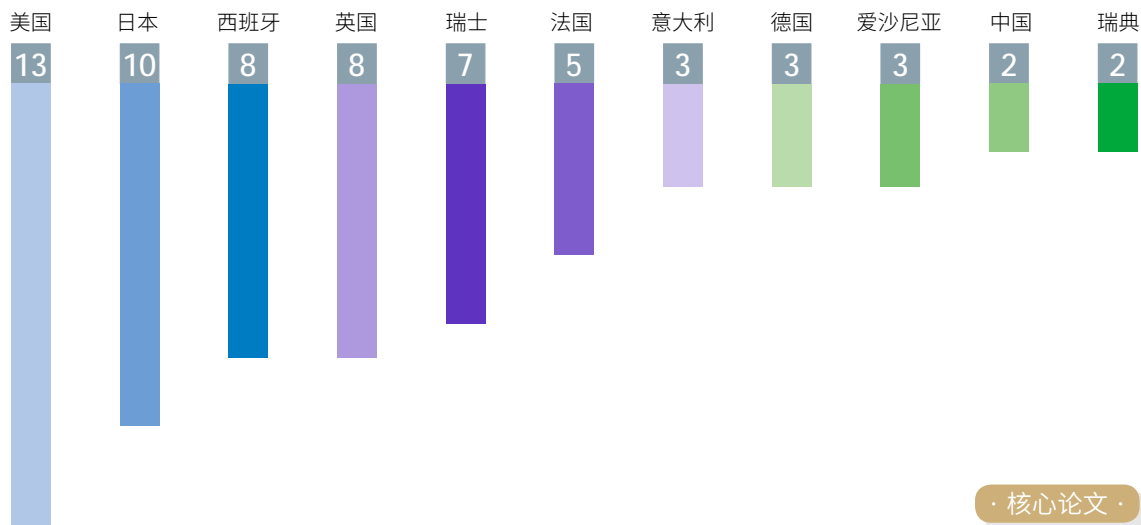


图 21 “原初黑洞观测及其与暗物质的关系”研究前沿中核心论文的被引频次分布曲线

该前沿核心论文的产出国家中，美国和日本的表现最为活跃，西班牙、英国等欧洲国家紧随其后，中国位列第十。在 Top 产出机构方面，日本和西班牙各有 2 家，其中东京大学和西班牙高等科研委员会分别贡献了 8 篇核心论文。英国伦敦大学、欧洲核子研究组织、法国国家科学研究中心、西班牙马德里自治大学、美国约翰·霍普金斯大学均贡献 4 篇核心论文。

表 42 “原初黑洞观测及其与暗物质的关系”研究前沿中核心论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	核心论文	比例	排名	机构	所属国家	核心论文	比例
1	美国	13	37.1%	1	东京大学	日本	8	22.9%
2	日本	10	28.6%	1	西班牙高等科研委员会	西班牙	8	22.9%
3	西班牙	8	22.9%	3	伦敦大学	英国	4	11.4%
3	英国	8	22.9%	3	欧洲核子研究组织	瑞士	4	11.4%
5	瑞士	7	20.0%	3	法国国家科学研究中心	法国	4	11.4%
6	法国	5	14.3%	3	马德里自治大学	西班牙	4	11.4%
7	意大利	3	8.6%	3	约翰·霍普金斯大学	美国	4	11.4%
7	德国	3	8.6%	8	京都大学	日本	3	8.6%
7	爱沙尼亚	3	8.6%	8	国家化学物理和生物物理研究所	爱沙尼亚	3	8.6%
10	中国	2	5.7%					
10	瑞典	2	5.7%					

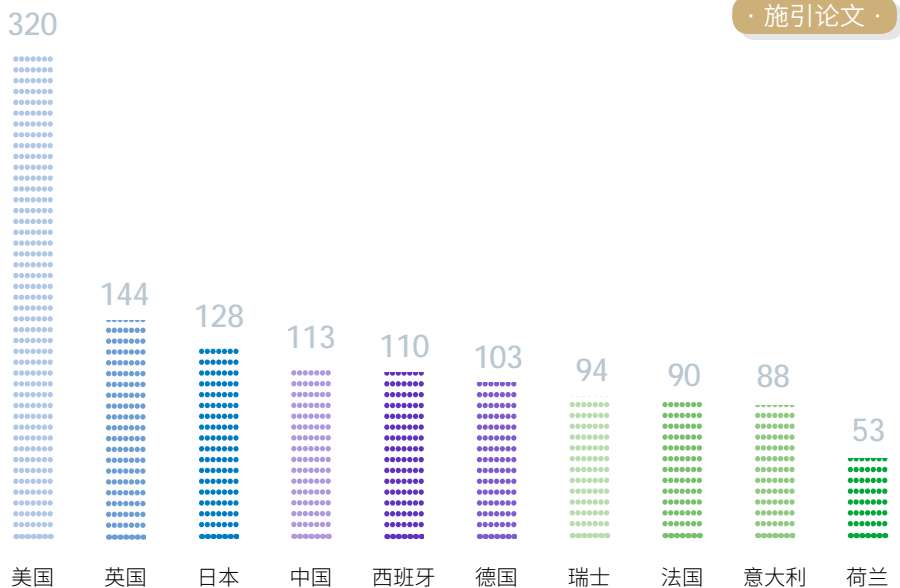


· 核心论文 ·

从施引论文角度来看，核心论文的 Top 产出国家仍在该前沿后续研究中保持优势地位。美国的施引论文最多，达 320 篇。中国在该方向积极开展研究，施引论文位列第四位。施引论文数量 Top 10 机构来自 8 个国家，凸显了该前沿研究倚重国际合作大科学装置的鲜明特色。

表 43 “原初黑洞观测及其与暗物质的关系”研究前沿中施引论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	施引论文	比例	排名	机构	所属国家	施引论文	比例
1	美国	320	37.8%	1	东京大学	日本	93	11.0%
2	英国	144	17.0%	2	法国国家科学研究中心	法国	85	10.0%
3	日本	128	15.1%	3	意大利国家核物理研究院	意大利	75	8.9%
4	中国	113	13.3%	4	西班牙科学研究委员会	西班牙	64	7.6%
5	西班牙	110	13.0%	5	中国科学院	中国	53	6.3%
6	德国	103	12.2%	6	欧洲核子研究组织	瑞士	47	5.5%
7	瑞士	94	11.1%	7	约翰·霍普金斯大学	美国	46	5.4%
8	法国	90	10.6%	8	伦敦大学	英国	42	5.0%
9	意大利	88	10.4%	9	意大利国家天体物理研究所	意大利	41	4.8%
10	荷兰	53	6.3%	9	索邦大学	法国	41	4.8%



1.3 重点热点前沿——“标量 - 张量引力修正理论及引力波事件的影响”

当前的主流观点认为，引力是时空弯曲的体现，广义相对论则是描述引力的理论。广义相对论自 1915 年被爱因斯坦提出以来，经受了大量的实验检验，并且在误差范围内还没有观察到偏离广义相对论预言的现象。1916 年爱因斯坦提出了引力波存在的可能性，但关于其本质的认识经历了漫长的过程。出于理论和实验上各种不同的原因，学界陆续提出了多种不同的修正引力理论，用于解释广义相对论所面临的某些问题，标量 - 张量理论就是其中备受关注的一种。而在这些修正引力理论中，也会存在引力波，而且其波形会和广义相对

论的预言存在差别。因此通过探测引力波信号，可以检验广义相对论，从而研究引力的本质。

2017 年 8 月 17 日，“激光干涉仪引力波天文台”（LIGO）和“室女座引力波探测器”（Virgo）首次探测到了由双中子星并合产生的引力波信号。随后，约 70 个地基和天基天文台的联合密集观测获得了丰富的多波段电磁对应体数据。此次被命名为 GW170817 的引力波事件入选《Science》2017 年度全球“十大科学突破”，正式打开了以多种观测方式为特点的多信使天文学的大门。

引力波观测上的重大突破带动了引力理论研究的进一步发展，对双中子星并合引力波信号 GW170817 及其电磁对应体 GRB 170817A 的探测，为检验引力理论开辟了全新局面。引力波和电磁波近乎同时到达，表明光子和引力子之间的速度差小于 $1/10^{15}$ 。“双信使”事件观测对引力理论研究具有重要影响和意义，可以帮助遴选有前途的新引力理论，排除一批可能被淘汰的理论，或者对其理论参数给予强有力的限制。众多引力理论假说也将随着天体物理和宇宙学观察事实的增多而逐步获得确证或辨伪，从而确定正确的引力理论。

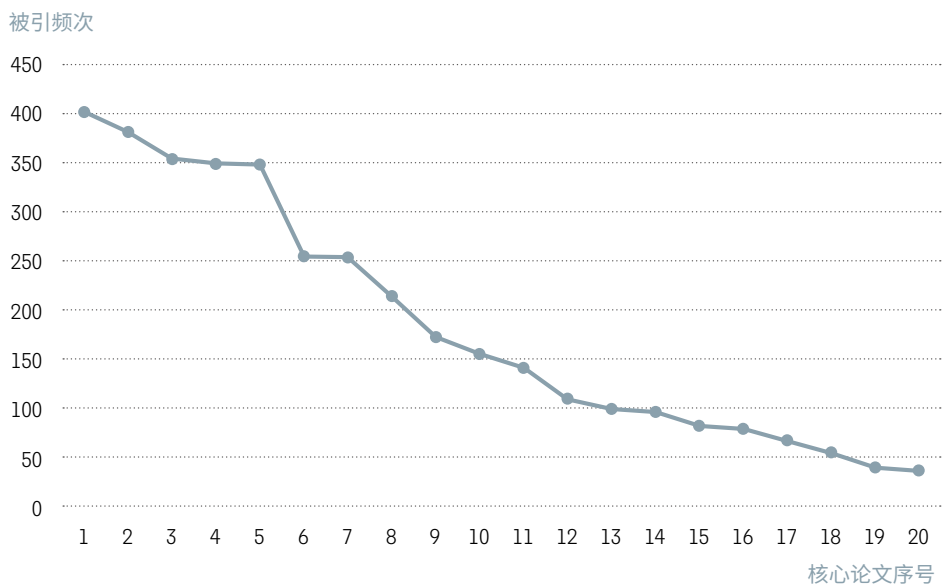


图 22 “标量 - 张量引力修正理论及引力波事件的影响”研究前沿中核心论文的被引频次分布曲线

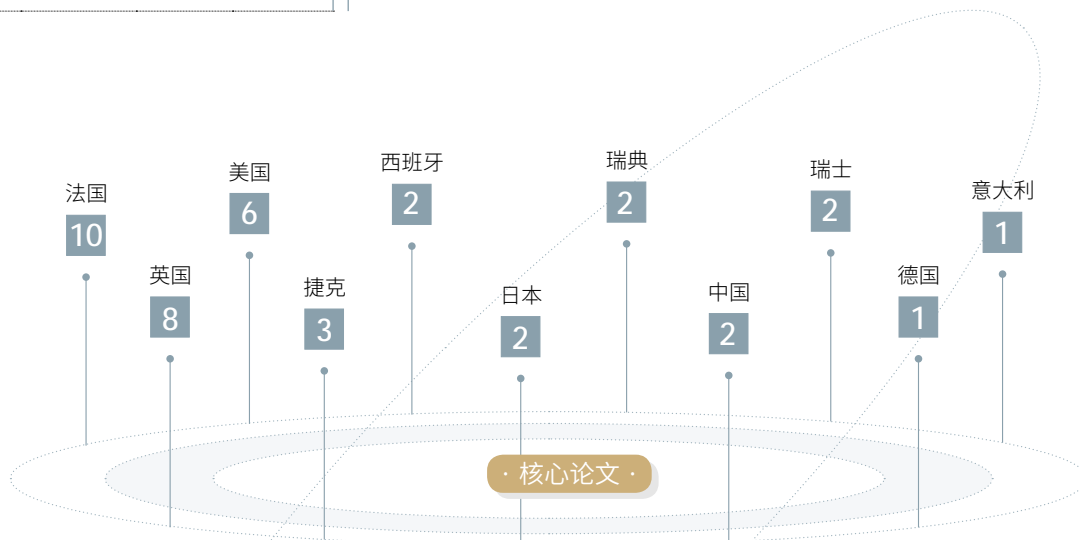
热点前沿“标量-张量引力修正理论及引力波事件的影响”包括20篇核心论文，研究主题重点涉及标量-张量引力修正理论研究以及GW170817引力波事件的观测结果对引力理论研究的意义及影响等。从20篇核心论文的被引频次分布曲线来看，5篇被引频次最高的论文构成了遥遥领先的第一梯队，被引频次在348-401次。其中，被引频次排名第一、三、四、五的核心论文均围绕GW170817引力波事件观测对引力理论的影响展开。近乎同时地探测到引力波和电磁波信号为推算引力波速度设定了一个精确的界限，被引频次最高的核心论文提出利用这一结果来探索暗能量的本质，有望淘汰大量现有的标量-张量理论和暗能量模型，并得出3

种最有可能的备选模型；被引频次排名第三的核心论文提出这一结果可以对标量-张量和矢量-张量理论施加严格的约束，对挑战广义相对论宇宙学的宇宙学模型提供了更多限制条件；被引频次排名第四的核心论文讨论了这一结果对暗能量和以单标量自由度为特征的修正引力模型的影响；被引频次排名第五的核心论文探讨了这一结果对宇宙学标量-张量引力理论的重要影响，并与星系团引力波观测数据进行了比对。此外，GW170817引力波事件之前发表的被引频次排名第二的核心论文提出了一种新的标量-张量引力理论，扩展了Horndeski广义伽利略理论模型，该论文也受到很多关注。

从核心论文的产出国家和机构来看，法国的表现极为突出，参与了该前沿一半核心论文的研究工作，并占据了核心论文产出机构的前八名。法国国家科学研究中心、法国原子能源与替代能源委员会、巴黎天文台和巴黎大学（并列第三）包揽核心论文产出机构前三名。此外英国和美国在该前沿也有较好表现，分别参与了该前沿 8 篇和 6 篇核心论文的研究工作。英国朴茨茅斯大学排名核心论文产出机构第九名。

表 44 “标量 - 张量引力修正理论及引力波事件的影响”研究前沿中核心论文的 Top 产出国家和机构

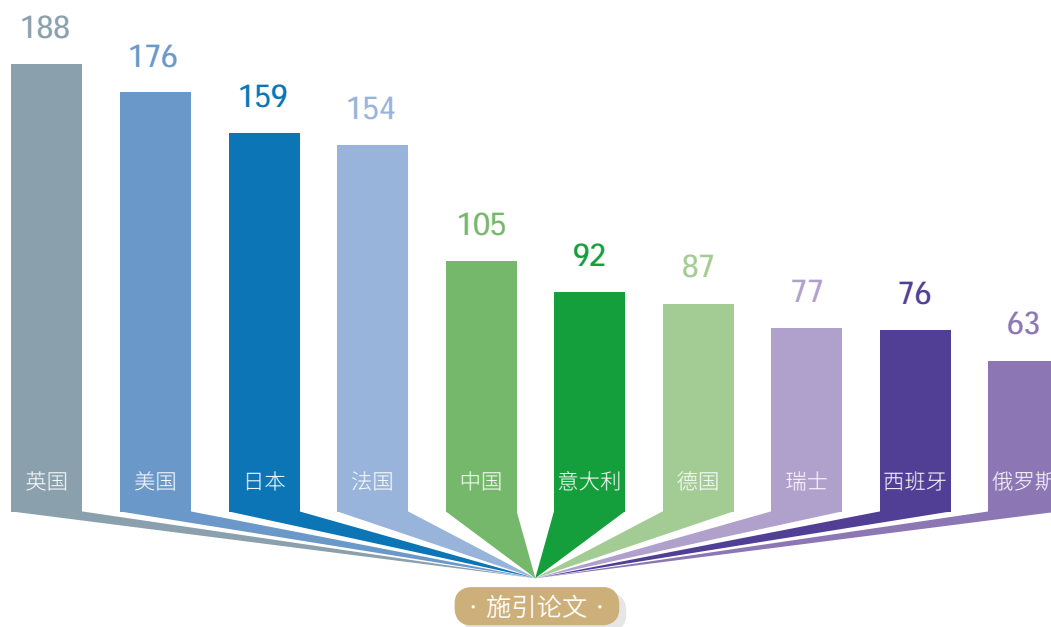
排名	国家	核心论文	比例	排名	机构	所属国家	核心论文	比例
1	法国	10	50.0%	1	法国国家科学研究中心	法国	10	50.0%
2	英国	8	40.0%	1	法国原子能源与替代能源委员会	法国	10	50.0%
3	美国	6	30.0%	3	巴黎天文台	法国	7	35.0%
4	捷克	3	15.0%	3	巴黎大学	法国	7	35.0%
5	西班牙	2	10.0%	5	巴黎萨克雷大学	法国	5	25.0%
5	日本	2	10.0%	6	中央 - 卢瓦尔河谷大学联合体	法国	4	20.0%
5	瑞典	2	10.0%	6	图尔大学	法国	4	20.0%
5	中国	2	10.0%	6	列奥纳多·达·芬奇联盟大学	法国	4	20.0%
5	瑞士	2	10.0%	9	朴茨茅斯大学	英国	3	15.0%
10	德国	1	5.0%					
10	意大利	1	5.0%					



在施引论文方面，英国以 188 篇施引论文排名第一。此外，美国、日本、法国、中国的施引论文数量也超过百篇，表现不俗。施引论文 Top 10 产出机构中，法国机构占据 4 席，法国国家科学研究中心、法国原子能源与替代能源委员会、巴黎萨克雷大学位列前三。此外，日本有 2 家机构，意大利、西班牙、葡萄牙、瑞士各有 1 家机构进入 Top 10 之列。

表 45 “标量 - 张量引力修正理论及引力波事件的影响”研究前沿中施引论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	施引论文	比例	排名	机构	所属国家	施引论文	比例
1	英国	188	19.9%	1	法国国家科学研究中心	法国	145	15.3%
2	美国	176	18.6%	2	法国原子能源与替代能源委员会	法国	89	9.4%
3	日本	159	16.8%	3	巴黎萨克雷大学	法国	81	8.6%
4	法国	154	16.3%	4	意大利国家核物理研究院	意大利	74	7.8%
5	中国	105	11.1%	5	京都大学	日本	56	5.9%
6	意大利	92	9.7%	6	西班牙科学研究委员会	西班牙	54	5.7%
7	德国	87	9.2%	7	里斯本大学	葡萄牙	53	5.6%
8	瑞士	77	8.1%	8	东京大学	日本	52	5.5%
9	西班牙	76	8.0%	9	巴黎天文台	法国	47	5.0%
10	俄罗斯	63	6.7%	10	日内瓦大学	瑞士	45	4.8%



2. 新兴前沿及重点新兴前沿解读

2.1 新兴前沿概述

天文学与天体物理学领域有 2 项研究入选新兴前沿，分别是“更多致密双星并合引力波事件观测”和“利用早期暗能量解释哈勃张力”，下面选择第 1 个新兴前沿进行重点解读。

表 46 天文学与天体物理学领域新兴前沿

序号	新兴前沿	核心论文	被引频次	核心论文平均出版年
1	更多致密双星并合引力波事件观测	8	1143	2019.8
2	利用早期暗能量解释哈勃张力	14	592	2019.6

2.2 重点新兴前沿解读——“更多致密双星并合引力波事件观测”

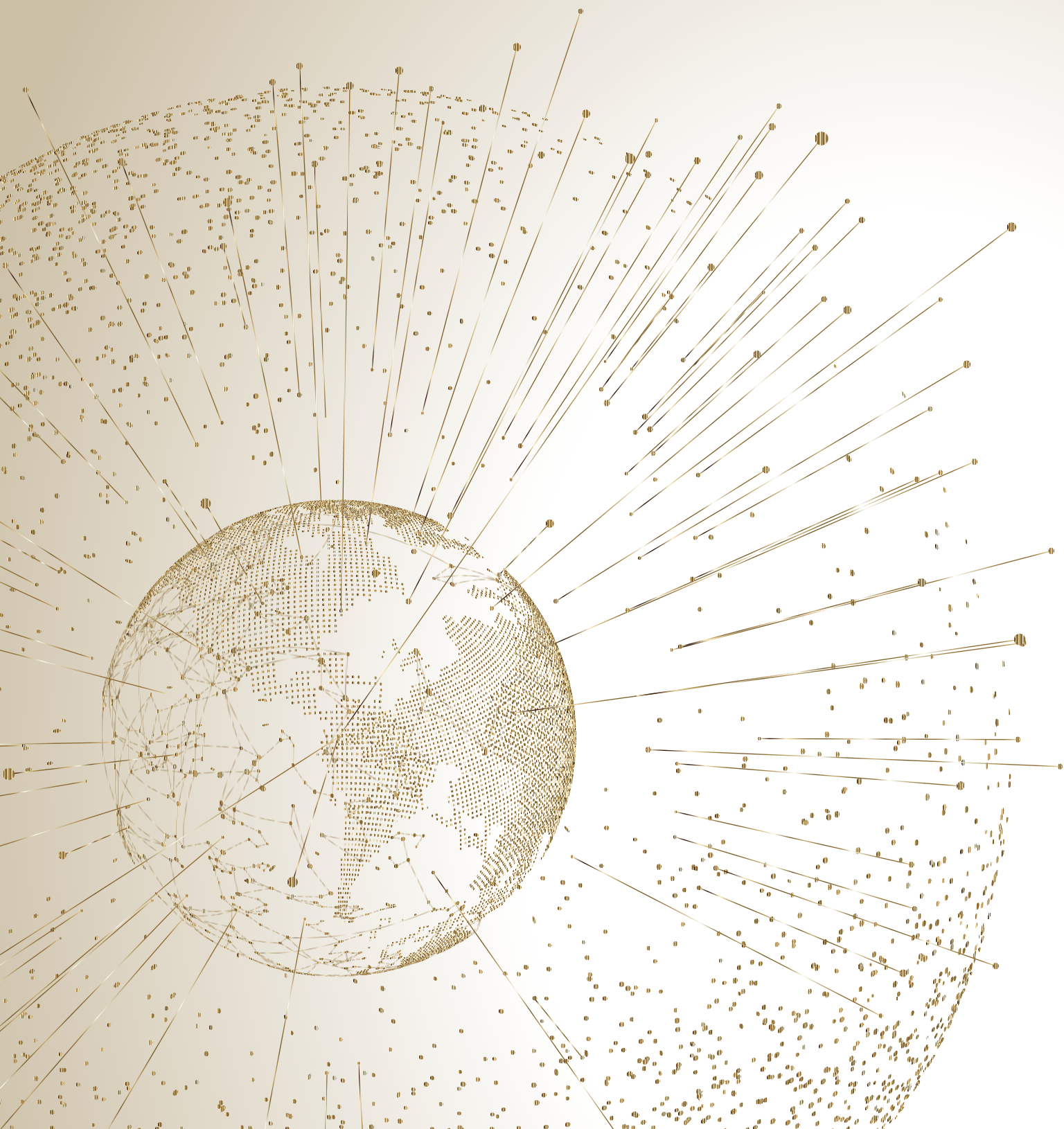
2016 年 2 月 11 日，“激光干涉引力波天文台”（LIGO）团队宣布人类第一次直接探测到引力波 - 即引力波事件 GW150914，一举证实了爱因斯坦于百年前做出的关于引力波存在的重要预言，标志着天文学研究打开了一扇全新的“引力波窗口”，迈入了引力波天体物理学纪元。引力波的探测是人类科学史上的重要事件，2017 年诺贝尔物理学奖即授予了对 LIGO 项目和发现引力波做出重大贡献的 3 位科学家。

自 GW150914 之后，人们利用地面引力波探测器在 10 Hz ~1 kHz 频段探测到了大量以双黑洞为主的致密双星并合事件。构成该新兴前沿的 8 篇核心论文重点围绕这些引力波事件的观测发现展开研究，包括：质量不对称的双黑洞并合引力波事件 GW190412 的观测发现，总质量约为太阳质量 3.4 倍的致密双星（可能是双中子星）并合引力波事件 GW190425 的观测发现，总质量约为太阳质量 150 倍的双黑洞并合引力波事件 GW190521 的观

测发现、可能的电磁对应体及此次事件中双黑洞的性质和天体物理学意义，致密双星（其一为 23 太阳质量的黑洞，另一为 2.6 太阳质量的黑洞或中子星）并合引力波事件 GW190814 的观测发现，LIGO 和“室女座引力波探测器”（Virgo）在第一轮和第二轮运行阶段探测发现的致密双星并合引力波事件目录，以及利用 LIGO 和 Virgo 在第一轮和第二轮运行阶段探测发现的 10 次双黑洞并合事件推算黑洞的质量、自旋和红移分布情况。

2021 研究前沿

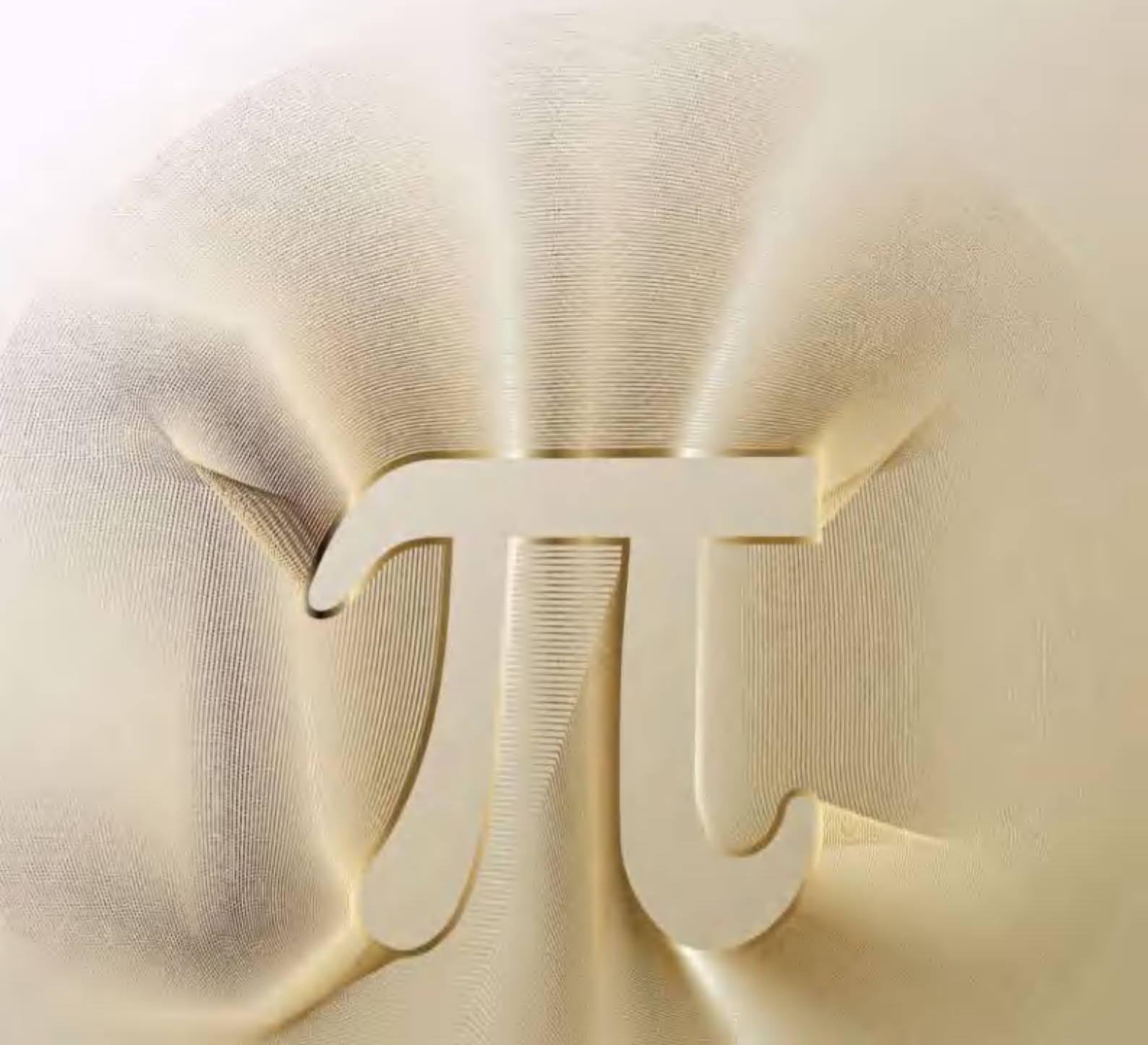
RESEARCH FRONTS





2021研究前沿
RESEARCH FRONTS

数学



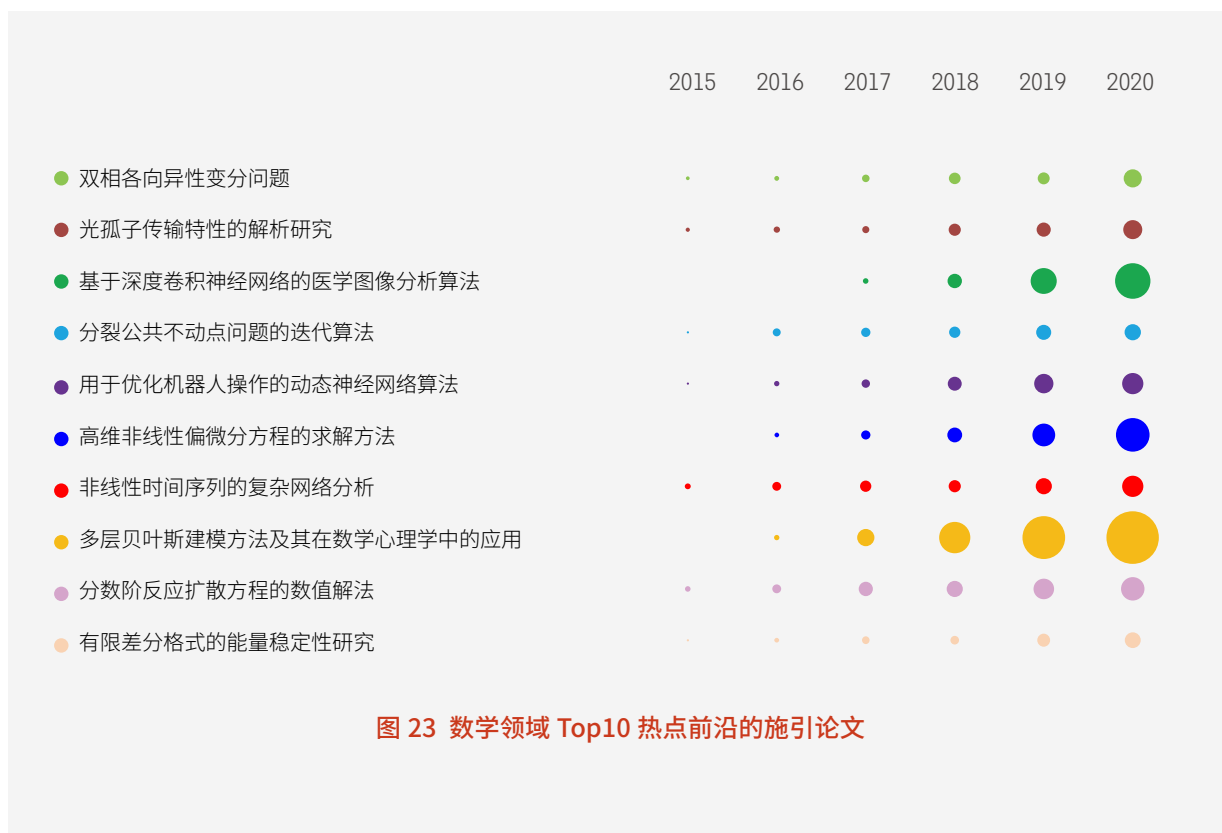
1. 热点前沿及重点热点前沿解读

1.1 数学领域 Top 10 热点前沿发展态势

数学领域位居前十位的热点前沿主要集中于双相各向异性变分问题、光孤子传输特性的解析研究、基于深度卷积神经网络的医学图像分析算法、分裂公共不动点问题的迭代算法、用于优化机器人操作的动态神经网络算法、高维非线性偏微分方程的求解方法、非线性时间序列的复杂网络分析、多层贝叶斯建模、分数阶反应扩散方程的数值解法、有限差分格式的能量稳定性研究等领域。与 2013-2020 年相比，2021 年 Top 10 热点前沿既有延续又有发展。偏微分方程性质及求解研究以及非线性系统方向的多个热点前沿连续多年入选该领域的热点前沿或新兴前沿。统计学领域的非线性时间序列的复杂网络分析首次入选。

表 47 数学领域 Top 10 热点前沿

排名	热点前沿	核心论文	被引频次	核心论文平均出版年
1	双相各向异性变分问题	32	1314	2018.3
2	光孤子传输特性的解析研究	15	1149	2018.3
3	基于深度卷积神经网络的医学图像分析算法	25	2978	2018.1
4	分裂公共不动点问题的迭代算法	39	2080	2018
5	用于优化机器人操作的动态神经网络算法	33	1439	2017.9
6	高维非线性偏微分方程的求解方法	27	2233	2017.8
7	非线性时间序列的复杂网络分析	12	940	2017.7
8	多层贝叶斯建模方法及其在数学心理学中的应用	19	4847	2017.4
9	分数阶反应扩散方程的数值解法	32	2158	2017.3
10	有限差分格式的能量稳定性研究	18	942	2017.1



1.2 重点热点前沿——“高维非线性偏微分方程的求解方法”

作为 20 世纪兴起的三次科学革命之一，非线性科学可以用于研究揭示自然科学、工程技术以及社会科学领域的众多非线性现象。这些非线性现象的研究可以基于相应的非线性系统，而非线性系统中可能存在不可预测或不直观的结果。实际上，很多意义重大的自然科学、工程技术等问题都可归结为对非线性偏微分方程的研究，因此非线性偏微分方程的求解工作有着重要的

理论和应用价值。

非线性偏微分方程的研究近几年持续入选研究前沿，如 2018 年“几类典型非线性发展偏微分方程的求解及其在流体力学、电磁学等领域的应用”、2019 年“高阶非线性薛定谔方程孤子求解及其在光通信领域的应用”和 2020 年“可积非局部非线性薛定谔方程求解研究”等。与往年不同，2021 年“高

维非线性偏微分方程的求解方法”前沿将重点放在高维非线性偏微分方程的数据驱动建模和基于机器学习、深度学习的求解方法上。

该热点前沿共包含 27 篇核心论文，前沿方向主要体现在：求解非线性偏微分方程正反问题的深度学习框架、Koopman 算子的一种数据驱动的扩展动态模式分解、基于隐藏物理模型的非线性偏微分

方程机器学习、求解高维偏微分方程的深度学习算法 DGM (Deep Galerkin Method)、用于分子动力学深度学习的 VAMPnets (variational approach for Markov processes)、基于深度学习的高维抛物型偏微分方程数值解法等。其中，华盛顿大学 Steven Brunton 团队发表在《PROCEEDINGS OF THE

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA》上的文章被引量最高，该文被引 373 次、主要通过将稀疏促进技术、机器学习和非线性动力学系统相结合，从带噪声的测量数据中发现控制方程。其他被引百次以上的论文机构也均出自美国，分别为宾夕法尼亚大学、普林斯顿大学、华盛顿

大学、布朗大学和贝尔维尤疾病建模研究所。值得关注的是，作为该前沿核心论文一项重要研究，柏林自由大学 Frank Noé 教授 2019 年在《Science》上发表文章，提出一种利用深度学习对多体系统平衡态进行采样的玻尔兹曼生成器，可在一定程度上解决“凝聚态多体系统平衡态计算问题”这一长期挑战。

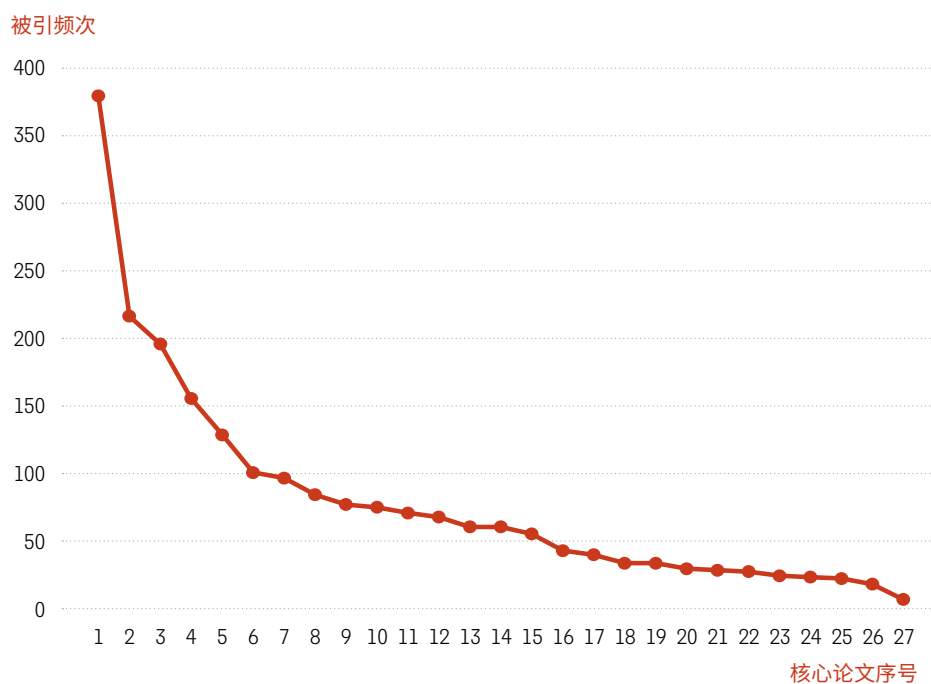
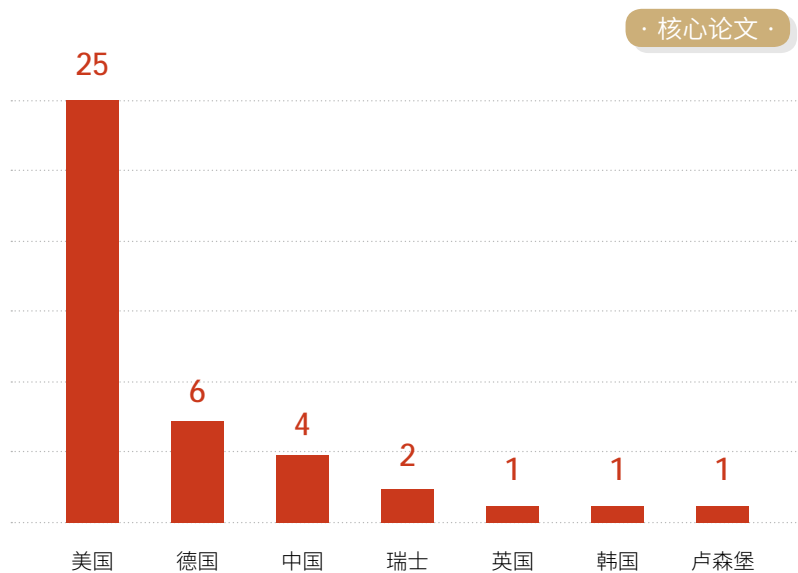


图 24 “高维非线性偏微分方程的求解方法” 研究前沿中核心论文的被引频次分布曲线

从该前沿核心论文产出国家来看（表 48），美国的表现最为突出，贡献 25 篇核心论文，贡献率高达 92.6%，占据绝对优势地位。德国和中国分列二、三位，分别贡献了 6 篇和 4 篇核心论文。核心论文产出机构中，美国拥有 9 所上榜机构，遥遥领先于其他国家，其他 Top 产出机构分别来自德国、中国和瑞士。

表 48 “高维非线性偏微分方程的求解方法”研究前沿中核心论文的 Top 产出国家和机构

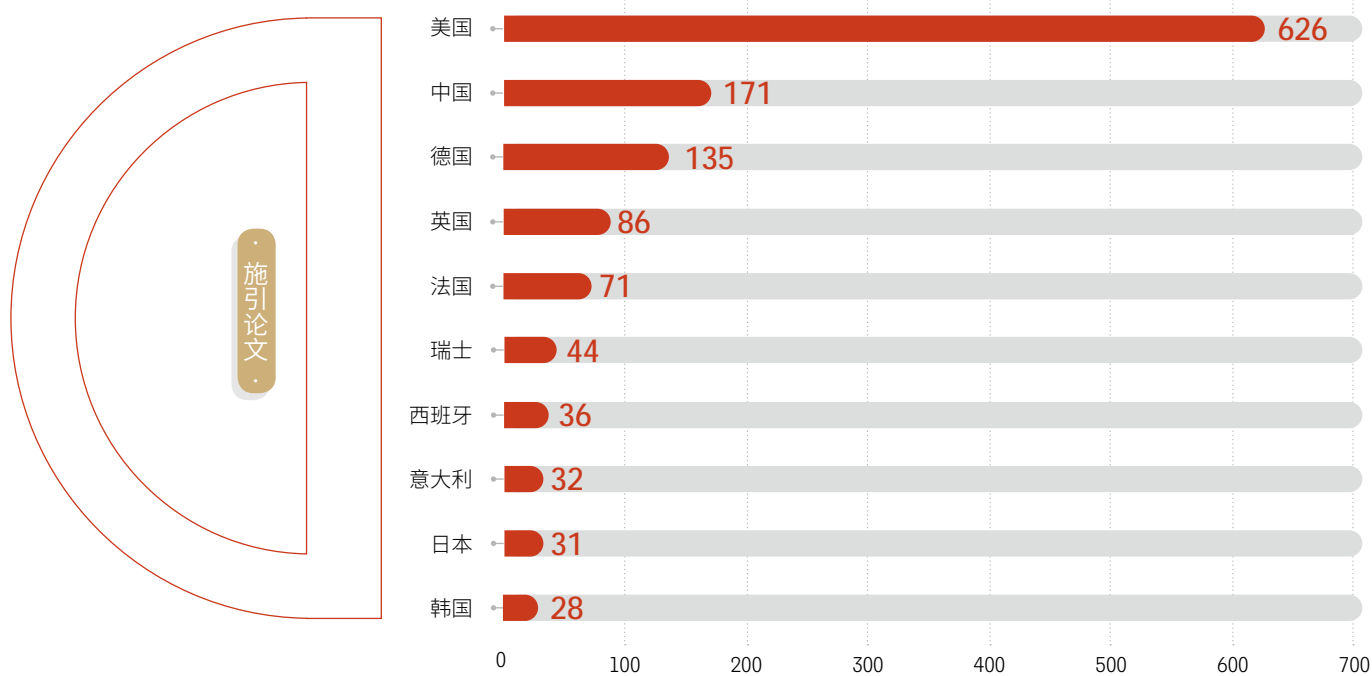
排名	国家	核心论文 / 篇	比例	排名	机构	所属国家	核心论文 / 篇	比例
1	美国	25	92.6%	1	华盛顿大学	美国	6	22.2%
2	德国	6	22.2%	2	普林斯顿大学	美国	5	18.5%
3	中国	4	14.8%	2	柏林自由大学	德国	5	18.5%
4	瑞士	2	7.4%	4	布朗大学	美国	4	14.8%
5	英国	1	3.7%	4	贝尔维尤疾病建模研究所	美国	4	14.8%
5	韩国	1	3.7%	6	北京大数据研究院	中国	3	11.1%
5	卢森堡	1	3.7%	6	加州大学圣芭芭拉分校	美国	3	11.1%
				8	宾夕法尼亚大学	美国	2	7.4%
				8	北京大学	中国	2	7.4%
				8	莱斯大学	美国	2	7.4%
				8	圣母大学	美国	2	7.4%
				8	苏黎世联邦理工学院	瑞士	2	7.4%
				8	麻省理工学院	美国	2	7.4%



从该研究前沿的施引论文情况来看（表 49），美国仍保持领先地位，产出施引论文 626 篇，贡献率超过 50%，同时中国、德国等国也在该前沿积极跟进，逐渐缩小与美国的差距。Top 产出机构中，美国占据 7 席，华盛顿大学的核心论文及施引论文贡献均处首位，其他贡献较大的机构包括德国的柏林自由大学、瑞士的苏黎世联邦理工学院等。

表 49 “高维非线性偏微分方程的求解方法”研究前沿中施引论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	施引论文	比例	排名	机构	所属国家	施引论文	比例
1	美国	626	51.1%	1	华盛顿大学	美国	63	5.1%
2	中国	171	14.0%	2	麻省理工学院	美国	59	4.8%
3	德国	135	11.0%	3	美国能源部	美国	50	4.1%
4	英国	86	7.0%	4	斯坦福大学	美国	35	2.9%
5	法国	71	5.8%	5	柏林自由大学	德国	34	2.8%
6	瑞士	44	3.6%	6	法国国家科学研究中心	法国	33	2.7%
7	西班牙	36	2.9%	7	普林斯顿大学	美国	32	2.6%
8	意大利	32	2.6%	8	布朗大学	美国	31	2.5%
9	日本	31	2.5%	9	苏黎世联邦理工学院	瑞士	27	2.2%
10	韩国	28	2.3%	9	纽约大学	美国	27	2.2%



1.3 重点热点前沿——“非线性时间序列的复杂网络分析”

复杂网络高度概括了复杂系统的重要特征，即由多个基本单元（或节点）与它们之间的相互作用组成。借助图论和统计学的相关方法，复杂网络理论可以捕捉并描述复杂系统的演化机制、演化规律和整体行为。Watts 和 Strogatz 提出的小世界网络说明少量的随机连接会对网络拓扑结构产生重大影响，而 Barabasi 和 Albert 提出的无标度网络则揭示了增长和择优机理在复杂系统自组织演化过程中的普遍

性。在上述开创性工作之后，复杂网络理论已经从数理科学渗透到生命科学、工程科学甚至社会科学等众多不同学科，并已经成为相关领域的研究热点。

时间序列是由观察时间得到的数据点序列，时间点之间通常都是等间隔且离散性的。近年来，基于时间序列测量信号的复杂网络动力学研究受到了不同领域研究人员的广泛关注，不同的时间序列复杂网络构建与分析算法相继提出并已成

功应用于不同的复杂动力学系统研究之中，复杂网络方法已经成为研究时间序列的重要工具。

热点研究前沿“非线性时间序列的复杂网络分析”包括 12 篇核心论文，主要探讨了运用多种复杂网络理论和方法进行非线性时间序列分析，以表征流体的非线性动力学特征；以及分析脑电图时间序列，构建脑电图功能脑网络，实现对人类的情感分析与识别等主题。

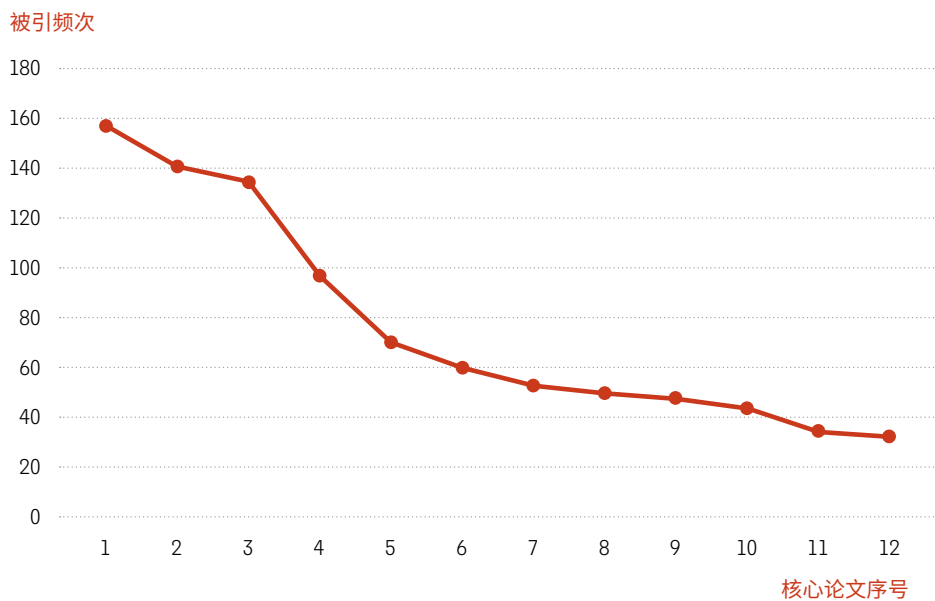


图 25 “非线性时间序列的复杂网络分析”研究前沿中核心论文的被引频次分布曲线

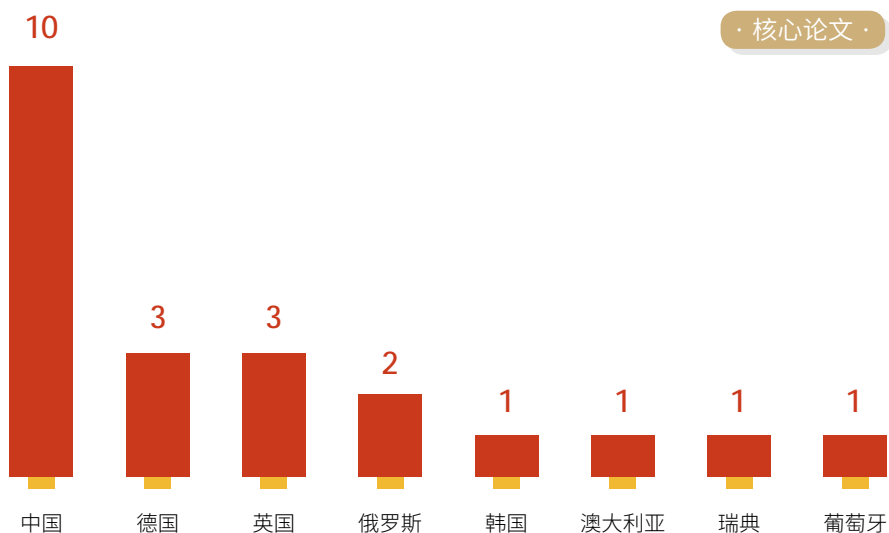
中国在该前沿中的表现最为活跃，贡献了 10 篇核心论文，占全部核心论文总数的 83.3%。德国、英国、俄罗斯的核心论文数量分列第二、三、四位，均贡献了超过 10% 的核心论文。Top 产出机构方面，中国机构的表现亮眼，天津大学发表的核心论文数量占全部核心论文的一半，上海交通大学、华东师范大学、东南大学、南京理工大

学、烟台大学也积极参与该领域的研究。该前沿领域被引频次最高的论文来自上海交通大学，这篇论文对脑电时间序列的非线性特征开展研究，并提出了具有更好情绪识别性能的新型情感分析与识别模型。天津大学研究团队还在基于相空间的递归网络、可视图和基于马尔科夫链的转换网络，两相流流型复杂网络、流体动力学复杂网络和流体

结构复杂网络的构建方法及其在垂直气液两相流和倾斜油水两相流中的应用等基于复杂网络的非线性时间序列分析方法方面取得了系列重要突破。除此之外，德国波茨坦气候影响研究所和柏林洪堡大学，英国阿伯丁大学以及俄罗斯萨拉托夫国立大学等研究机构也位列核心论文 Top 产出机构。

表 50 “非线性时间序列的复杂网络分析”研究前沿中核心论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	核心论文	比例	排名	机构	所属国家	核心论文	比例
1	中国	10	83.3%	1	天津大学	中国	6	50.0%
2	德国	3	25.0%	2	波茨坦气候影响研究所	德国	3	25.0%
2	英国	3	25.0%	2	柏林洪堡大学	德国	3	25.0%
4	俄罗斯	2	16.7%	4	上海交通大学	中国	2	16.7%
5	韩国	1	8.3%	4	阿伯丁大学	英国	2	16.7%
5	澳大利亚	1	8.3%	4	萨拉托夫国立大学	俄罗斯	2	16.7%
5	瑞典	1	8.3%	7	斯德哥尔摩大学	瑞典	1	8.3%
5	葡萄牙	1	8.3%	7	雷丁大学	英国	1	8.3%
				7	华东师范大学	中国	1	8.3%
				7	东南大学	中国	1	8.3%
				7	波茨坦大学	德国	1	8.3%
				7	西澳大学	澳大利亚	1	8.3%
				7	南京理工大学	中国	1	8.3%
				7	烟台大学	中国	1	8.3%
				7	马格德堡应用技术大学	德国	1	8.3%
				7	里斯本大学	葡萄牙	1	8.3%
				7	庆北国立大学	韩国	1	8.3%
				7	帝国理工学院	英国	1	8.3%



从施引论文的角度来看，中国的施引论文最多，达 349 篇，超过全部施引论文的一半。美国的施引

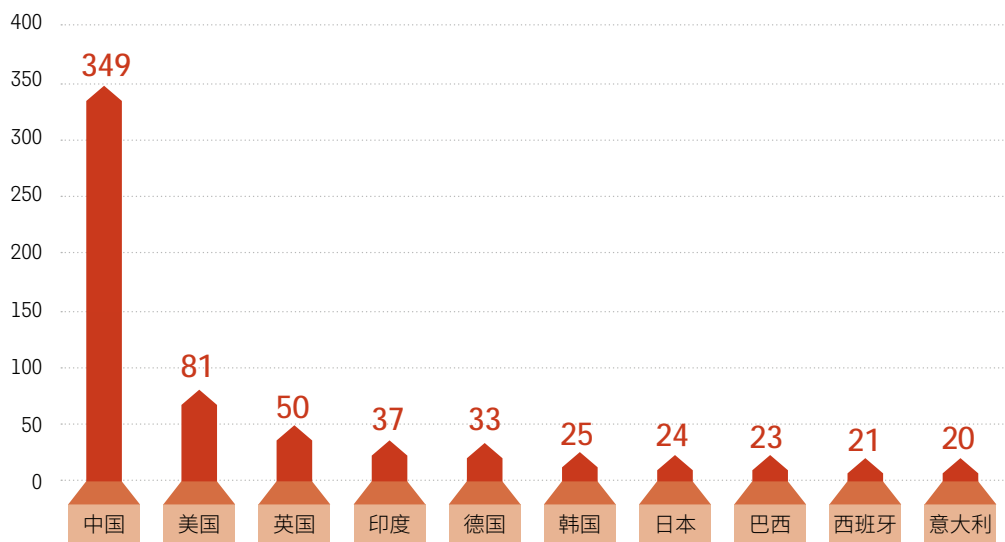
论文位列第二位，占 11.8%。施引论文最多的 13 所机构中有 8 所来自中国，其中施引论文数量最多的

5 所机构分别是天津大学、中国地质大学、中国科学院、电子科技大学和上海理工大学。

表 51 “非线性时间序列的复杂网络分析”研究前沿中施引论文的 Top 产出国家和机构

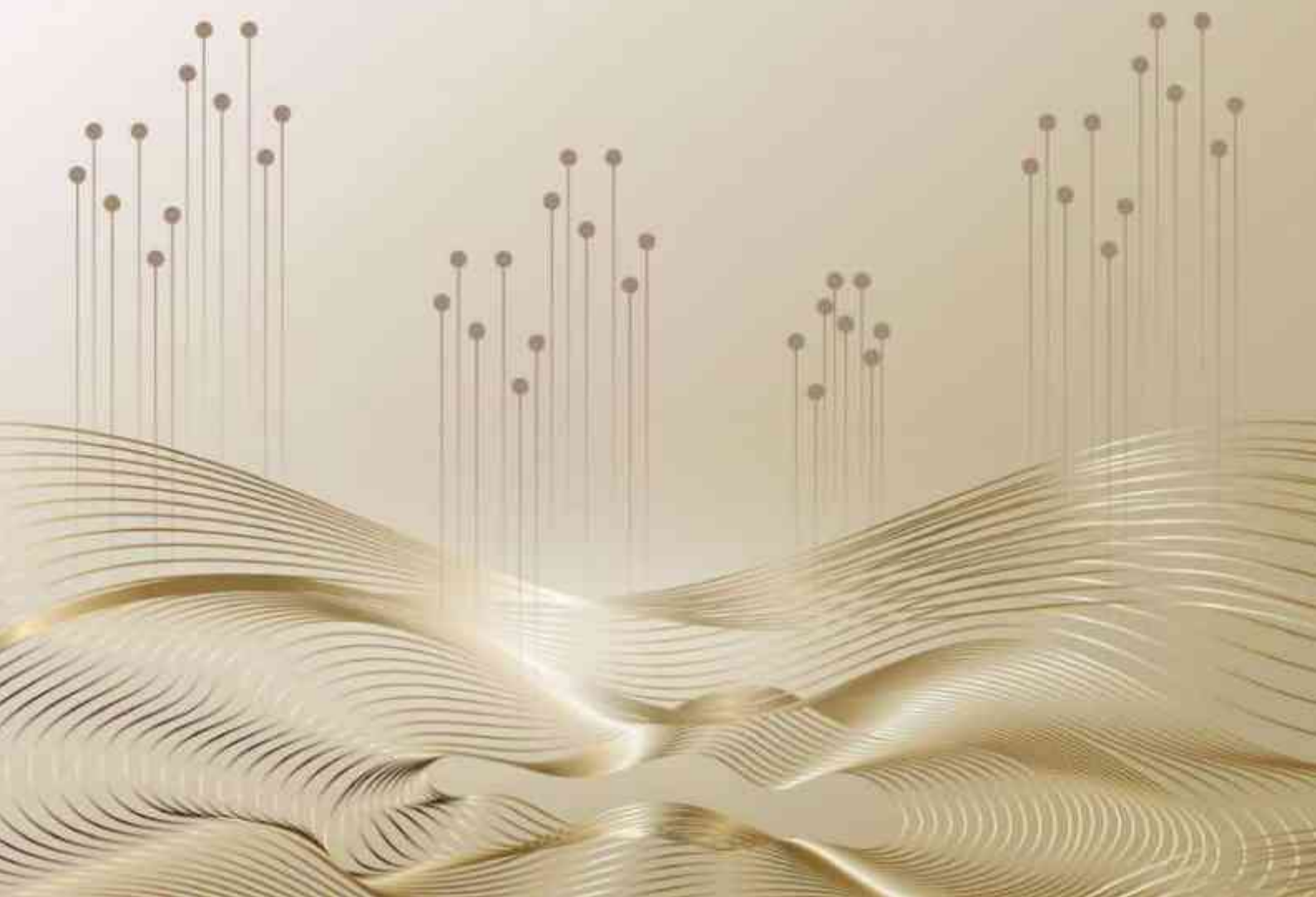
排名	国家	施引论文	比例	排名	机构	所属国家	施引论文	比例
1	中国	349	51.0%	1	天津大学	中国	59	8.6%
2	美国	81	11.8%	2	中国地质大学	中国	22	3.2%
3	英国	50	7.3%	3	波茨坦气候影响研究所	德国	21	3.1%
4	印度	37	5.4%	4	中国科学院	中国	19	2.8%
5	德国	33	4.8%	5	电子科技大学	中国	17	2.5%
6	韩国	25	3.7%	6	上海理工大学	中国	16	2.3%
7	日本	24	3.5%	7	柏林洪堡大学	德国	14	2.0%
8	巴西	23	3.4%	8	国土资源部	中国	13	1.9%
9	西班牙	21	3.1%	9	浙江大学	中国	12	1.8%
10	意大利	20	2.9%	10	哈尔滨工业大学	中国	11	1.6%
				10	印度理工学院	印度	11	1.6%
				10	阿卜杜勒·阿齐兹国王大学	沙特阿拉伯	11	1.6%
				10	阿伯丁大学	英国	11	1.6%

· 施引论文 ·



2021 研究前沿
RESEARCH FRONTS

信息科学



1. 热点前沿及重点热点前沿解读

1.1 信息科学领域 Top 10 热点前沿发展态势

信息科学领域位居前十位的热点前沿主要集中于面向 6G 通信、植物分类和病害检测、心电图分类和心率失常自动诊断、人类活动识别、视频动作识别、多模态情感分析、电子健康档案数据挖掘等领域的深度学习研究方法研究，以及区块链技术、通路数据库、无人机辅助通信技术等方向（表 52），与深度学习相关的主题占据了今年 Top10 热点前沿的大部分主题。“基于无人机的无线通信技术”是 2020 年热点前沿“无人机无线网络、传输保密和轨迹优化研究”的延续和扩展，其他前沿主题均为首次入选。

表 52 信息科学领域 Top 10 热点前沿

排名	热点前沿	核心论文	被引频次	核心论文平均出版年
1	深度学习方法在 6G 通信技术中的应用研究	45	3657	2018.8
2	用于点对点能源交易的区块链技术研究	27	2576	2018.3
3	用于通路数据库的数据整合、分析、内存优化以及可视化研究	8	5692	2018.1
4	用于植物分类和病害检测的深度神经网络	25	2437	2017.8
5	用于心电图分类和心率失常自动诊断的卷积神经网络研究	20	2361	2017.6
6	使用传感器和深度学习的人类活动识别系统研究	20	2554	2017.3
7	面向视频动作识别的深度神经网络研究	13	1436	2017.3
8	基于卷积神经网络等深度学习方法进行多模态情感分析研究	15	1433	2017.3
9	利用深度学习方法进行电子健康档案数据挖掘研究	9	1635	2017.1
10	基于无人机的无线通信技术	11	3150	2017



1.2 重点热点前沿——“面向视频动作识别的深度学习研究”

随着视频设备和网络的普及，视频理解和动作识别吸引了越来越多研究者的关注。相比图像来说，视频内容和背景更加复杂多变，不同的动作类别之间具有相似性，而相同的类别在不同环境下又有着不同的特点。目前，视频动作识别常用的技术有基于人工特征的视频动作识别、基于双流的神经网络、基于三维卷积的神经网络等。在实际应用中，精确的动作识别有助于舆情监控、广告投放、视频检索、智能医疗监控、自动驾驶和交通安防等相关的任务。

热点前沿“面向视频动作识别的深度学习研究”包含 13 篇核心论文，内容涵盖视觉基因组 (Visual Genome) 数据集、动作识别的时空表示学习、深层视觉语义对齐、基于长期递归卷积网络的视觉识别和描述、长时间卷积动作识别、用于动作识别的非对称三维卷积神经网络、用于动作识别的时空可变形三维注意网络。在被引频次超过 100 次的 7 篇核心论文中 (图 27)，美国主导发表 3 篇，分别来自加州大学伯克利分校和斯坦福大学，后者贡献两篇；中国主

导发表 2 篇，分别来自中国科学院深圳先进技术研究院和天津大学；法国主导发表 2 篇，分别来自法国国家信息与自动化研究所和法国国家科学研究中心。

在 13 篇核心论文中，被引频次最高的是加利福尼亚大学伯克利分校 Jeff Donahue 博士 2017 年发表在《IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence》上的“Long-Term Recurrent Convolutional Networks for Visual Recognition and Description”，被引 209 次，文章提

出一个长期时间递归卷积网络 (LRCN) 模型, 一种适用于大规模视觉学习的端到端可训练的新型递归卷积结构, 并展示了这些模型在基准视频识别任务、图像描述和检索问题以及视频叙述挑战方面的价值。被引频次较高的论文还包括斯坦福大学李飞飞团队 2017

年发表在《International Journal of Computer Vision》上的“Visual Genome: Connecting Language and Vision Using Crowdsourced Dense Image Annotations”, 该论文利用众包方法构建了视觉基因组 (Visual Genome) 数据集, 这是第一个大规模的视觉关系数据集, 提供物体

的交互和属性的详细标签, 将语义和图像结合起来, 推动人工智能的进一步发展。Visual Genome 是李飞飞教授团队后 ImageNet 时代在计算机理解图片上的训练和测试数据集的又一重要成果。

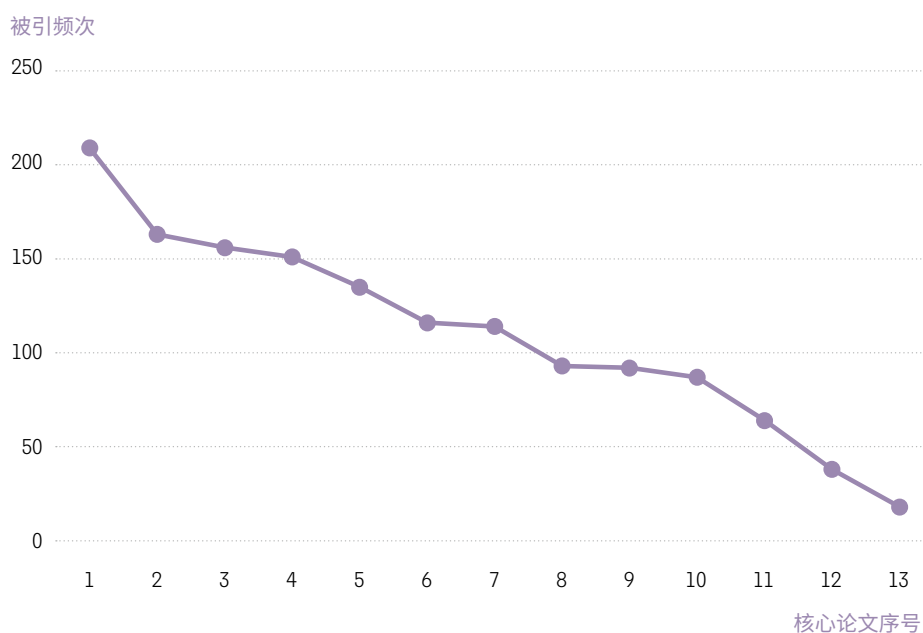
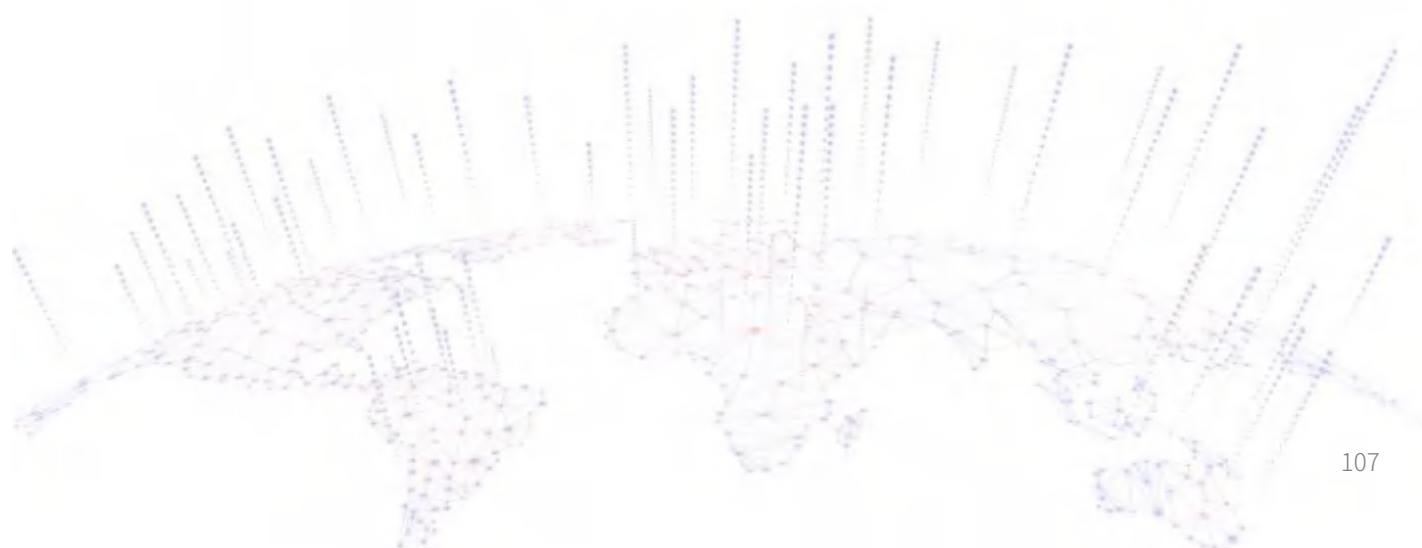


图 27 “面向视频动作识别的深度学习研究”研究前沿中核心论文的被引频次分布曲线

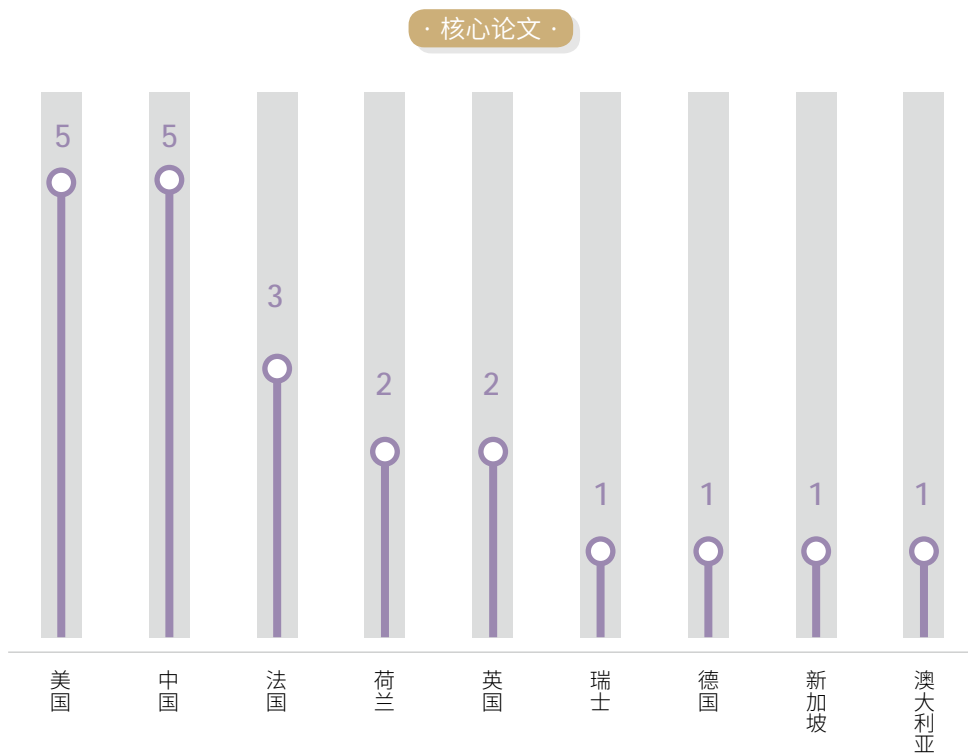


美国和中国各贡献 5 篇核心论文（表 53），法国贡献 3 篇，荷兰和英国各贡献 2 篇。从核心论文的机构分布看，法国布列塔尼卢瓦

尔大学、法国国家信息与自动化研究所和中国科学院各贡献 3 篇并列第一，美国斯坦福大学贡献 2 篇排名第二。

表 53 “面向视频动作识别的深度学习研究”研究前沿中核心论文的 Top 产出国家和机构

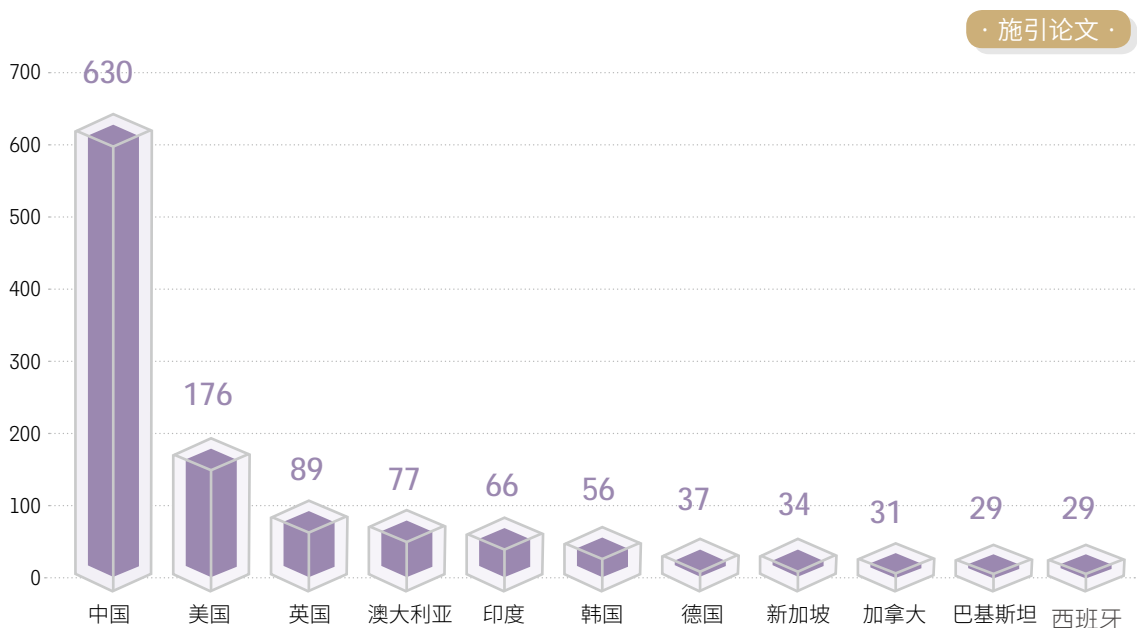
排名	国家	核心论文	比例	排名	机构	所属国家	核心论文	比例
1	美国	5	38.5%	1	布列塔尼卢瓦尔大学	法国	3	23.1%
1	中国	5	38.5%	1	中国科学院	中国	3	23.1%
3	法国	3	23.1%	1	法国国家信息与自动化研究所	法国	3	23.1%
4	荷兰	2	15.4%	4	斯坦福大学	美国	2	15.4%
4	英国	2	15.4%					
6	瑞士	1	7.7%					
6	德国	1	7.7%					
6	新加坡	1	7.7%					
6	澳大利亚	1	7.7%					



从施引论文的角度来看（表 54），中国表现最突出，以 630 篇施引论文遥遥领先排名第二的美国（176 篇），英国、澳大利亚、印度、韩国等也表现不俗。施引论文 Top 产出机构全部为中国机构，中国科学院、天津大学、浙江大学位列前三甲，表明中国一批大学和科研机构在该前沿迅速开展了跟进研究，并产出了众多研究成果。

表 54 “面向视频动作识别的深度学习研究”研究前沿中施引论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	施引论文	比例	排名	机构	所属国家	施引论文	比例
1	中国	630	53.1%	1	中国科学院	中国	104	8.8%
2	美国	176	14.8%	2	天津大学	中国	30	2.5%
3	英国	89	7.5%	3	浙江大学	中国	25	2.1%
4	澳大利亚	77	6.5%	4	北京邮电大学	中国	24	2.0%
5	印度	66	5.6%	4	清华大学	中国	24	2.0%
6	韩国	56	4.7%	4	西安电子科技大学	中国	24	2.0%
7	德国	37	3.1%	7	北京航空航天大学	中国	22	1.9%
8	新加坡	34	2.9%	7	北京大学	中国	22	1.9%
9	加拿大	31	2.6%	9	西北工业大学	中国	21	1.8%
10	巴基斯坦	29	2.4%	10	电子科技大学	中国	20	1.7%
10	西班牙	29	2.4%					



1.3 重点热点前沿——“基于无人机的无线通信技术”

随着物联网应用的普及，无线网络将支持数量庞大的接入设备，当前的蜂窝基础架构将迎接巨大的挑战。而仅依靠部署传统的地面基站很难实现万物互联，例如，在偏远或者地势险峻的区域部署地面基站面临着成本高、部署难度大的问题；在灾害发生区域和体育赛场等紧急和临时的特殊场景中，地面基站可能会出现过载甚至发生故障，而临时部署地面通信设施耗时且耗资巨大。随着低成本、小型化和集成化无人机在民用和工业领域的广泛应用，将无人机作为空中基站辅助地面通信成为解决临时性特殊区域通信问题的有效方案，也使搭载先进收发信机和智能传感设

备进行高速数据传输成为无线通信领域的又一新的研究热点。在 2021 年 7 月中国河南省多地遭遇强降雨期间，搭载了移动公网基站的“翼龙”-2H 无人机空中应急通信平台，实现了约 50 平方公里范围 5 小时的连续稳定移动信号覆盖，打通了应急通信保障生命线。

热点前沿“基于无人机的无线通信技术”包含 11 篇核心论文，聚焦于通过无人机轨迹优化提高能量效率；下行通信中多用户最小吞吐量最大化方案，包括通过优化多用户通信调度和关联以及无人机的轨迹和功率控制来实现，通过联合优化无人机轨迹和正交频分多址

资源分配来实现等；使用户覆盖数量最大化的无人机车载基站部署算法等。被引频次在 300 次以上的论文共有 5 篇（图 28），其中 4 篇来自新加坡国立大学，另一篇来自美国弗吉尼亚理工大学。被引频次最高的论文是新加坡国立大学 Zeng, Yong 等人于 2016 年发表在《IEEE Communications Magazine》上的“Wireless Communications with Unmanned Aerial Vehicles: Opportunities and Challenges”一文，被引 729 次。文章概述了无人机辅助无线通信的基本网络架构和信道特性，重点介绍了通信系统的关键设计考虑因素，以及有待开发的新机遇。

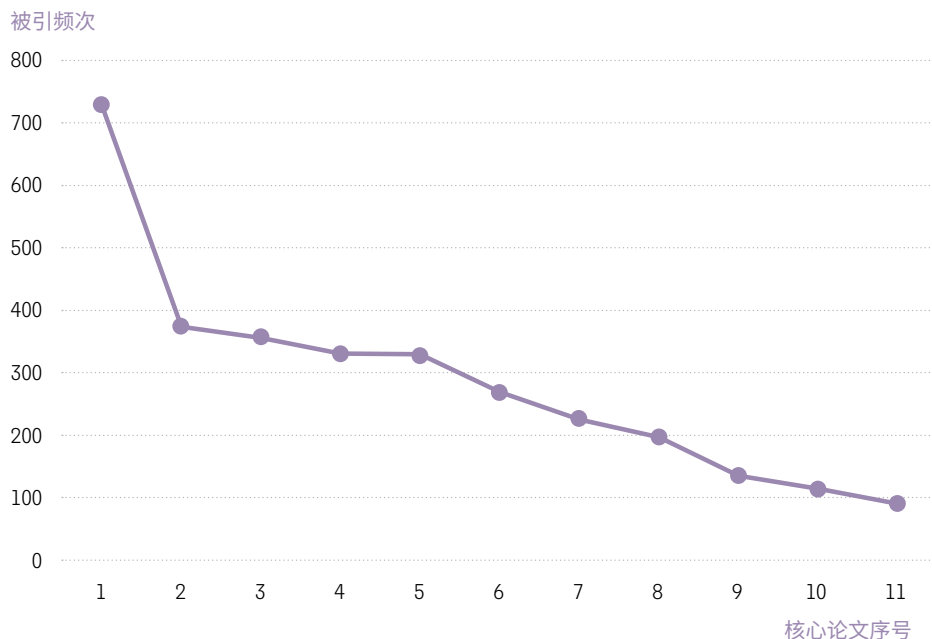
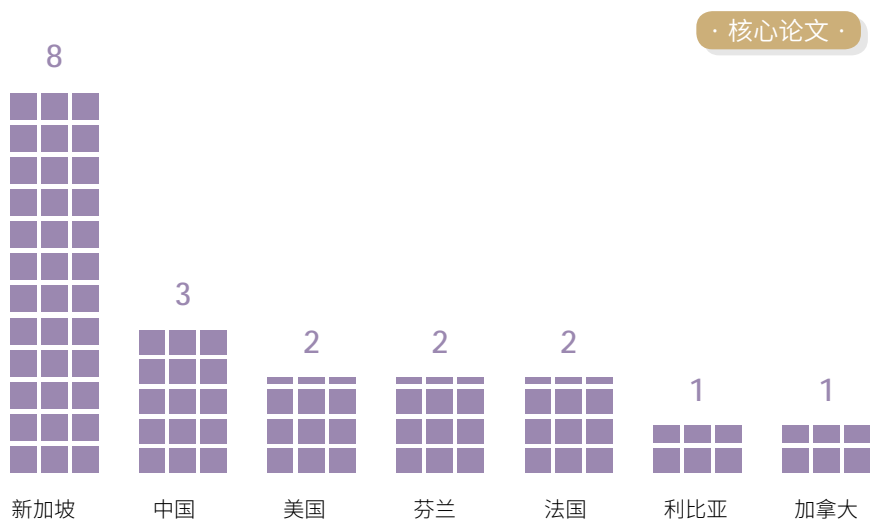


图 28 “基于无人机的无线通信技术”研究前沿中核心论文的被引频次分布曲线

新加坡贡献了该前沿的大部分研究工作（表 55）。从核心论文的机构分布看，新加坡国立大学发表的核心理文最多；华为公司的法国研发中心与法国巴黎萨克雷大学、美国弗吉尼亚理工大学和芬兰奥卢大学合作发表 2 篇论文。

表 55 “基于无人机的无线通信技术”研究前沿中核心论文的 Top 产出国家和机构

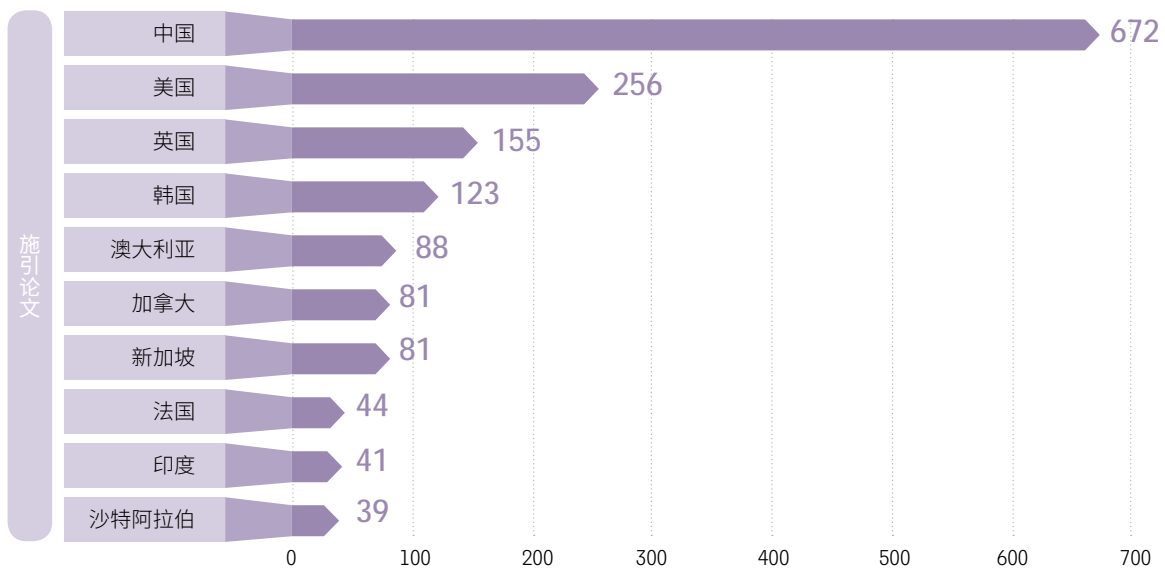
排名	国家	核心理文	比例	排名	机构	所属国家	核心理文	比例
1	新加坡	8	72.7%	1	新加坡国立大学	新加坡	8	72.7%
2	中国	3	27.3%	2	华为公司法国研发中心	中国 / 法国	2	18.2%
3	美国	2	18.2%	2	巴黎萨克雷大学	法国	2	18.2%
3	芬兰	2	18.2%	2	弗吉尼亚理工大学	美国	2	18.2%
3	法国	2	18.2%	2	科技研究局信息通信研究院	新加坡	2	18.2%
6	利比亚	1	9.1%	7	卡尔顿大学	加拿大	1	9.1%
6	加拿大	1	9.1%	7	西南大学	中国	1	9.1%
				7	奥卢大学	芬兰	1	9.1%
				7	苏尔特大学	利比亚	1	9.1%
				7	班加西大学	利比亚	1	9.1%
				7	南洋理工大学	新加坡	1	9.1%



对施引论文的分析显示（表 56），中国是该前沿后续研究最活跃的国家，其次为美国、英国和韩国。在施引论文 Top10 机构中，中国占据 7 席，其中北京邮电大学和东南大学是该前沿最为活跃的两个研究机构。此外，新加坡、美国、澳大利亚和英国也各有 1 家机构上榜。

表 56 “基于无人机的无线通信技术”研究前沿中施引论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	施引论文	比例	排名	机构	所属国家	施引论文	比例
1	中国	672	51.0%	1	北京邮电大学	中国	83	6.3%
2	美国	256	19.4%	2	东南大学	中国	82	6.2%
3	英国	155	11.8%	3	陆军工程大学	中国	62	4.7%
4	韩国	123	9.3%	4	新加坡国立大学	新加坡	51	3.9%
5	澳大利亚	88	6.7%	5	弗吉尼亚理工大学	美国	49	3.7%
6	加拿大	81	6.2%	6	南京航空航天大学	中国	47	3.6%
6	新加坡	81	6.2%	7	中国科学院	中国	37	2.8%
8	法国	44	3.3%	8	新南威尔士大学	澳大利亚	36	2.7%
9	印度	41	3.1%	8	西安电子科技大学	中国	36	2.7%
10	沙特阿拉伯	39	3.0%	10	南京邮电大学	中国	35	2.7%
				10	伦敦大学玛丽女王学院	英国	35	2.7%



2. 新兴前沿及重点新兴前沿解读

2.1 新兴前沿概述

信息科学领域有 1 项研究入选新兴前沿，“利用医学影像检测和诊断新冠肺炎的深度学习研究”。

表 57 信息科学领域新兴前沿

序号	新兴前沿	核心论文	被引频次	核心论文平均出版年
1	利用医学影像检测和诊断新冠肺炎的深度学习研究	12	338	2020

2.2 重点新兴前沿解读——“利用医学影像检测和诊断新冠肺炎的深度学习研究”

与新冠肺炎作斗争的一个关键步骤是对受感染患者进行有效筛查，以便受感染的病人能够立即得到治疗和护理，并被隔离以减轻病毒的传播。如何利用先进的人工智能深度学习技术迅速、准确地识别出新冠肺炎病情成为信息科学领域的新兴重点研究方向。

该前沿围绕着如何利用深度学习技术在医学影像数据中迅速识别新冠肺炎展开研究。在数据源方面，

大部分研究使用 X 光片进行自动识别，有 2 篇文献采用 CT 影像数据进行识别。在疫情初期，由于可用的数据集较小，部分研究采用数据增强的方法进行深度学习训练，提升对新冠肺炎的识别性能。在识别方法方面，涉及了辅助分类器生成对抗网络（GAN）、深度迁移学习方法、多目标差分进化卷积神经网络、Deep Bayes-Squeeze Net 等。

2021 研究前沿
RESEARCH FRONTS

经济学、心理学 及其他社会科学



1. 热点前沿及重点热点前沿解读

1.1 经济学、心理学及其他社会科学领域 Top 10 热点前沿发展态势

2021 年经济学、心理学及其他社会科学领域位居前十位的热点前沿主要集中在心理学、社会学和经济管理领域，并且呈现出较强的学科交叉性。其中，经济管理领域的热点前沿有 3 个，主要涉及区块链技术与供应链管理、社交媒体和营销、企业知识管理与创新绩效；社会学领域的热点前沿有 3 个，主要涉及土地利用效率及土地制度改革、虚假新闻的传播和影响、共享单车的问题研究等；心理学领域的

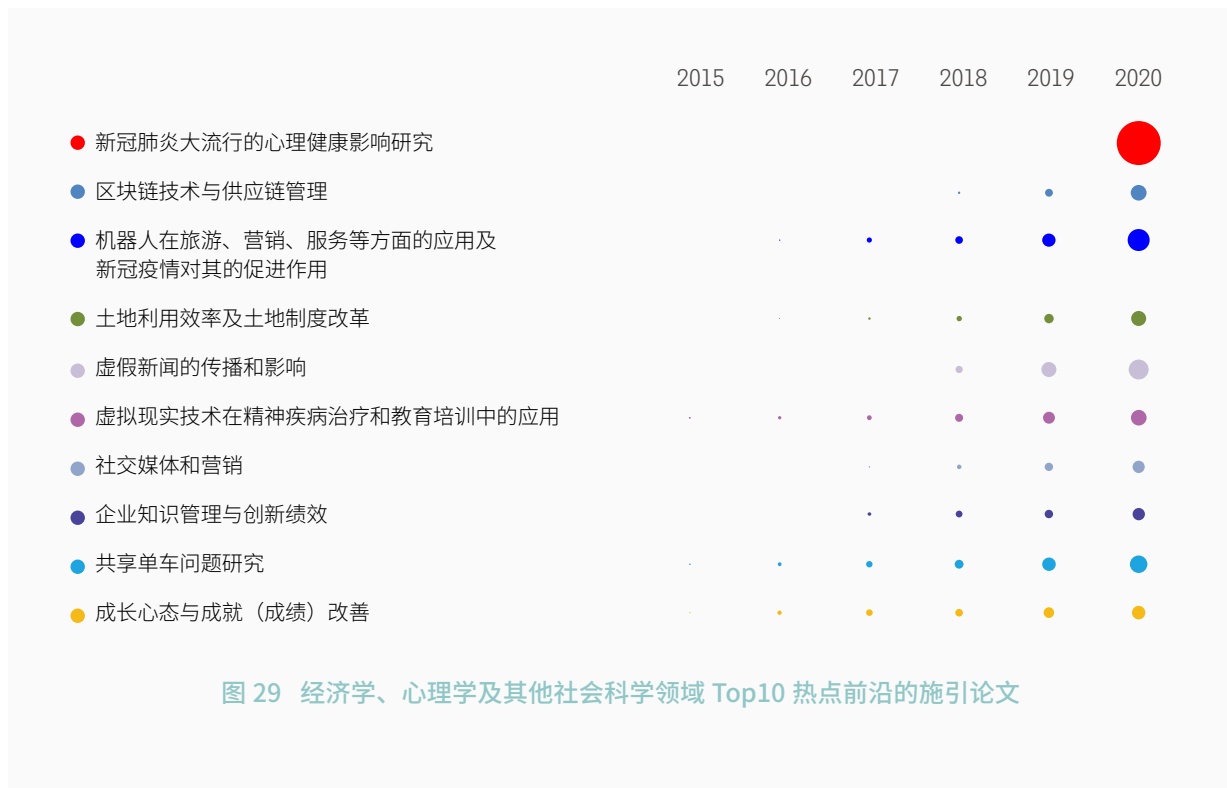
热点前沿 2 个，其中 1 项是新冠肺炎疫情中的大众心理健康问题，还有 1 项是成长心态相关的研究；交叉学科领域涉及的是信息技术与经济学、心理学、管理学的交叉。与前几年的热点前沿相比，共享经济连续三年出现热点前沿中，而区块链技术在供应链中的应用在 2020 年是新兴前沿，2021 年成为热点前沿。新冠疫情的相关社会、经济、心理问题也出现在 2021 年经济学、心理学及其他社会科学领域的热点

和新兴前沿中。

此外，十大热点前沿还突出体现了新技术在经济学、心理学和社会科学中的应用，例如“区块链技术与供应链管理”、“机器人在旅游、营销、服务等方面的应用及新冠疫情对其的促进作用”、“虚拟现实技术在精神疾病治疗和教育培训中的应用”、“社交媒体和营销”等。

表 58 经济学、心理学及其他社会科学领域 Top 10 热点前沿

序号	热点前沿	核心文献	被引频次	核心文献平均出版年
1	新冠肺炎大流行的心理健康影响研究	31	6035	2020
2	区块链技术与供应链管理	31	1270	2019.5
3	机器人在旅游、营销、服务等方面的应用及新冠疫情对其的促进作用	47	2347	2019.1
4	土地利用效率及土地制度改革	24	1075	2018.7
5	虚假新闻的传播和影响	12	1660	2018.5
6	虚拟现实技术在精神疾病治疗和教育培训中的应用	17	1149	2018
7	社交媒体和营销	13	896	2018
8	企业知识管理与创新绩效	14	860	2018
9	共享单车问题研究	35	2100	2017.9
10	成长心态与成就（成绩）改善	13	1107	2017.8



1.2 重点热点前沿——“新冠肺炎大流行的心理健康影响研究”

2019 年新冠肺炎 (COVID-19) 的爆发及快速传播对社会的方方面面，包括人们的身体健康和心理健康，产生了巨大的影响，尤其给一线医护人员带来了沉重的压力，极端的压力造成了中度到重度的心理困扰，并伴随有相应的身体症状，例如头痛、倦怠等。

该前沿主要聚焦新冠疫情严重

地区医务工作者和社会民众的心理健康负担及其造成的影响。相关研究调研了不同国家或地区在新冠疫情下，医护人员表现出的失眠等身体症状的普遍性，以及身体症状与抑郁、焦虑、压力和创伤后应激障碍 (PTSD) 心理之间的关联。部分研究结合人口统计学数据，确定一般人群中精神症状的患病率、易患病

人群 (例如女性、伴随慢性疾病和既往精神病史的人群) 及其主要症状，并确定心理困扰的风险和保护因素，旨在采取有针对性的应激性创伤后心理干预措施。这一前沿研究的意义在于，通过了解突发公共卫生事件后的心理健康问题及应对措施，将有助于医护人员和社区为民众应对灾难做好更充分的准备。

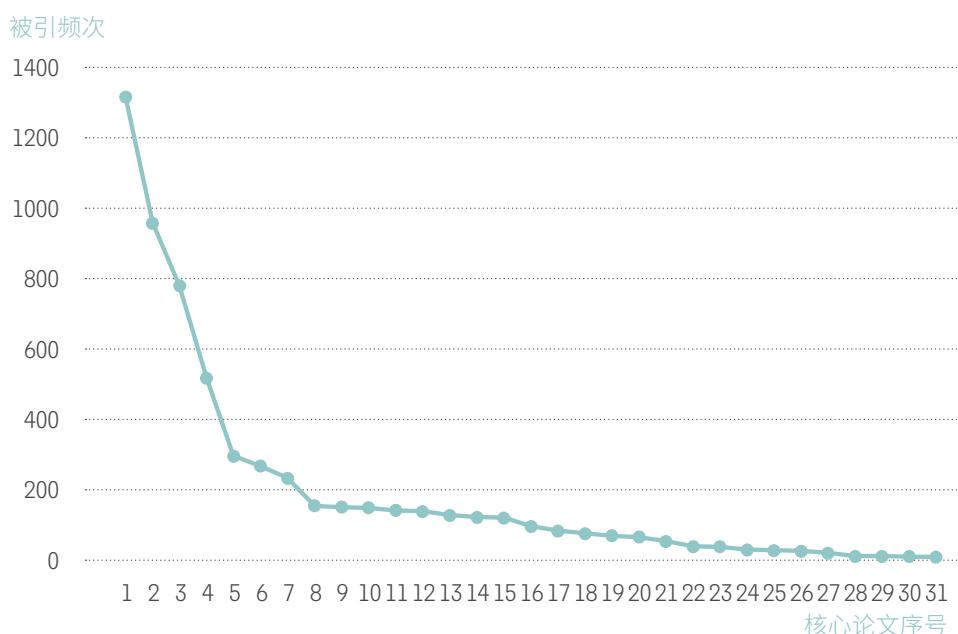


图 30 “新冠肺炎大流行的心理健康影响研究”研究前沿中核心论文的被引频次分布曲线

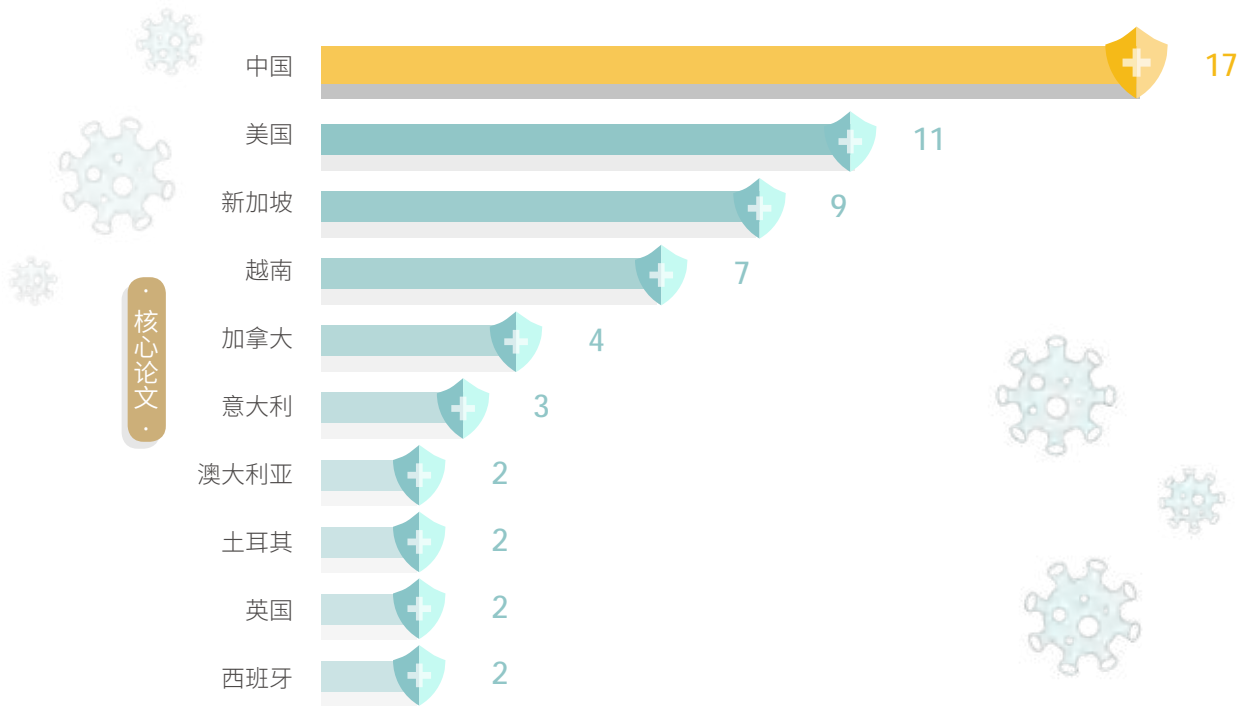
该热点前沿共有 31 篇核心论文，全部发表在 2020 年，其中被引最高的论文的被引频次为 1282 次，是 2020 年 2 月英国伦敦大学国王学院的 Samantha Brooks 发表在《Lancet》上的一篇文章，综述了 24 篇关于隔离对心理的影响，包括创伤后压力症状、混乱和愤怒，影响因素包括隔离时间的长短、感染恐惧、沮丧、无聊、供应不足、信息不足、经济损失和污名化

等。被引频次第二到第四的论文分别发表在《International Journal of Environmental Research and Public Health》、《Jama Network Open》和《Lancet Psychiatry》上，分别通过在线调查，人口统计数据收集等方法调查了中国、英国在大流行期间的焦虑、抑郁、压力水平等心理健康问题及影响因素，为减少大流行期间不良心理影响和精神症状提供循证策略。

对该热点前沿中核心论文贡献最大的国家主要是中国和美国，其中来自中国的学者发表 17 篇论文，占全部核心论文的 54.8%。从机构层面看，在 10 家 Top 机构中，有 3 家来自中国。发文最多的机构是新加坡国立大学，共发表了 9 篇核心论文，占所有核心论文的 29% (表 59)。

表 59 “新冠肺炎大流行的心理健康影响研究”研究前沿中核心论文的 Top 产出国家和机构

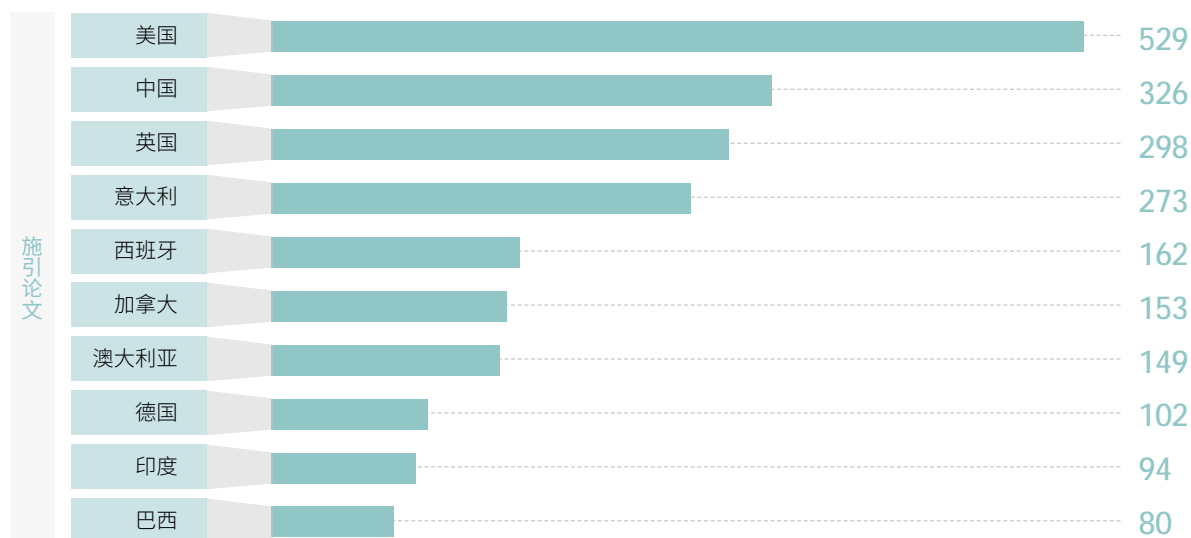
排名	国家	核心论文	比例	排名	机构	所属国家	核心论文	比例
1	中国	17	54.8%	1	新加坡国立大学	新加坡	9	29.0%
2	美国	11	35.5%	2	约翰·霍普金斯大学	美国	7	22.6%
3	新加坡	9	29.0%	2	河内医科大学	越南	7	22.6%
4	越南	7	22.6%	4	华中科技大学	中国	5	16.1%
5	加拿大	4	12.9%	5	越南阮必成大学	越南	4	12.9%
6	意大利	3	9.7%	5	淮北师范大学	中国	4	12.9%
7	澳大利亚	2	6.5%	5	多伦多大学	加拿大	4	12.9%
7	土耳其	2	6.5%	5	维新大学	越南	4	12.9%
7	英国	2	6.5%	5	武汉大学	中国	4	12.9%
7	西班牙	2	6.5%	10	加拿大大学医疗网络	加拿大	3	9.7%



从施引论文来看，美国以 529 篇施引论文位居首位，中国、英国、意大利紧随其后，这可能与疫情在全球的发展趋势有密切关系。可以看出，各国都开始关注疫情后产生的社会影响。在机构层面，呈现出与核心论文完全不同的分布特征，美国哈佛大学、英国伦敦大学国王学院以及加拿大多伦多大学成为施引论文最多的三个机构，中国的机构未能进入 Top10 施引机构中。

表 60 “新冠肺炎大流行的心理健康影响研究” 研究前沿中施引论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	施引论文	比例	排名	机构	所属国家	施引论文	比例
1	美国	529	16.3%	1	哈佛大学	美国	66	2.0%
2	中国	326	10.0%	2	伦敦大学国王学院	英国	62	1.9%
3	英国	298	9.2%	3	多伦多大学	加拿大	53	1.6%
4	意大利	273	8.4%	4	伦敦大学学院	英国	45	1.4%
5	西班牙	162	5.0%	5	罗马大学	意大利	42	1.3%
6	加拿大	153	4.7%	6	约翰·霍普金斯大学	美国	36	1.1%
7	澳大利亚	149	4.6%	7	新加坡国立大学	新加坡	35	1.1%
8	德国	102	3.1%	8	西班牙生物医学研究网络 (CIBER)	西班牙	31	1.0%
9	印度	94	2.9%	8	墨尔本大学	澳大利亚	31	1.0%
10	巴西	80	2.5%	8	帕多瓦大学	意大利	31	1.0%



1.3 重点热点前沿——“机器人在旅游、营销、服务等方面的应用及新冠疫情对其的促进作用”

在人工智能（AI）等新兴技术的推动下，利用服务机器人和人工智能提供人类服务越来越受到旅游、营销、酒店以及各类服务业的关注，智能自动化在旅游、酒店、营销等各服务业中的应用有望持续提升。同时，人工智能可能会通过改善消费者（客户）体验大幅改变营销策略和客户行为。

该研究前沿主要聚焦在以服务机器人为代表的新兴技术对于旅

游、营销、服务等方面的影响，尤其在 2020 年新冠肺炎（COVID-19）疫情全球爆发之后，旅游业等服务行业受到一定冲击，但智能技术和互联网迅速改变组织边界的特征，加速了数字旅游以及机器人在服务业中的应用，例如人形机器人应该在酒店和旅游服务中发挥越来越大的作用；服务机器人提升消费者的客户体验，技术正在迅速改变服务的性质、客户的体验以及客户与服务提供商的关系；社会辅助机器人

在老年护理价值网络中的潜在作用，这些都将带来旅游业、服务业的转型发展。

“机器人在旅游、营销、服务等方面的应用及新冠疫情对其的促进作用”共有 47 篇核心文献，其中被引最高的论文的被引频次为 497 次，是美国波士顿学院的 Katherine N. Lemon 于 2016 年发表在《Journal of Marketing》上的一篇文章。

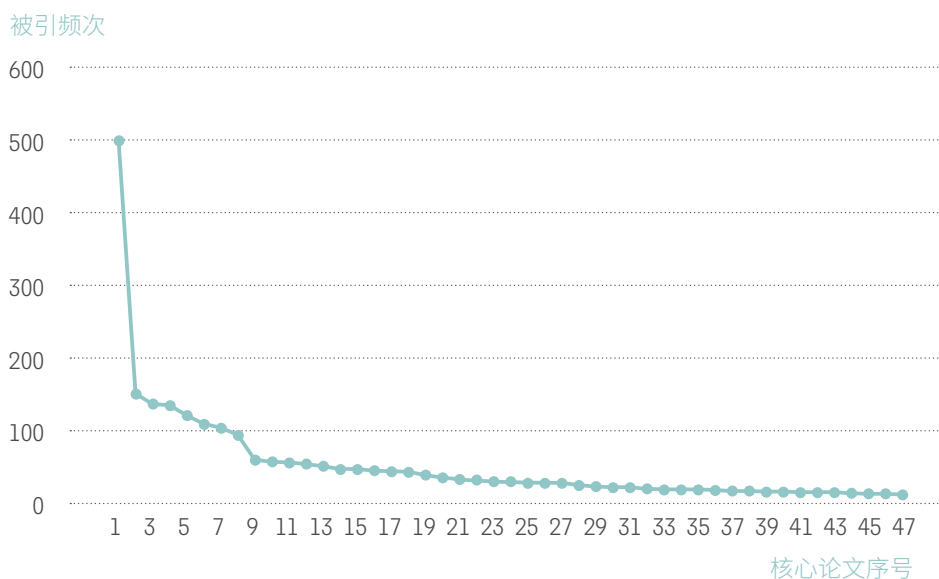


图 31 “机器人在旅游、营销、服务等方面的应用及新冠疫情对其的促进作用”研究前沿中核心论文的被引频次分布曲线

在该热点前沿中贡献前三的国家是美国、英国和澳大利亚，其中美国贡献 21 篇，占全部核心论文的 44.7%，中国在该热点前沿贡献

7 篇论文，位居第四。从机构层面看，该热点前沿在机构层面的分布较为均衡，在 13 家 Top 机构中，有 5 家来自美国。发文最多的机构是澳

大利亚的昆士兰大学，贡献了 5 篇核心论文，占有所有论文的 10.6%，紧随其后的是南非的约翰内斯堡大学。

表 61 “机器人在旅游、营销、服务等方面的应用及新冠疫情对其的促进作用”
研究前沿中核心论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	核心论文	比例	排名	机构	所属国家	核心论文	比例
1	美国	21	44.7%	1	昆士兰大学	澳大利亚	5	10.6%
2	英国	12	25.5%	2	约翰内斯堡大学	南非	4	8.5%
2	澳大利亚	12	25.5%	3	南加利福尼亚大学	美国	3	6.4%
4	荷兰	7	14.9%	3	亚利桑那州立大学	美国	3	6.4%
4	中国	7	14.9%	3	波士顿学院	美国	3	6.4%
6	瑞典	6	12.8%	3	法国北方高等商学院	法国	3	6.4%
6	加拿大	6	12.8%	3	格罗宁根大学	荷兰	3	6.4%
8	德国	5	10.6%	3	香港理工大学	中国	3	6.4%
9	芬兰	4	8.5%	3	佛罗里达州立大学	美国	3	6.4%
9	南非	4	8.5%	3	萨里大学	英国	3	6.4%
9	法国	4	8.5%	3	巴布森学院	美国	3	6.4%
				3	南澳大利亚大学	澳大利亚	3	6.4%

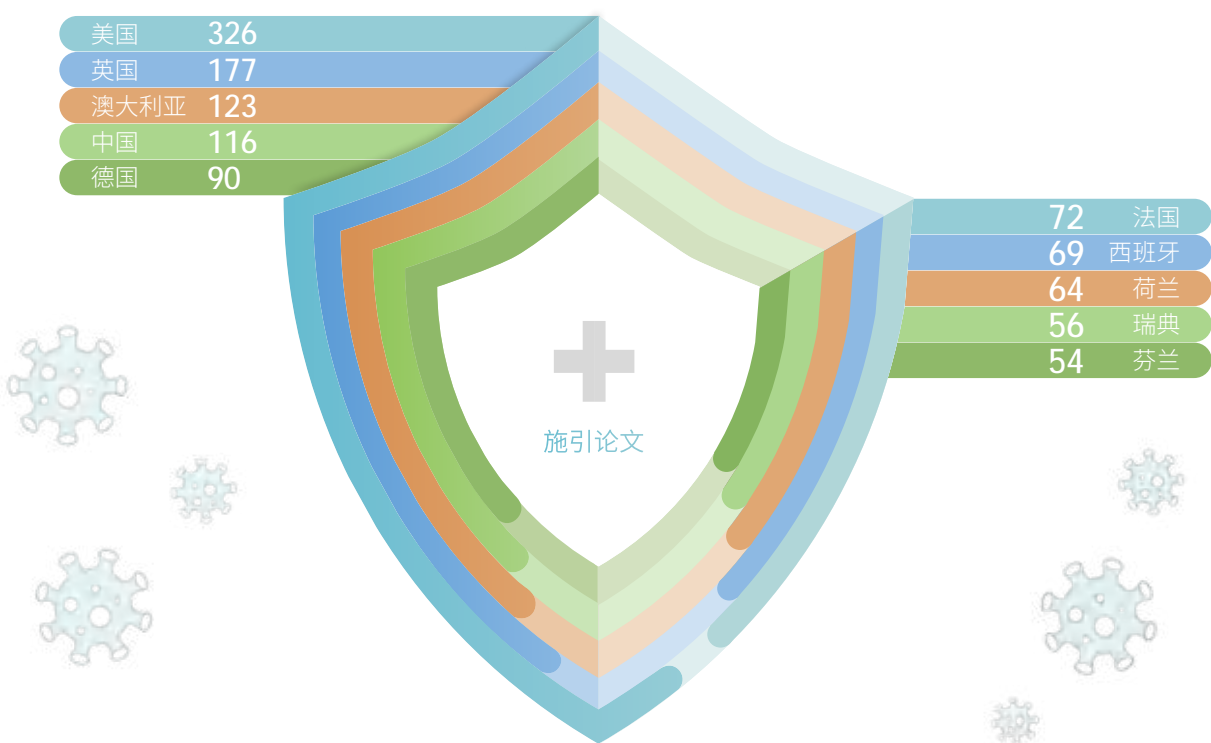
· 核心论文 ·



从施引论文来看，美国以 326 篇施引论文位居首位，英国、澳大利亚、中国均超过 100 篇施引论文。可以看出，中国对该前沿的关注度逐步提升。在机构层面，以美欧为主，瑞典的卡尔斯坦德大学和荷兰的马斯特里赫特大学施引论文最多，中国的香港理工大学位居第三。

表 62 “机器人在旅游、营销、服务等方面的应用及新冠疫情对其的促进作用”
研究前沿中施引论文的 Top 产出国家和机构

排名	国家	施引论文	比例	排名	机构	所属国家	施引论文	比例
1	美国	326	26.0%	1	卡尔斯坦德大学	瑞典	27	2.1%
2	英国	177	14.1%	1	马斯特里赫特大学	荷兰	27	2.1%
3	澳大利亚	123	9.8%	3	香港理工大学	中国	25	2.0%
4	中国	116	9.2%	4	昆士兰大学	澳大利亚	24	1.9%
5	德国	90	7.2%	5	萨里大学	英国	23	1.8%
6	法国	72	5.7%	6	萨拉戈萨大学	西班牙	20	1.6%
7	西班牙	69	5.5%	7	福特汉姆大学	美国	17	1.4%
8	荷兰	64	5.1%	7	昆士兰科技大学	澳大利亚	17	1.4%
9	瑞典	56	4.5%	7	约翰内斯堡大学	南非	17	1.4%
10	芬兰	54	4.3%	10	佛罗里达州立大学	美国	16	1.3%



2. 新兴前沿及重点新兴前沿解读

2.1 新兴前沿概述

经济学、心理学及其他社会科学领域有 7 项研究入选新兴前沿，其中 4 项新兴前沿与新冠肺炎疫情有关，分别是新冠肺炎疫情恐惧量表的测量评估，医护人员的心理健康问题的调查以及新冠疫情对金融市场的影响。下面选取“新冠肺炎疫情恐惧量表的心理测量评估”做重点解读。

表 63 经济学、心理学及其他社会科学领域新兴前沿

序号	新兴前沿	核心文献	被引频次	核心文献平均出版年
1	新冠肺炎恐惧量表的心理测量评估	16	762	2020
2	各国对新冠肺炎的知识、态度和做法的调查	12	636	2020
3	新冠疫情与金融市场波动	10	202	2020
4	综合图像模糊多标准决策方法的应用	10	194	2020
5	新冠疫情与医护人员心理健康	6	192	2020
6	移民家庭研究	9	129	2019.8
7	股票收益预测的新方法（经济约束法）	7	131	2019.7

2.2 重点新兴前沿——“新冠肺炎疫情恐惧量表的心理测量评估”

新冠肺炎（COVID-19）疫情的爆发带来了巨大的社会影响，其中对新冠肺炎的恐惧造成了前所未有的心理健康问题，出现了较为普遍的冠状病毒恐惧症，严重影响了人们的正常生活生产。冠状病毒恐惧症是一种相对较新的、与流行病相关的症状，已被证明与功能障碍和心理困扰密切相关，需要系统地调查民众冠状病毒恐惧症对新冠肺炎危机期间所经历的心理困扰程度。为解决受新冠病毒大流行影响的人们的心理健康问题，社会科学家、心理学家开始关注通过开发新冠疫情引起的心理恐惧、焦虑、压力等方面的量表，成为经济学、心理

学及其他社会科学领域的新兴前沿之一。

从该新兴前沿的 16 篇核心论文中可以看出，目前开发的关于新冠疫情恐惧心理测量评估的量表有新冠肺炎恐惧量表 (FCV-19S)、冠状病毒焦虑量表 (CAS)、大流行悲伤量表 (PGS)、冠状病毒恐惧问卷 (FCQ)、新冠肺炎压力量表 (CSS) 等，每个量表都有不同的测度结构和测量项目，并进行了多样本的信效度检验。

利用这些工具研究发现，与一般人群相比，已有心理健康状况的

人可能更容易受到与新冠肺炎相关压力源的影响，例如患有焦虑症或情绪障碍的人受到新冠肺炎的负面影响更大，患有焦虑症的人更担心危险和污染、社会经济后果，呈现仇外心理和创伤性压力症状；新媒体的使用和更多的媒体参与与消极的心理结果有关，但某些媒体内容却又与积极的心理影响有关。这些研究表明，卫生专业人员应该充分意识到冠状病毒恐惧症的存在，以及从官方渠道进行及时公共卫生沟通的必要性。同时，这些研究也有望在一定程度上为政府政策制定提供有关如何减缓病毒传播的信息。

附录

研究前沿综述：寻找科学的结构

■ 作者：David Pendlebury



Eugene Garfield 1955 年第一次提出科学引文索引概念之际，即强调了引文索引区别于传统学科分类索引的几点优势^[1]。因为引文索引会对每一篇文章的参考文献做索引，检索者就可以从一些已知的论文出发，去跟踪新近出版的引用了这些已知论文的论文。此外，无论是顺序或回溯引用论文，引文索引都是高产与高效的。

因为引文索引是基于研究人员自身的见多识广的判断，并反映在他们文章的参考文献中，而图书情报索引专家对出版物的内容并不如作者熟悉只靠分类来做索引。Garfield 将这些作者称作“引文索引部队”，同时他认为这种索引是一张“创意联盟索引”。他认为引文是各种思想、概念、主题、方法的标志：“引文索引可以精确地、毫不模糊地呈现主题，不需要过多的解释，并对术语的变化具备免疫力^[2]。”除此之外，引文索引具有跨学科属性，打破了来源文献覆盖范围的局限性。引文所呈现出的联系不局限于一个或几个领域——这种联系遍布整个研究世界。对科学而言，自从学科交叉被公认为研究发现的沃土，引文索引便呈现出独特的优势。诺贝尔奖得主 Joshua Lederberg 是 Garfield 这一思想较早的支持者，他在自己的遗传学研

究领域与生物化学、统计学、农业、医学的交叉互动中受益匪浅。Science Citation Index (现在的 Web of Science) 创建于 1964 年，2020 年已有 56 个年头^[3]。虽然 Science Citation Index 经过很多年才被图书情报人员以及学术圈完全认可，但是引文索引理念的影响力以及它在操作过程中产生的实质作用是无法被否认的。

虽然 Science Citation Index 的主要用途是信息检索，但是从其诞生之初，Garfield 就很清楚他的数据可以被用来分析科学研究本身。首先，他意识到论文的被引频次可以界定“影响力”显著的论文，而这些高被引论文的聚类分析结果可以指向具体的领域。不仅如此，他还深刻理解到大量的论文之间的引用与被引用揭示了科学的结构，虽然它极其复杂。他发表于 1963 年的一篇论文“Citation Indexes for Sociological and Historical Research”，论述了利用引文分析客观探寻研究前沿的方法^[4]。这篇文章背后的逻辑与利用引文索引进行信息检索的逻辑如出一辙：引文不仅仅体现了智力活动之间的相互连接，还体现了研究者社会属性的相互联系，它是研究人员做出的智力判断，反映了学术领域学者行为的高度自治与自律。

Garfield 在 1964 年与同事 Irving H. Sher 及 Richard J. Torpie 第一次将引文关系佐证下指向的具备影响力的相关理论按时期进行线性描述，制作出 DNA 的发现过程及其结构研究的一幅科学历史脉络图^[5]。Garfield 清楚地看到引文数据是呈现科学结构的最好素材。到目前为止，除了利用引文数据绘制了特定研究领域的历史图谱外，尚未出现一幅展示更为宏大的科学结构的图谱。

在这个领域 Garfield 并不孤独。同期，物理学、科学史学家 Derek J. de Solla Price 也在试图探寻科学研究的本质与结构。作为耶鲁大学的教授，他首先使用科学计量方法对科学研究活动进行了测量，并且分别于 1961 年与 1963 年出版了两本颇具影响的书，证明了为什么 17 世纪以来无论是研究人员数量还是学术出版数量都呈现指数增长态势^[6,7]。但是在他的工作中鲜有对科学研究活动本身的统计分析，因为在他不知疲倦的探究之路上，获取、质询、解读研究活动的想法还没有提上日程。Price 与 Garfield 正是在此时相识了。Price，这位裁缝的儿子，收到了来自 Garfield 的数据，他这样描述当时的情景：“我从 ISI 计算机房的剪裁板上取得了这些数据”^[8]。

1965年，Price发表了“科学研究论文网络”一文，文中利用了大量的引文分析数据描述他所定义的“科学研究前沿”的本质^[9]。之前，他使用“研究前沿”这个词语时采用的是其字面意思，即某些卓越科学家在最前沿所进行的领先研究。但是在这篇论文中，他以N-射线研究为例（该研究领域的生命周期很短），基于按时间顺序排列的论文及其互引模式构成的网络，从出版物的密度以及不同时期活跃度的角度对研究前沿进行了描述。Price观察到研究前沿是建立在新近发表的“高密度”论文上，这些论文之间呈现出联系紧密的网状关系图。

“研究前沿从来都不是像编织那样一行一行编出来的。相反，它常常被漏针编织成小块儿或者小条儿。这些‘条’被客观描述成‘主题’，对‘主题’的描述虽然随着时间推移会发生巨大变化，但是作为智力活动的内在含义保持了相对稳定性。如果有人想探寻这种‘条’的本质，也许就会指向一种勾勒当前科学论文‘地形图’的方法。这种‘地形图’形成过程中，人们可以通过期刊在地图中的位置以及在‘条’中的战略中心地位来识别期刊（实际上是国家、个人或单篇论文）的共同及各自相对的重要性”^[10]。

时间到了1972年，年轻的科学史学者Henry Small离开位于纽约的美国物理学会，加入费城的美国科技信息所，他加入的最初动机是希望可以利用Science Citation Index的数据以及题名和关键词的价值。但是很快他就调整了方向，把注意力从“文字”转向了“文章间相互引用行为”，这种转变背后的动机与Garfield和Price不谋而合：引文的力量及其发展潜力。1973年，Small在Garfield1955年介绍引文思想论文的基础上，开拓出了自己全新的方向，发表了论文“Co-citation in the scientific literature: A new measure of relationship between two documents”，这篇论文介绍了一种新的研究方法——“共被引分析”，将描述科学学科结构的研究带入了一个新的时期^[11]。Small利用两篇论文被共同被引用的次数来描述这两篇论文的相似程度，换句话说就是统计“共被引频率”来确认相似度。

他利用当时新发表的粒子物理领域的论文分析来阐述自己的方法。Small发现，这些通过“共被引”联系在一起的论文常常在研究主题上有高度的相似度，是相互关联的思想集合。他认为基于论文被引用频率的分析，可以用来寻找领域中

关键的概念、方法和实验，是进行“共被引分析”的起点。前者用客观的方式揭示了学科领域的智力、社会和社会认知结构。像Price做研究前沿的研究一样，Small将最近发表的通过引用关系紧密编织在一起的论文聚成组，接着通过“共被引”分析，发现分析结果指向了自然关联在一起的“研究单元”，而不是传统定义的“学科”或较大的领域。Small将“共被引分析”比作一部完整的电影，而不是一张孤立的图片，以表达他对该方法潜力的极大信任。他认为，通过重要论文间的相互引用模式分析，可以呈现某个研究领域的结构图，这幅结构图会随着时间的推移而发生变化，通过研究这种不断变化的结构，“共被引分析”可以帮助我们跟踪科学研究的进展，以及评估不同研究领域的相互影响程度。

还有一位值得注意的科学家是俄罗斯研究信息科学的Irina V. Marshakova-Shaikovich。她也在1973年提出了“共被引分析”的思想^[12]。但是Small与Marshakova-Shaikovich并不了解彼此的工作，因此他们的工作可以被看作是相互独立、不谋而合的研究。科学社会学家Robert K. Merton将这种现象称作“共同发现”，这在科学史上是非常常见

的现象，而很多人却没有意识到这种常见现象的存在^[13,14]。Small与Marshakova-Shaikovich都将“共被引分析”与“文献耦合”现象进行了对比，后者是Myer Kessler于1963年阐释的思想^[15]。

“文献耦合”也是用来度量两篇论文研究内容相似程度的方法，该方法基于两篇论文中出现相同参考文献的频次来度量它们的相似程度，即如果两篇论文共同引用了同一篇参考文献，他们的研究内容就可能存在相似关系，相同的参考文献越多，相似度越大。“共被引分析”则是“文献耦合”分析的“逆”方向：不用两篇文章共同引用的参考文献频次做内容相似度研究的线索，而是将“共同被引用”的参考文献聚类，通过“共被引分析”度量这些参考文献的相似度。“文献耦合”方法所判断两篇文章之间的相似度是“静态”的，因为当文章发表后，其文后的参考文献不会再发生变化，也就是说两篇论文之间的相似关系被固定下来了；但是“共被引”分析是一个逆过程，你永远无法预知哪些论文会被未来发表的论文“共同被引用”，它会随着研究的发展发生动态的变化。Small更倾向于使用“共被引分析”，他认为这样的逆过程能够反映科学活动、科学家认知随着时间发生的变

化^[16]。

接下来的一年，即1974年，Small与位于费城Drexel University的Belver C. Griffith共同发表了两篇该领域里程碑式的著作，阐释了利用“共被引分析”寻找“研究单元”的方法，并且利用“研究单元”间的相似度做图呈现研究工作的结构^[17,18]。虽然此后该方法有过一些重大的调整，但是它的基本原理与实施方式从来没有改变过。首先遴选高被引论文合集作为“共被引分析”的种子。将这样的高被引论文合集限定在一定规模范围内，这些论文被假定可以作为其相关研究领域关键概念的代表论文，对该领域起着重要的影响作用，作为寻找这些论文的线索，“被引用历史”成为关键点，利用引用频次建立的统计分析模型可以证明这些论文的确具有学科代表性与稳定性。一旦这样的合集被筛选出来，就要对该合集做“共被引”扫描。合集中，同时被同一篇论文引用的论文被结成对，称作“共被引论文对”，当然会出现很多结不成对的“0”结果。当很多“共被引论文对”被找到时，接下来会检查这些“共被引论文对”之间是否存在“手拉手”的关系，举例来说：如果通过“共被引扫描

“发现了“共被引论文对A和B”、“共被引论文对C和D”、“共被引论文对B和C”，那么由于论文B和C的共被引出现，“共被引论文对A和B”与“共被引论文对C和D”就被联系到一起了。我们就认为两个“共被引论文对”出现了一次交叉或者“拉手”。因为这一次交叉，就将这两个“共被引论文对”合并聚成簇，也就是说两个“共被引论文对”间只需要一次“拉手”就能形成联系。

通过调高或调低共被引强度阈值可以得到规模大小不同的“聚类”或者“群”。阈值越低，越多的论文得以聚类，形成的“群”越大，阈值过低则会形成不间断的“论文链”。如果调高阈值，就可以形成离散的专业领域，但是如果相似度阈值设得太高，就会形成太多分裂的“孤岛”。

在构建研究前沿方法中采用的“共被引相似度”计量方法以及共被引强度阈值随着时间的推移有所不同。今天我们采用余弦相似性(cosine similarity)方法计量“共被引相似度”，即用共被引频次除以两篇论文的引用次数的平方根。而“共被引强度”最小阈值是相似度.1的余弦，不过这个值是可以逐渐调高的，一旦调高就会将大的“聚类”

变小。通常如果研究前沿聚类核心论文超过最大值 50 时，我们就会这样做。反复试验表明这种做法能产生有意义的研究前沿。

现在我们做个总结，研究前沿是由一组高被引论文和引用这些论文的相关论文组成的，这些高被引论文的共被引相似度强度位于设定的阈值之上。事实上，研究前沿聚类应该同时包含两个组成部分，一部分是通过共被引找到的核心论文，这些论文代表了该领域的奠基工作；另外一部分就是对这些核心论文进行引用的施引论文，它们中最新发表的论文反映了该领域的新进展。研究前沿的名称则是从这些核心论文或施引论文的题名总结来的。ESI 数据库中研究前沿的命名主要是基于核心论文的题名。有些前沿的命名也参考了施引论文。因为正是这些施引论文的作者通过共被引决定了重要论文的对应关系，也是这些施引论文作者赋予研究前沿以意义。研究前沿的命名并不是通过算法来进行的，仔细地、一篇一篇通过人工探寻这些核心论文和施引论文，无疑会对研究前沿工作本质的描述更加精确。

Small 与 Griffith 1974 年共同发表的第二篇论文中，可以看到对不同研究前沿相似度的度量^[19]。通

过共被引分析构建的研究前沿及其核心论文，是建立在这些论文本身的相似度基础上的。同样，用这种方法形成的不同研究前沿之间的相似度也是可以描述的，从而发现那些彼此联系紧密的研究前沿。在他们的研究前沿图谱中，Small 与 Griffith 通过不同角度剖析、缩放数据以期接近这两个维度的研究方向。

对 Small 与 Griffith 的工作，尤其是从以上两个维度解析通过共被引分析聚类论文图谱的工作，Price 认为“看上去这是非常深奥的工作，也是革命性的突破。”。他强调“他们的发现似乎预示着科学研究存在内在的结构与秩序，需要我们进一步去发现、辨识、诊断。我们惯常用分类、主题词的方式去描述它，看上去与它自然内在的结构是背道而驰的。如果我们真想发现科学研究结构的话，无疑需要分析海量的科学论文，生成巨型地图。这个过程是动态的，不断随着时间而变化，这使得我们在第一时间就能捕捉到它的进展与特性。”^[20]

Garfield 这样评价 Small 与 Griffith 的工作，“他们的工作是我们的飞行器得以起飞的最后一块理论基石”^[21]。Garfield——一位实干家，他将自己的理论研究工作

转化成了数据库产品，无论是信息检索还是分析领域都受益良多。这个飞行器以 1981 年出版的 ISI 科学地图：生物化学和分子生物学 (ISI Atlas of Science: Biochemistry and Molecular Biology, 1978/80) 而宣告起飞^[22]，可以说这本书所呈现的工作与 Small 的工作有着内在的联系。这本书分析了 102 个研究前沿，每一个前沿都包括一张图谱，包含了前沿背后的核心论文，以及多角度展示这些论文间的相互关系。每一组核心论文被详细列出，并且给出它们的被引用次数，那些重要的施引论文也会在清单中，还会基于核心论文的被引用次数给出每个前沿的相关权重。

伴随这些分析数据的还有来自各前沿专业领域的专家撰写的综述。书的最后，是这 102 个研究前沿汇总在一起的巨大图谱，显示出他们之间的相似关系。这绝对是跨时代的工作，但对于市场来说无异于一场赌博，这就是 Garfield 的个性写真。

在出版了另一本书和一系列综述性期刊之后^[23,24]，ISI Atlas of Science 作为系列出版物终止于上世纪 80 年代。出于商业考虑，那时还有更优先的事情需要做。但是 Garfield 与 Small 继续执着地行走

在科学图谱这条道路上，他们几十年来做了各种研究与实验。1985年，Small发表了两篇论文介绍他关于研究前沿定义方法的重要修正：分数共被引聚类法 (Fractional Co-Citation Clustering)^[25]。

根据引用论文的参考文献的多少，通过计算分数被引频次调整领域内平均引用率差异，籍此消除整体计数给高引用领域（如生物医药领域）带来的系统偏差。随着方法的改进，数学显得愈发重要，而在整数计数时代，数学曾被忽视。他还提出基于相似度可以将不同研究前沿聚类，这超越了单个研究前沿聚组的工作^[26]。同年，Garfield与Small发表了“The geography of science: disciplinary and national mappings”，阐述了他们研究的新进展。该论文汇集了Science Citation Index与Social Sciences Citation Index数据，勾勒出全球该领域的研究状况，从全球的整体图出发，他们还进一步探索了更小分割单位的研究图谱^[27]。这些宏-聚类间的关系与具体研究内容同样重要。这些关联如同丝线，织出了科学之网。

接下来的几年里，Garfield致力于发展他的科学历史图谱，并在Alexander I. Pudovkin与Vladimir S.

Istomin的协助下，开发了HistCite这一软件工具。HistCite不仅能够基于引用关系自动生成一组论文的历史图谱，提供某一特定研究领域论文发展演化的缩略图，还可以帮助识别相关论文，这些相关论文有可能在最初检索时没有被检索到，或者没有被识别出来。因此，HistCite不仅是一个科学历史图谱的分析软件，也是帮助论文检索的工具^[28,29]。

Small继续完善着他的共被引分析聚类方法，并且试图基于某个学科领域前沿之间呈现的认知关系图谱探索更多的细节内容^[30,31]。背后的驱动力是对科学统一性的强烈兴趣。为了显示这种统一性，Small展示了通过强大的共被引关系，如何从一个研究主题漫游到另一个主题，并且跨越了学科界限，甚至从经济学跨越到天体物理学^[32,33]。对此Small与E.O.Wilson有类似的想法，后者在1998年出版的名为Consilience: The Unity of Knowledge的一书中表达了类似的思想^[34]。上个世纪90年代早期，Small发展了Sci-Map，这是一个基于个人电脑的论文互动图形系统^[35]。后来的数年中，他将研究前沿的研究数据放到了Essential Science Indicators (ESI) 数据库中。

Essential Science Indicators (ESI) 主要用来做研究绩效分析。ESI中的研究前沿，以及有关排名的数据每两个月更新一次。这时候，Small对虚拟现实软件产生了极大的兴趣，因为这类软件可以产生模拟真实情况的三维虚拟图形，可以实时处理海量数据^[36,37]。例如，上世纪90年代末期，Small领导了一个科学论文虚拟图形项目，在桑迪亚国家实验室成功开发了共被引分析虚拟现实软件VxInsight^[38,39]。

由于桑迪亚国家实验室高级研究经理Charles E. Meyers富有远见的支持，在动态实时图形化学术论文领域，该研究无疑迈出了巨大的一步，这也是一个未来发展迅速的领域。该软件可以将论文的密度及显著特征用山形描绘出来。可以放大、缩小图形的比例尺，允许用户通过这样的比例尺缩放游走在不同层级学科领域。基础数据的查询结果被突出显示，一目了然。

事实上，上世纪90年代末期对于科学图谱研究来说是一个转折点，之后，有关如何界定研究领域，以及领域间关系的可视化研究都得到了迅猛发展。全球现在有很多学术中心致力于科学图谱的研究，他们使用的方法与工具不尽相同。印第安纳大学的Katy Borner教授

在其 2010 年出版的一本书：Atlas of Science —— Visualizing What We Know 中对该领域过去 10 年取得的进展做了总结，当然这本书的名字听上去似曾相识^[40]。

从基于共被引聚类的科学图谱诞生，到这个领域如此繁荣，大约经历了 25 年的时间。很有意思的是，引文思想从产生到 Science Citation Index 的商业成功也大约经历了 25 年。当我们回顾这个进程时，清楚地看到相对于它们所处的时代来说两者的理念都是超前的。如果说 Science Citation Index 面临的挑战来自于图书馆界

根深蒂固的传统思想与模式（进一步说就是来自研究人员检索论文的习惯性行为），那么，科学图谱，作为一个全新的领域，之所以迟迟未被采纳，其原因应归为，在当时的条件下，缺乏获取研究所需的大量数据的渠道，并受到落后的数据存储、运算、分析技术的限制。直到上世纪 90 年代，这些问题才得到根本解决。目前正以前所未有的速度为分析工作提供海量的分析数据，个人计算机与软件的发展也使个人计算机可以胜任这些分析工作。今天，我们利用 Web of Science 进行信息检索、结果分析、研究前沿分析、

图谱生成，以及科学活动分析，它不仅拥有了用户，还拥有了忠诚的拥趸与宣传者。

Garfield 与 Small 辛勤播种，很多年后这些种子得以生根、发芽，在很多领域迸发出勃勃生机。有人这样定义什么是了不起的人生——“在人生随后的岁月中，将年轻时萌发的梦想变成现实”。从这个角度说，他们两人不仅开创了信息科学的先锋领域，而且成就了他们富有传奇的人生。科睿唯安将继续支持并推进这个传奇的持续发展。

参考文献

- [1] Eugene Garfield. Citation indexes for science: a new dimension in documentation through association of ideas. *Science*, 122 (3159): 108-111, 1955.
- [2] Eugene Garfield. *Citation Indexing: its Theory and Application in Science, Technology, and Humanities*. New York: John Wiley & Sons, 1979, 3.
- [3] *Genetics Citation Index*. Philadelphia: Institute for Scientific Information, 1963.
- [4] Eugene Garfield. Citation indexes in sociological and historic research. *American Documentation*, 14 (4): 289-291, 1963.
- [5] Eugene Garfield, Irving H. Sher, Richard J. Torpie. *The Use of Citation Data in Writing the History of Science*. Philadelphia: Institute For Scientific Information, 1964.
- [6] Derek J. de Solla Price. *Science Since Babylon*. New Haven: Yale University Press, 1961. [See also the enlarged edition of 1975]
- [7] Derek J. de Solla Price. *Little Science, Big Science*. New York: Columbia University Press, 1963. [See also the edition *Little Science, Big Science...and Beyond*, 1986, including nine influential papers by Price in addition to the original book]
- [8] Derek J. de Solla Price. Foreword. in Eugene Garfield, *Essays of an Information Scientist, Volume 3, 1977-1978*, Philadelphia: Institute For Scientific Information, 1979, v-ix.
- [9] Derek J. de Solla Price. Networks of scientific papers: the pattern of bibliographic references indicates the nature of the scientific research front. *Science*, 149 (3683): 510-515, 1965.
- [10] *ibid.*
- [11] Henry Small. Co-citation in scientific literature: a new measure of the relationship between two documents. *Journal of the American Society for Information Science*, 24 (4): 265-269, 1973.
- [12] Irena V. Marshakova-Shaikevich. System of document connections based on references. *Nauchno Tekhnicheskaya, Informatsiya Seriya 2, SSR, [Scientific and Technical Information Serial of VINITI]*, 6: 3-8, 1973.
- [13] Robert K. Merton. Singletons and multiples in scientific discovery: a chapter in the sociology of science. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 105 (5): 470-486, 1961.
- [14] Robert K. Merton. Resistance to the systematic study of multiple discoveries in science. *Archives Européennes de Sociologie*, 4 (2): 237-282, 1963.

- [15] Myer M. Kessler. Bibliographic coupling between scientific papers. *American Documentation*, 14 (1): 10-25, 1963.
- [16] Henry Small. Cogitations on co-citations. *Current Contents*, 10: 20, march 9, 1992.
- [17] Henry Small, Belver C. Griffith. The structure of scientific literatures i: Identifying and graphing specialties. *Science Studies*, 4 (1):17-40, 1974.
- [18] Belver C. Griffith, Henry g. Small, Judith A. stonehill,sandra Dey. The structure of scientific literatures II: Toward a macro- and microstructure for science. *Science Studies*, 4 (4):339-365, 1974.
- [19] *ibid.*
- [20] See note 8 above.
- [21] Eugene Garfield. Introducing the ISI Atlas of Science: Biochemistry and Molecular Biology, 1978/80. *CurrentContents*, 42, 5-13, October 19, 1981 [reprinted in Eugene Garfield, *Essays of an Information Scientist*, Vol. 5, 1981-1982, Philadelphia: Institute for Scientific Information, 1983,279-287]
- [22] ISI Atlas of Science: Biochemistry and Molecular Biology,1978/80, Philadelphia: Institute for Scientific Information,1981.
- [23] ISI Atlas of Science: Biotechnology and Molecular Genetics, 1981/82, Philadelphia: Institute for Scientific Information, 1984.
- [24] Eugene Garfield. Launching the ISI Atlas of Science: for the new year, a new generation of reviews. *Current Contents*, 1: 3-8, January 5, 1987. [reprinted in Eugene Garfield, *Essays of an Information Scientist*, vol. 10,1987, Philadelphia: Institute for Scientific Information,1988, 1-6]
- [25] Henry Small, ED Sweeney. Clustering the Science Citation Index using co-citations. I. A comparison of methods. *Scientometrics*, 7 (3-6): 391-409, 1985.
- [26] Henry Small, ED Sweeney, Edward Greenlee. Clustering the Science Citation Index using co-citations. II. Mapping science. *Scientometrics*, 8 (5-6): 321-340, 1985.
- [27] Henry Small, Eugene Garfi eld. The geography of science: disciplinary and national mappings. *Journal of Information Science*, 11 (4): 147-159, 1985.
- [28] Eugene Garfield, Alexander I. Pudovkin, Vladimir S.Istomin. Why do we need algorithmic historiography?. *Journalof the American Society for Information Science and Technology*, 54(5): 400-412, 2003.
- [29] Eugene Garfield. Historiographic mapping of knowledge domains literature. *Journal of Information Science*, 30(2):119-145, 2004.
- [30] Henry Small. The synthesis of specialty narratives from co-citation clusters. *Journal of the American Society for Information Science*, 37 (3): 97-110, 1986.

- [31] Henry Small. Macro-level changes in the structure of cocitation clusters: 1983-1989. *Scientometrics*, 26 (1): 5-20, 1993.
- [32] Henry Small. A passage through science: crossing disciplinary boundaries. *Library Trends*, 48 (1): 72-108, 1999.
- [33] Henry Small. Charting pathways through science: exploring Garfield's vision of a unified index to science. In Blaise Cronin and Helen Barsky Atkins, editors, *The Web of Knowledge: A Festschrift in Honor of Eugene Garfield*, Medford, NJ: American Society for Information Science, 2000, 449-473.
- [34] Edward O. Wilson. *Consilience: The Unity of Knowledge*, New York: Alfred A. Knopf, 1998.
- [35] Henry small. A Sci-MAP case study: building a map of AIDs Research. *Scientometrics*, 30 (1): 229-241, 1994.
- [36] Henry Small. Update on science mapping: creating large document spaces. *Scientometrics*, 38 (2): 275-293, 1997.
- [37] Henry Small. Visualizing science by citation mapping. *Journal of the American Society for Information Science*, 50 (9):799-813, 1999.
- [38] George S. Davidson, Bruce Hendrickson, David K.Johnson, Charles E. Meyers, Brian N. Wylie. Knowledge mining with Vxinsight®: discovery through interaction. *Journal of Intelligent Information Systems*, 11 (3): 259-285, 1998.
- [39] Kevin W. Boyack, Brian N. Wylie, George S. Davidson. Domain visualization using Vxinsight for science and technology Management. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 53 (9): 764-774, 2002.
- [40] Katy Börner. *Atlas of Science: Visualizing What We Know*, Cambridge, MA: MIT Press, 2010.

编纂委员会

专家指导委员会：

主 任 侯建国
副 主 任 高鸿钧 周 琪
执行副主任 潘教峰 翟立新 刘细文 王 利
委 员 于 涪 李国杰 方荣祥 李永舫 姚檀栋 翟明国 王 赤 喻树迅
李晋闵 张 凤 张晓林 刘 清 何国威 肖立业 程代展 朱 祯
高彩霞 单保慈 赵 冰 张建玲 刘会贞 田 野 史建波 施 一
张正斌 张 雯 何 畅 张双南 田志喜 石正丽 步文博 姜雪峰
刘安安 朱朝东 王亚韡 马琰铭 宋 成 詹 成 田 播

总体组：

科睿唯安 David Pendlebury 岳卫平 王 琳
何 薇 郭 杨 黄庭颖
中国科学院科技战略咨询研究院 冷伏海 周秋菊 杨 帆

前沿解读组（前沿命名与重点前沿解读分析）：

农业科学、植物学和动物学 袁建霞
生态与环境科学 邢 颖
地球科学 范唯唯 杨 帆
临床医学 李赞梅 李军莲 冀玉静
生物科学 周秋菊
化学与材料科学 张超星
物理学 黄龙光
天文学与天体物理学 韩 淋 王海名 杨 帆
数学 王海名 孙 震
信息科学 王海霞 白如江
经济学、心理学以及其他社会科学 裴瑞敏

英文翻译组：

袁建霞 邢 颖 周秋菊 范唯唯 王海名 杨 帆 李赞梅 李军莲 冀玉静
边文越 张超星 黄龙光 韩 淋 王海霞 孙 震 白如江 裴瑞敏 岳卫平
王 琳 Christopher M. King 何 薇 郭 杨 黄庭颖

数据支持组：

科睿唯安
中国科学院科技战略咨询研究院 王小梅 李国鹏

中国科学院科技战略咨询研究院简介

2015年11月，中国科学院被确定为党中央、国务院、中央军委直属的首批10家第一类高端智库建设试点单位之一，并明确试点的重点任务是建设中国科学院科技战略咨询研究院（以下简称战略咨询院）。2016年1月，战略咨询院开始组建，其定位是中国科学院学部发挥国家科学技术方面最高咨询机构作用的研究和支撑机构，是中国科学院率先建成国家高水平科技智库的重要载体和综合集成平台，并集成中国科学院院内外以及国内外优势力量建设创新研究院。战略咨询院的主要任务是发挥中国科学院集科研院所、学部、教育机构为一体的优势，从科技规律出发研判科技发展的趋势和突破方向，从科技影响的角度研究经济社会发展和国家安全重大问题，聚焦科技发展战略、科技和创新政策、生态文明与可持续发展战略、预测预见分析、战略情报等领域，汇聚国内外优秀人才，建设开放合作的战略与政策国际研究网络，为国家宏观决策提供科学依据和咨询建议。

中国科学院文献情报中心简介

中国科学院文献情报中心是中国科学院直属事业法人单位。该中心立足中国科学院，面向全国，负责全院文献情报服务的组织、管理和协调，全院科技文献资源保障体系建设，公共文献信息服务的建设和管理，为科研人员提供自然科学的高技术领域的科技文献信息资源保障和战略情报研究服务，并开展科学交流与科学文化传播服务。该中心是国际图书馆协会联合会（IFLA）的重要成员，同时也是图书馆电子信息联盟（EIFL）和开放获取知识库联盟（COAR）的重要成员。

科睿唯安简介

科睿唯安是全球领先的专业信息服务提供商。今天，科睿唯安锐意进取，为用户提供值得信赖的信息与卓越的洞见，帮助客户解决复杂难题，洞察先机，加速创新步伐。我们的专业知识和解决方案覆盖创新生命周期的每一个关键环节，从学术研究和科学发现，到知识产权的管理保护，直至实现创新成果的商业化，涵盖学术研究、生命科学与制药、知识产权各个领域。更多信息，请访问 clarivate.com.cn。

中国科学院科技战略咨询研究院

地址：北京市海淀区中关村北一条 15 号

邮编：100190

网址：<http://www.casisd.cn/>

中国科学院文献情报中心

地址：北京市中关村北四环西路 33 号

邮编：100190

网址：<http://www.las.ac.cn/>

科睿唯安 中国办公室

地址：北京市海淀区科学院南路 2 号融科资讯中心 C 座北楼 610 单元

邮编：100190

电话：+86 10 57601200

传真：+86 10 82862008

邮箱：info.china@clarivate.com

网址：<http://clarivate.com.cn/>