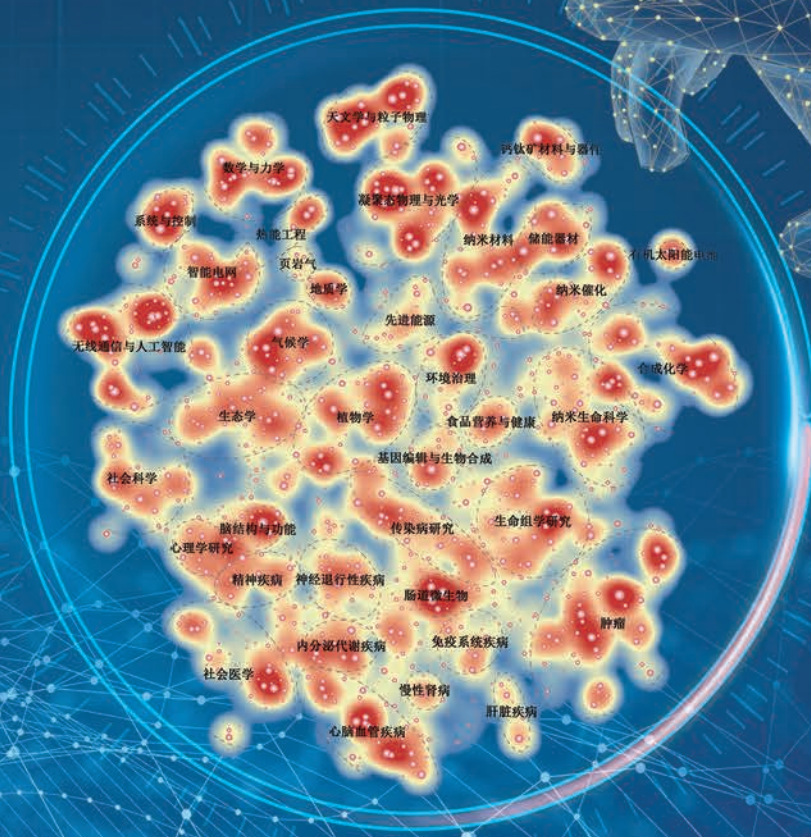


MAPPING SCIENCE STRUCTURE

科学结构图谱

2021

王小梅 李国鹏 陈 挺



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

报告由中国科学院发展规划局“情报研究与平台建设”项目资助

领域群组命名、特征词审核、热点前沿领域演变解读：

天文学与粒子物理：韩淋、王海名

物理学：黄龙光

化学、材料科学：张超星

农业科学、生物科学：袁建霞、徐萍

地球科学：谢秀芳

数学：刘小平

计算机、无线通信：陈挺

工程科学：孙健、孙浩源、吴界辰、陈启梅

医学：杜建

社会科学与商业经济：裴瑞敏

致谢：本报告的研究和撰写得到了中国科学院发展规划局的指导和支持。中国科学院科技战略咨询研究院宋敦江老师帮助设计利用 GIS 软件显示热力图。中国科学院科技战略咨询研究院硕士研究生江布拉提·吾喜洪参与了图表绘制、文字整理工作。中国科学院科技战略咨询研究院王海霞帮助邀请判读人员，冷伏海、朱涛研究员等提出了许多宝贵意见。在此向资助机构、人员及所有参与前几期科学结构图谱判读的专家、提出宝贵意见的专家致以衷心的感谢。

目录

CONTENTS

第一章 引言

第二章 研究方法 with 数据

一、利用深度学习模型基于同被引关系确定研究领域	6
二、科学结构图谱可视化	10
三、科学结构演变轨迹	11
四、研究领域特征词抽取	12
五、研究领域学科交叉性度量	13
六、数据说明	14

第三章 科学结构及其演变

一、科学结构图谱 2012~2017	18
二、基于科学结构图谱观察科学研究的发展趋势	26
(一) 科学结构图谱中研究领域数量持续扩大	28
(二) 科学结构的时序发展	28
三、快速发展的研究领域演变分析	33
(一) 引力波演变分析	33
(二) 量子物理演变分析	35

(三) 先进能源领域演变分析	37
(四) 钙钛矿材料与器件领域演变分析	40
(五) 机器学习演变分析	41
(六) 无线通信演变分析	43
(七) 气候变化领域演变分析	45
(八) 环境治理领域演变分析	48
(九) 基因编辑与治疗领域演变分析	51
(十) 表观遗传调控领域演变分析	52
(十一) 肠道微生物与健康领域演变分析	54
(十二) 肿瘤免疫治疗领域演变分析	57

第四章 研究领域的学科交叉性、新颖性以及对技术创新的影响

一、研究领域的学科交叉性	60
二、新兴热点研究领域	64
三、对技术创新有影响的研究领域	68

第五章 中国及代表性国家科学研究活跃度

一、中国及代表性国家整体科研活跃度时序发展	74
(一) 核心论文份额分析	74
(二) 施引论文份额分析	77
二、基于科学结构图谱观察中国及代表性国家科研活跃度时序发展	79
(一) 中国及代表性国家科研覆盖及份额分布	79
(二) 中国及代表性国家在科学结构图谱中各研究领域的科研活跃度	82
三、中国及科技强国在学科交叉研究领域的活跃度	86
四、中国及科技强国在新兴热点研究领域的活跃度	88
五、中国及科技强国在对技术创新有影响研究领域的活跃度	90

第六章 中国及代表性国家的国际合作

- 一、基于科学结构图谱观察世界国际合作 94
- 二、中国及代表性国家国际合作时序变化 95
- 三、基于科学结构图谱观察中国及代表性国家国际合作的变化 98

第七章 科学结构图谱上的科学资助情况分析

- 一、中国及代表性国家政府资助核心论文在科学结构图谱上的分布 105
- 二、重要国家政府资助机构资助核心论文分析 109

附 录

- 附录 1 中国、美国高科研活跃度研究领域 112
- 附录 2 中国、美国论文份额排名前 10 的学科交叉研究领域 117
- 附录 3 中国、美国论文份额排名前 10 的新兴热点研究领域 119

第一章 引言

科技创新已成为推动经济社会发展的主要力量，新一轮科技革命和产业变革的重大历史机遇期，要求我们始终以全球视野科学研判科技创新发展的趋势，抢占科技发展先机。为揭示科学研究结构及寻找重点研究方向，科学结构发现与可视化分析方法研究组自 2007 年起开展相关研究，每两年绘制一期科学结构图谱，周期性监测科学研究结构及其演变规律，监测科学发展趋势。

科学结构图谱，通过可视化技术，以直观形象的图谱形式展现高度抽象的科学研究宏观结构，揭示了科学热点前沿间的关联关系与发展进程。传统的科学知识体系结构及其演化趋势的研究通常是通过检索和分析相关文献以了解学科发展，追踪同行科学工作者的科研活动来掌握学科趋势，通过专家研讨、评议及专门的规划研究进一步判断可能的突破方向。但随着科技创新进入多学科交叉融汇的阶段，面对海量科技文献，限于固有的专业认知体系，科学研究者有时难以观察到不熟悉但相关的领域，也难以把握它们之间的复杂结构和相互影响，更难以发现隐藏在复杂关系下的致变因素和潜在的发展趋势。因此，文献计量界逐步发展出利用科技信息数据来揭示多维度关系的大问题领域和大时间跨度的科学结构，并将科学结构作为对科学布局、相互作用及演变趋势进行描述和分析的工具。科学结构发现及可视化方法比其他计量方法具有更独特的视角，揭示了科学领域间的内在联系及发展规律。

研究组运用文献计量学和机器学习的理论和方法，利用高被引论文之间同被引关系的聚类分析，超越传统的学科分类，直接体现科学研究者相互引证所表征的知识的相互作用及知识的流动、融汇和演变，帮助科学研究者了解隐藏在大规模的复杂关联的数据下面的科学研究结构及其变化，努力帮助科学研究者把握大问题尺度和交叉融汇机制下的知识结构、新兴领域及其相互关系，逐步

帮助科学研究者揭示演变趋势、预警新兴领域、发掘潜在合作对象、遴选优先领域等，辅助决策者对科学发展的规划。

研究组先后出版了《科学结构地图 2009》《科学结构地图 2012》《科学结构地图 2015》《科学结构图谱 2017》四部著作。鉴于近年来人工智能与深度学习快速发展，本期科学结构使用深度学习算法改进原有的网络聚类及可视化算法，支持更大量的数据分析，聚类结果更加均匀、准确，揭示更为细致的科学结构，并在可视化细节揭示上也有较大改进。

本报告以科睿唯安 (Clarivate Analytics) 公司的基本科学指标数据库 (Essential Science Indicators, ESI) 为信息源，提取了 2012~2017 年 10 223 个研究前沿中包含的高被引论文，通过再次的同被引聚类分析，得到了 1 169 个研究领域 (Research Areas)，形成了全球视野的科学结构图谱，可视化地展现 2012~2017 年的科学研究宏观结构及其内在关系，揭示了国际社会普遍关注的热点研究领域。在此基础上，通过 2008~2013 年、2010~2015 和 2012~2017 年三个时期科学结构图谱的演化变迁轨迹，分析了各个学科研究领域的演变情况。通过引入生物学第三代多样性计量方法，度量了各个研究领域的学科多样性。基于科学结构图谱，分析了新兴热点研究领域以及对技术创新有影响的研究领域。同时，基于科学结构图谱，从国家科学研究的结构上反映了中国及代表性

国家在不同研究领域的活跃程度及其变化趋势，通过国际合著率描述了中国及代表性国家国际合作的总体趋势。通过可视化展现中

国及代表性国家政府科学基金在科学结构图谱上的资助分布，对比分析不同国家科学资助或同一国家不同资助机构的资助布局。

本书术语解释

科学结构图谱：或称为科学知识图谱，是一系列描述科学结构的可视化图形，显示了科学知识结构关系与发展进程，反映了科学知识之间的结构、互动、交叉、演化等诸多关系。

高被引论文 (Highly Cited Paper)：ESI 对过去 10 年 SCI 论文被引频次进行统计，将 22 个学科领域中被引频次 Top1% 的论文遴选为高被引论文。

研究前沿 (Research Front, RF)：ESI 以 SCI 近 6 年的高被引论文为基础，利用论文之间的同被引关系聚类产生的一系列论文集合。

研究领域 (Research Area, RA)：在研究前沿基础上的再次聚类得到的一系列高被引论文集合。

同被引 (Co-Cited)：一组论文共同被其他论文引用。

核心论文 (Core Paper)：研究领域中的高被引论文。

施引论文 (Citing Paper)：引用核心论文的论文。

平均年 (Mean Year)：一组论文的出版年的平均值。

国家核心论文份额：该国发表的核心论文数占世界核心论文数的比例。

国家施引论文份额：该国引用核心论文的论文数占世界引用核心论文的论文数的比例。

国际合著率：一国有多国著者的论文数占该国总论文数的比例。

国家论文计数方法：本报告中论文份额统计中国家论文量采用分数计数法，按每篇论文中每个国家或机构的作者占全部作者的比例计数。一篇论文的分数计数之和等于 1；国际合著率统计中国家论文量采用整体计数法，每篇论文的作者中只要有 1 名作者属于这个国家或机构，该国或机构的论文数量加 1。一篇国际合著论文的整数计数之和通常大于 1。



第二章

研究方法 with 数据

“科学结构图谱”的主体分析单元是热点“研究领域”，它通过对高被引论文的同被引关系聚类产生。本期“科学结构图谱”的构建原理与往期一样，首先对高被引论文的同被引关系进行聚类分析，产生若干“研究领域”；其次根据各个研究领域间的关联关系降维计算其相对位置并可视化。本期对聚类和可视化方法进行了改进。

近年来人工智能与深度学习快速发展为自然语言处理、网络分析等提供了新的方法与思路。本期报告使用深度学习算法改进原有的网络聚类及可视化算法，使聚类结果更加均匀、准确，揭示更细致的科学结构；改进算法支持更大量的数据可视化，在可视化

细节揭示效果上也有较大提升。

在构建研究领域的布局后，通过文本分析对研究领域中论文的题目和摘要抽取特征词以标识各个研究领域的内容；结合研究领域热力图，由科技情报研究人员审核以确定研究大类和研究领域群组的名称并在图中标识。

一、利用深度学习模型基于同被引关系确定研究领域

同被引指一组论文共同被其他论文引用，当该组论文同时被引用的次数逐渐增加时，它们之间的内在关联不断加强。同被引关系可以反映在学科分类、发表期刊、作者机构、研究项目等方面看似毫无关联的该组论文可能存在着某种关系。同被引现象是作者自发的引用行为，反映了科学研究内容和科学研究活动的聚合关系，因此，可以超越传统的学科分类限制，反映了科学研究内容的自组织与科学结构。

本报告沿用二层同被引聚类法，但研究领域的聚类使用深度学习模型改进了网络结构特征抽取，并选择了更符合本报告数据特征的聚类算法。第一层的聚类结果——研究前沿取自 ESI 于 2018 年 3 月发布的 2012 年 1 月至 2017 年 12 月的研究前沿，共 10 223 个，其中包含 47 889 篇高被引论文。施引论文集选自 SCI 和 SSCI，论文发表时间范围

为 2012~2017 年。通过同被引聚类，形成 1 169 个研究领域，其中包含 9 854 个研究前沿，46 405 篇高被引论文（核心论文）。

科学论文间的引用反映了科学研究的动态交互。同被引是指一组论文同时被其他论文引用，如图 2-1 所示，论文 A、B、C 同时被论文 1、2、3 引用。如果论文 A、B、C 频繁同被引，可以推测它们拥有相同或相近的研究主题。

使用同被引的方法，计算高被引论文两两之间的同被引关系，并根据同被引关系对高被引论文进行聚类形成若干论文簇，称为“研究前沿”；在此基础上利用同被引关系对上述研究前沿再次聚类，得到的若干论文簇，称为“研究领域”。高被引论文、研究前沿及研究领域之间的关系如图 2-2 所示。

本报告之前的科学结构采用改进的单链接聚类算法对 ESI 研究前沿的同被引关系网

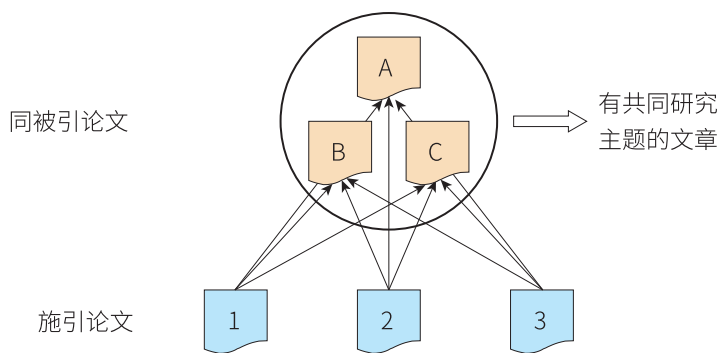


图 2-1 通过同被引分析确定研究领域

A、B、C 为核心论文

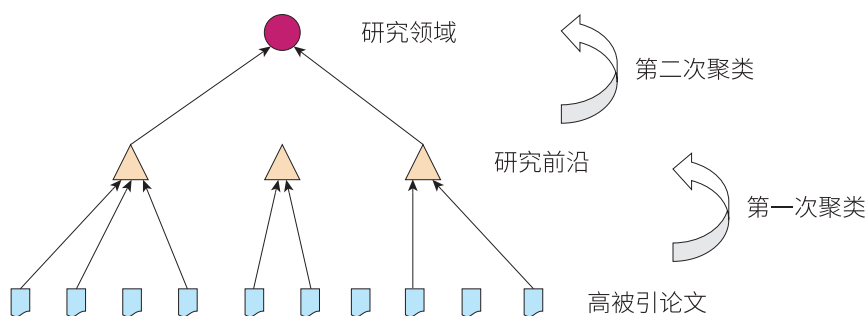


图 2-2 高被引论文、研究前沿、研究领域的关系

络进行聚类形成若干个“研究领域”，属于基于网络社团划分的聚类法。ESI 研究前沿的同被引网络包含了上万节点与上百万的关联关系，具有十分复杂的隐性高维关系，在进行社团划分（聚类）与可视化时都有很高的技术难度和运算代价，因此处理的数据量有一定限制；并且聚类形成的研究领域内包含研究前沿数量分布极不均匀。既有研究领域包含的论文量过多，也有研究领域被切分的过小。原科学结构 2010~2015 含有 1 500 多个聚类，类内包含 6 个研究前沿以上的研究

领域只有 202 个，仅仅涵盖 1/3 左右的研究前沿，分布情况详见图 2-3。包含 6 个以下的研究领域通常在后续分析中不予考虑，这导致近一半的高被引论文在分析结果中无法体现。图 2-3 中，含 100 篇以上论文的研究领域有 49 个，占全部研究领域的 2.5%，包含的论文占总论文的 31%；50 篇以上的研究领域有 136 个，占全部研究领域的 8.6%，包含的论文占总论文的 47%，接近一半；其他 85% 以上的研究领域，论文量小于 35 篇，只包含了 40% 左右的论文。

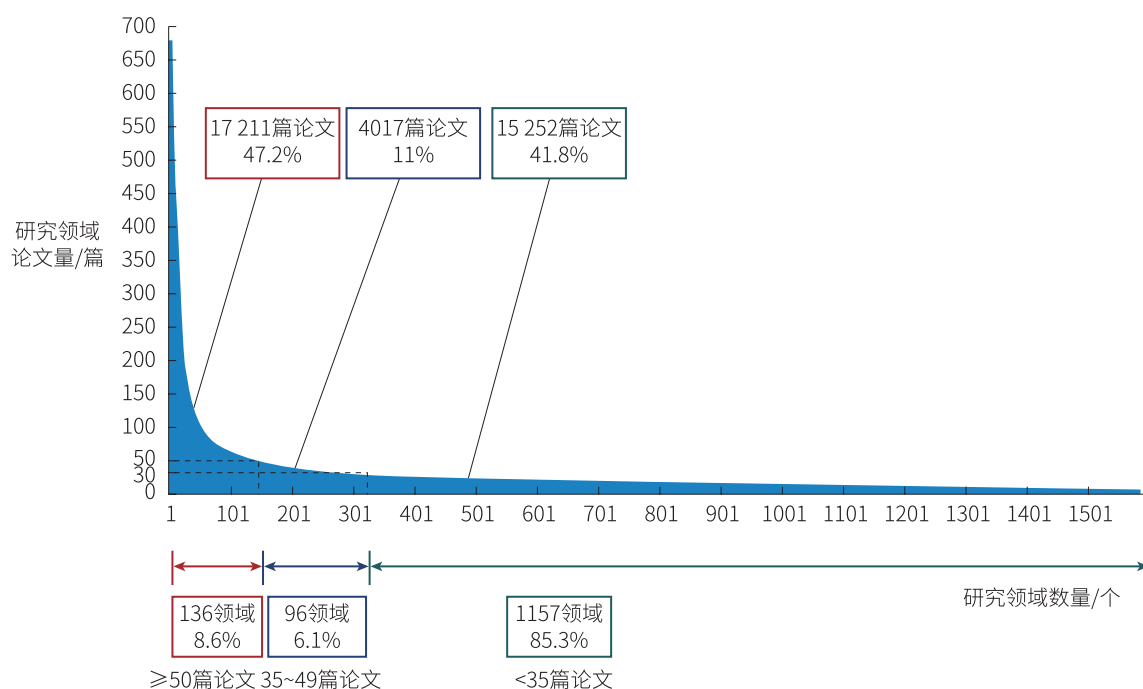


图 2-3 使用改进单链接聚类的科学结构 2010~2015 研究领域分布

本期报告也尝试了科学计量界社团划分聚类的最新研究成果 Leiden 算法对 2010~2015 年研究前沿进行聚类，产生的研究领域分布如图 2-4。聚类簇包含的论文量差异更加明显，最大的一个类中包含 1248 篇论文。含 100 篇以上论文的研究领域有 94 个，包含论文占全部论文的 53.7%；50 篇以上的研究领域有 201 个，包含的论文占总论文的占 70.2%，16.7% 的研究领域包含了 70.2% 的论文。小于 35 篇论文的研究领域占全部研究领域的 77.1%，却仅仅包含了 23.1% 的论文。由此可见，无论是改进单链接聚类还是 Leiden 聚类算法都存在聚类簇包含样本数量

分布不均匀的问题。

为了改善上文提到的聚类问题，进一步提高“研究领域”聚类准确性，本报告不再沿用网络结构聚类方法，而采用基于深度学习的网络嵌入模型^①结合机器学习聚类算法(图 2-5)。首先通过网络嵌入模型发现 ESI 研究前沿的同被引网络中的节点与链接之间的复杂关系，学习每个研究前沿隐含的高维特征，将网络中节点转换成空间特征向量的形式。通过降维分析转换的研究前沿空间特征向量，发现研究前沿在空间中分布很不均匀，存在明显的离群点。鉴于多数聚类算法为硬聚类，离群点会干扰聚类算法的准确性，

^① Grover A, Leskovec J. Node2vec: Scalable feature learning for networks. In Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining 2016 Aug 13 (pp. 855-864).

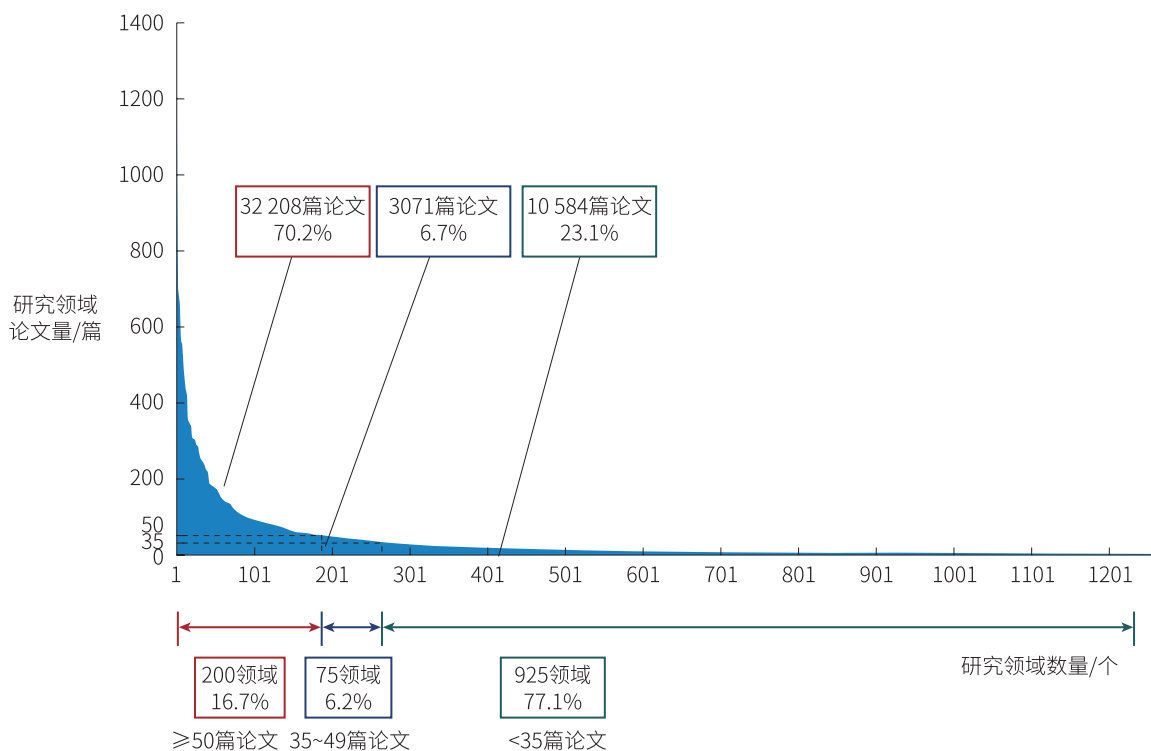


图 2-4 使用 Leiden 聚类的科学结构 2010~2015 研究领域分布

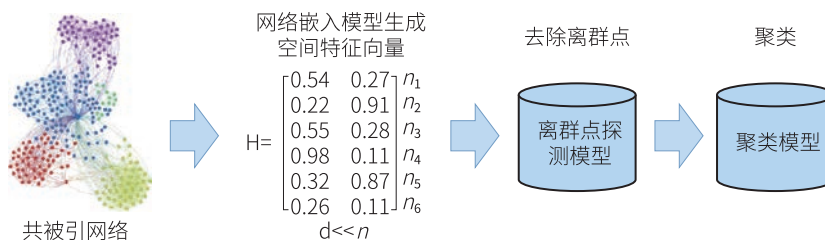


图 2-5 利用深度学习模型划分热点研究领域流程

因此在聚类前，先利用离群点探测模型去掉了 98 个在空间中明显离群的研究前沿，使得聚类之间轮廓更为清晰。最后再通过经典机器学习 Agglomerative (ward 距离) 层次聚类算法划分“研究领域”，Agglomerative 聚类能更好的适应不同密度与尺度分布下的聚

类，一定程度上避免了“硬切分”类的现象，从而达到比往期更好的聚类效果。

图 2-6 为使用了新聚类方法得到的科学结构 2012~2017 的研究领域分布。100 篇以上的研究领域有 75 个，占全部研究领域的 6.4%，包含的论文占总论文的 22.5%；50 篇

以上的研究领域有 331 个，占全部研究领域的 28.3%，包含的论文占总论文的 60%；论文量小于 35 篇有 56.1% 的研究领域，只占了

24% 左右的论文。对比直接使用社团划分聚类，新方法的聚类分布更加均匀与准确，可揭示细致的科学结构。

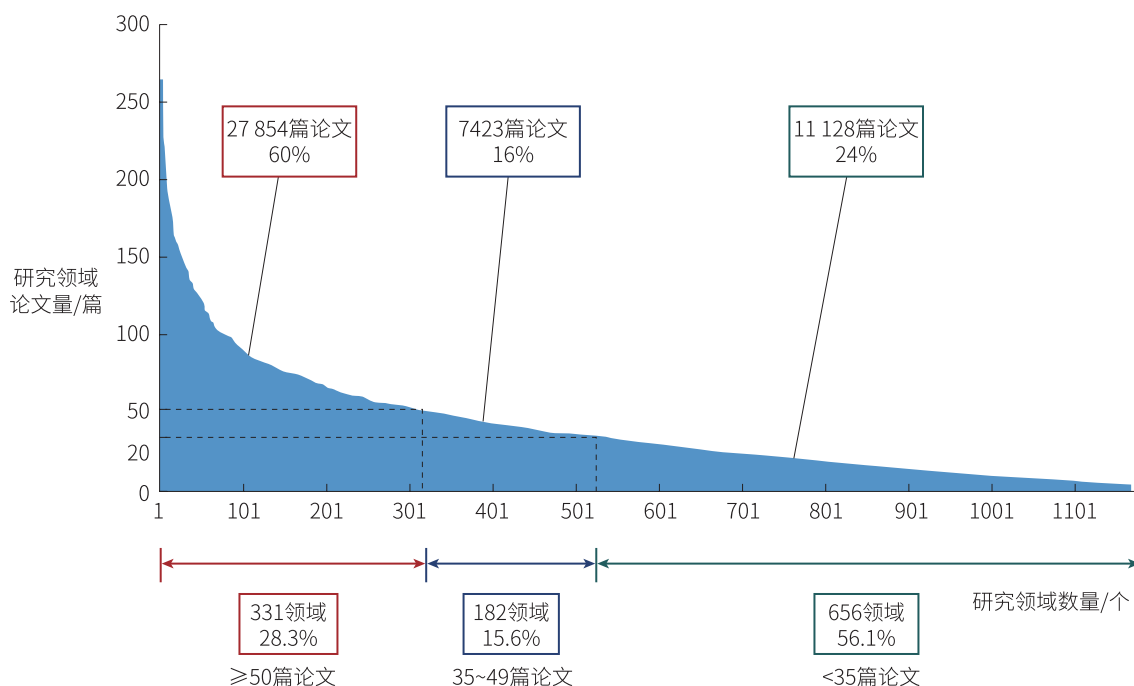


图 2-6 基于深度学习划分研究领域的分布图

二、科学结构图谱可视化

本报告采用热力图来展现科学结构中研究领域的布局，热力图使用了核密度函数表示每个研究领域在二维平面上的密度分布。该图如同一张群岛图，图中蓝色的海洋没有论文分布；岛屿上山峰越高颜色越暖，山峰的高度与论文的相对数量和关联度相关，关联度与科学家对

论文的同被引强度成正比。高密度山峰反映了更多的科学家共同关注该科学问题，即是一个研究热点。

前几期的科学结构图谱采用重力模型算法通过研究领域之间的相互关系确定各个研究领域在二维空间中的布局位置。原有模型

在处理大量数据时布局稳定较差，局部细节揭示能力较弱。本期可视化布局算法采用了高维数据可视化算法中最常用、效果较稳定的流型学习降维算法 t-SNE (t-Distributed Stochastic Neighbor Embedding)。首先将研究前沿的同被引关系网络转换成高维特征向量，然后利用 t-SNE 算法映射到二维平面中，获得各个研究前沿的位置布局（坐标）。其

次，在获得位置布局后，采用核密度表示研究前沿在二维平面上的密度分布。

相比以前的科学结构图谱，本期可视化方法在保证大样本整体布局稳定的情况下，揭示了更多的局部特征，不但不同学科研究领域在图谱中有各自清晰的区域，在学科领域内部子领域也出现了聚集效果，子领域之间呈现出明显的轮廓^①。

三、科学结构演变轨迹

研究领域的演变可以归纳为新增、消失、分化、合并、延续五种模式，但是在知识的演变过程中，分化和融合具有相互转化、相互渗透的辩证统一关系，融合往往意味着另一种形式的分化，再精细的分化也总是伴随着不同学科知识的交叉和融合，由此形成一种演变模式综合交错的演变路径。本报告采用图 2-7 所示的演变轨迹流图展现研究领域演变路径。图中圆圈代表研究领域，从左到右分别表示“科学结构图谱 2008~2013”“科学结构图谱 2010~2015”“科学结构图谱 2012~2017”三个时期。圆圈的面积与所代表研究领域核心论文数成正比。圆圈右方对

该研究领域进行了标识和描述：括号内数字代表研究领域中的核心论文数，后面的数字代表研究领域 ID 号，冒号后面跟着的是研究领域所属的研究大类；分隔符后面是研究领域的特征词。圆圈之间的连线表示研究领域之间有论文重叠，红色连线代表重叠度在 0.2 以上，灰色连线代表在 0.2 以下，线条粗细和重叠度成正比。圆圈的颜色根据中国在各个研究领域的份额确定，蓝色：0%；绿色：(0%,1%)；黄色：[1%,3%)；橙色：[3%,7%)；紫色：[7%,12%)；红色：[12%,100%)。

研究领域的演变关系基于两个时期科学结构共同时间窗内（4 年）的重叠度（重叠

^① Ting Chen, Guopeng Li, Qiping Deng, Xiaomei Wang. "Using Network Embedding to Obtain a Richer and More Stable Network Layout for a Large Scale Bibliometric Network." Journal of Data and Information Science vol.6, no.1, 2021, pp.154-177.

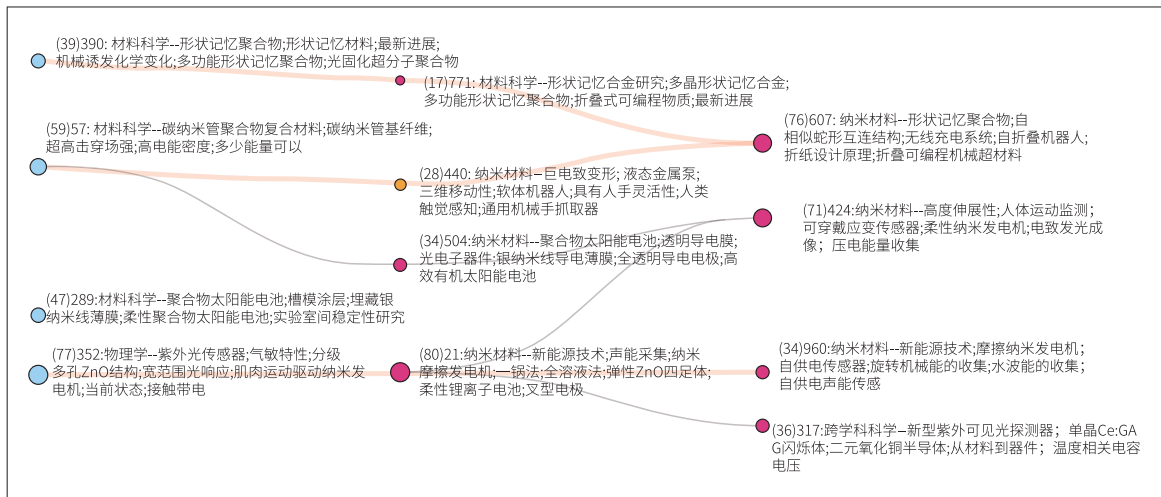


图 2-7 研究领域演变轨迹

论文), 重叠论文越多, 表明研究领域之间的继承关系越强。

如图 2-8 所示, 在公共时间窗口, 前一期科学结构图谱中的研究领域 P 有核心论文 N_P , 后一期科学结构图谱中的研究领域 Q 有核心论文 N_Q , 两个研究领域有共同的核心论文 N_{PQ} , 定义两个研究领域的重叠度为

$$N_{CO} = N_{PQ} / \sqrt{N_P N_Q}$$

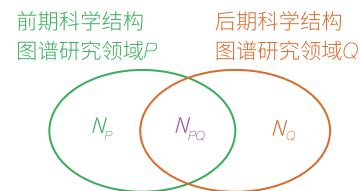


图 2-8 研究领域的重叠

然后根据不同时期研究领域的重叠度对研究领域进行聚类, 聚在一起的研究领域形成若干个演变轨迹流。

四、研究领域特征词抽取

研究领域是由多篇密切相关的高被引论文组成的论文簇。为有效把握科学研究的结构, 需要了解研究领域的内容信息。早期研究领域内容分析采用由具有学科背景的专业

人员参考核心论文列表对研究领域进行命名与解读, 然后由专家进行审核的方法。由于科学结构图谱反映的是全领域的科学结构, 学科广泛, 而且部分研究领域的知识涉及面

广、研究方向多样，因此针对一个或几个相关的研究领域请一位或若干位该领域的专家进行判读效果比较好。但这种方法耗时较长，也容易因为专家对新兴交叉领域的不熟悉而造成命名误差。

为减少科学结构图谱的时滞性，本研究尝试用文本挖掘手段，从研究领域核心论文的题名和摘要中提取特征词辅助专业人员快速理解。为方便控制提取过程，本研究改用合作伙伴北京理工大学知识管理与数据分析实验室的术语抽取工具，主要利用 C-Value 方法进行特征术语的提取。C-Value 方法不需要训练集、语料库等前提条件，是一种独立于领域的、多词语的自动术语抽取方法，

而且在嵌套术语的识别上有较高的精度。流程模型如图 2-9 所示，主要分为四个阶段：①分词和词性标注。②运用语言学规则取得可能术语列表。③计算词语的术语度值，取得候选术语列表；④领域专家评估并确定术语。

本期每个研究领域选择术语度值前 10 的特征词表征研究领域的研究内容。由于新兴交叉领域的专业词汇来源复杂，在新的领域内词汇的含义可能发生变化，因此对特征词的选取及研究领域的命名，历来具有挑战。限于专业知识的局限，目前的研究领域命名可能存在不准确之处。我们将继续完善内容分析的方法与技术手段，更好地支持对研究领域的了解和认识，也欢迎读者提出建议。

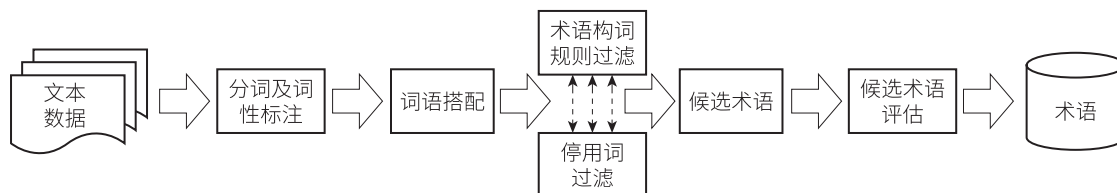


图 2-9 术语抽取流程图

五、研究领域学科交叉性度量

学科间的相互交叉和渗透是当今大科学时代的一大特征。

严格来说，每个研究领域很难完全属于单一学科，普遍具有学科多样性。出于延续性和简单实用性的考虑，本报告保留了《科

学结构地图 2009》中对研究领域所属学科的判定规则，即只要有一个学科的核心论文比例大于 60%，该研究领域就属于该学科，否则，属于交叉学科。在此基础上，受生态学中第三代测度生物多样化的伦斯特和科博尔德

(Leinster-Cobbold) 指标^①启发, 本研究引入了第三代学科多样性^{2D^S}指标^②, 测度每个研究领域的学科交叉程度。

Leinster-Cobbold 指标公式如下:

$${}^qD^S = \left(\sum_{i=1}^N P_i \left(\sum_{j=1}^N S_{ij} P_j \right)^{q-1} \right)^{\frac{1}{1-q}}$$

本研究参考^{2D^S}指标, 选择 $q=2$, 计算每个研究领域的学科交叉性。

$${}^2D^S = \left(\sum_{i=1}^N P_i \left(\sum_{j=1}^N S_{ij} P_j \right) \right)^{-1} = \frac{1}{\sum_{i,j=1}^n S_{ij} P_i P_j}$$

首先计算每篇论文的学科交叉性。其中, P_i 是学科类别 i 的占比, 通过论文的参考文献计算, i 为参考文献中第 i 个学科, n 为参考文献中总的学科数。 $S = (S_{ij})$ 是所有学科领域(基于ESI 22个学科)间的同被引关系相似性矩阵。其次, 平均研究领域所有论文的学科交叉性, 即为研究领域的学科交叉性。

学科领域相似度矩阵由于利用全库数据, 变化不大, 采用上一期的计算结果。

六、数据说明

科学结构指研究领域的构成及研究领域间的关系, 反映了科学研究的整体结构; 科学结构图谱是一系列描述科学结构的可视化图, 直观地反映了世界科学研究领域的关联关系以及演化进程。科学结构图谱使用的高被引论文和研究前沿取自科睿唯安公司的ESI数据库, 其时间跨度是6年。引用核心高被引论文的施引论文集合选自SCI和SSCI。本期研究前沿选取2018年3月公布的2012年1月至2017年12月的数据。

表2-1显示了六期科学结构图谱中高被引论文、ESI研究前沿、研究领域的数量及覆盖时间。连续两期科学结构图谱的核心论文时间间隔为2年, 重叠4年。需要说明的是, 虽然两个时期科学结构图谱的时间窗有重叠部分, 但由于ESI数据库中不同时期高被引论文遴选阈值的不同, 两个时期科学结构图谱在重叠窗口内的高被引论文不完全相同。

前五期科学结构使用原有方法, 研究领域选择二次聚类后包含至少6个研究前沿的

① Leinster T., Cobbold C.A. 2012. Measuring diversity: The importance of species similarity. *Ecology*, 93(3), 477-489.

② Zhang L., Rousseau R., & Glänzel, W. 2016. Diversity of references as an indicator of the interdisciplinarity of journals: Taking similarity between subject fields into account. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 67(5):1257~1265.

表 2-1 六期科学结构图谱使用数据说明

科学结构图谱时间范围		2002~ 2007 年	2004~ 2009 年	2006~ 2011 年	2008~ 2013 年	2010~ 2015 年	2012~ 2017 年
高被引 论文层	高被引论文数 / 篇	53 892	56 840	66 033	74 903	82 478	90 012
研究 前沿层	选取时间	2008 年 7 月	2010 年 7 月	2012 年 7 月	2014 年 7 月	2016 年 3 月	2018 年 3 月
	研究前沿数 / 个	6 094	8 529	7 418	9 150	9 546	10 223
	高被引论文数 / 篇	38 117	40 203	44 934	43 354	45 657	47 889
研究领 域层 (改进 方法)	研究领域数 / 个				970	1 084	1 169
	研究前沿数 / 个				8 656	9 237	9 854
	高被引论文数 / 篇				41 568	44 495	46 405
	施引论文数 / 篇				1 462 802	1 775 524	2 187 230
研究领 域层 (原方 法)	研究领域数 / 个	121	132	149	212	232	
	研究前沿数 / 个	2 300	2 094	2 402	3 250	3 464	
	高被引论文数 / 篇	18 203	16 397	19 259	18 498	19 850	
	施引论文数 / 篇	459 492	519 104	572 506	695 363	827 019	

簇，仅包含三分之一左右的研究前沿和不到 2 万篇高被引论文。改进方法的研究领域聚类，除了个别孤立点外，基本上包含了全部的研究前沿及研究前沿中含有的论文。除本期外，我们用新方法回溯计算了两期科学结构，数量如表 2-1 所示。2010~2015 年高被引论文和研究前沿数据即对应著作《科学结构图谱

2017》中的数据。

图 2-10 显示了科学结构 2012~2017 的 10 223 个研究前沿在 ESI 的 22 个学科中的分布情况，其中与“生命科学”相关的包括生物与生物化学、临床医学、免疫学、微生物学、分子生物学与遗传学、神经科学与行为科学、精神病学与心理学、药理学与毒物学、

植物学与动物学在内的 9 个学科共有 5041 个研究前沿，占 49.3%。这反映了 SCI 数据库的学科结构不够平衡，来源期刊中生物医学类占较大比例。

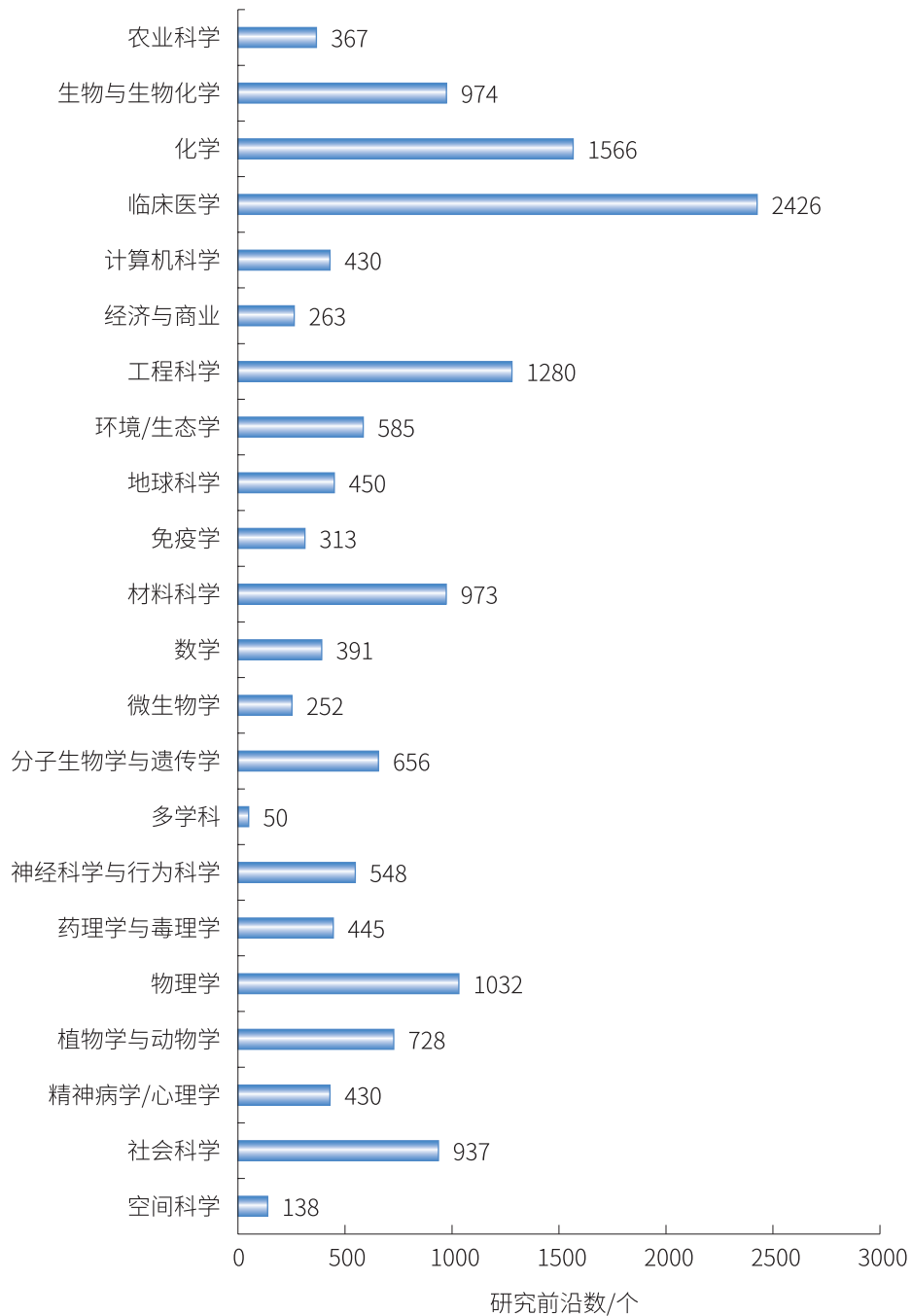


图 2-10 ESI 22 个学科的研究前沿数

第三章

科学结构及其演变

本章基于科学结构图谱进行科学结构及其演变分析。研究领域的构成及研究领域间的关系反映了科学研究的整体结构，即科学结构，科学结构图谱是一系列描述科学结构的可视化图，直观地反映了世界科学研究领域的结构、之间的关联关系以及演变进程。

一、科学结构图谱 2012~2017

本研究通过对 ESI 高被引论文的同被引聚类进行分析, 算法修改后, 本期科学结构 2012~2017 研究领域数目为 1 169 个, 包含了研究前沿中 96% 的论文, 比前期研究大幅增加 (前期的算法选取了 200 多个研究领域, 包含近一半的研究前沿论文)。其中, 最大的研究领域包含 264 篇论文 (前期最大的研究领域包含 678 篇论文), 最小的研究领域包含 4 篇论文。

我们利用降维算法将各研究领域间的同被引关系转化的高维向量映射在二维空间中, 形成研究领域之间的布局, 生成科学结构图 (图 3-1), 直观地反映了当前的科学结构及科学研究活动情况。图中每一个圆代表一个研究领域, 由一组论文组成, 圆的大小与研究领域包含的核心论文数量成正比 (以下同)。各个圆之间的相对位置也反映出它们之间的关联程度, 距离越近, 关联程度越高。图中的颜色对应于核心论文的数量。核心论文数量集中的部分颜色较暖 (红), 研究较热, 并且随着核心论文数量的降低, 颜色逐渐变冷 (蓝)。

图 3-1 绘制了科学结构图, 图中虚线圈标识出了大类。

本研究使用了高被引论文, 由聚类生成的研究领域反映了国际社会普遍关注的热点

研究领域。科学结构的方法利用了论文间的引用关系, 突破了传统的分类体系, 体现了科学家科研活动的自组织聚合, 对交叉领域的发现具有优势。我们通过研究发现, 科学结构的分析方法, 聚在一起的论文通常是研究解决某一科学问题的, 这些研究问题可能会涉及多学科的知识, 存在多学科交叉的现象; 若干个研究领域会形成一片高密度区域, 是因为他们研究解决共同的科学问题或使用有关联的研究手段和方法而聚到一起的。

由于当前科学交叉融汇的程度越来越高, 学科知识之间的界限越来越模糊, 因此研究领域的学科分类成为一个难题。前期的科学结构采用人工判读方式将研究领域进行了大类的划分, 主体分成“物理学”“纳米科技”“合成与应用化学”“地球科学”“生物学”“医学”六个学科领域, 以及其他少量归入“数学”“工程科学”“计算机科学”“经济学”“社会科学”和“农业科学”。算法修改后, 选入科学结构图中的论文增加了近一倍, 结构更为细致。通过分析发现, 当前学科交叉范围更加广泛, 比如某些具体科学问题, 既有生物学也有医学等的相关研究人员进行研究, 难以截然分开, 按原来的学科分类不够准确, 并且科学结构的方法恰恰是有利于发现科学研究的交叉融汇。因此, 本研究不

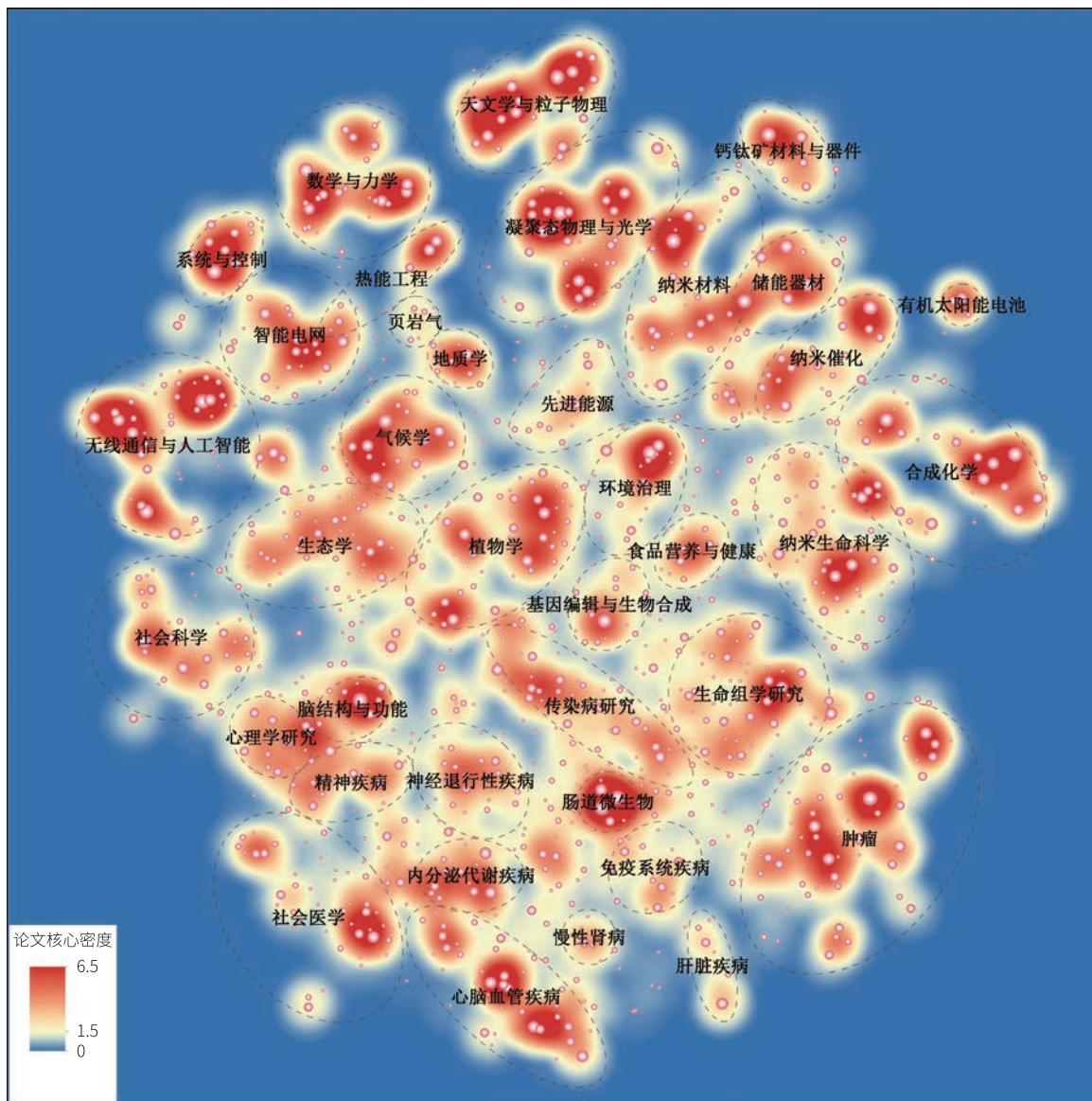


图 3-1 科学结构 2012~2017

注 1. 每一个圆圈代表一个研究领域，圆的大小与研究领域包含的核心论文数量成正比

注 2. 研究领域的坐标位置由深度学习模型确定，各个研究领域之间的相对位置反映出它们之间的关联程度，距离越近，关联程度越高。图中上下左右的方位没有实际含义

注 3. 图中论文量越大，密度越大、颜色越暖；反之，论文量越小，密度越小、颜色越冷。图中圈出了一些研究领域大类区域，标识主体研究内容是为了掌握科学结构的研究内容

注 4. 研究前沿数据由科睿唯安公司提供

以传统的学科分类为主，而是尽量从共同研究解决的科学问题的角度进行归类，按照可视化图中的密度区域划分出研究领域群，即按照研究领域之间的相似性或其共享的概念来划分群组。只有当研究范围很大，无法聚焦到比较具体的研究问题时，我们从研究对象角度进行归类，如使用学科或子学科等对该区域进行命名。同时，由于科学结构中研究领域在传统的学科分类上的论文数量不均衡，不同学科相关的研究领域分类的层级不尽相同。比如，天文学、数学等的研究领域相对较少并且聚焦在一起；医学由于 SCI 数据库中相关论文量较大，医学的研究领域数量相应的也较多，因此医学的群组分类比较具体。

总体上同一学科的研究论文在科学结构图中具有一定的集聚性。研究领域间的相对位置基本固定，图的上下左右的方位没有实际含义，因此整个图可以旋转、翻转。为保持科学结构图谱与前期研究的连贯性，我们将科学结构图谱 2012~2017 中的学科布局总体上与前期研究保持一致。位于图的顶部是“粒子物理与天文学”，物理学位于“粒子物理与天文学”的右下方，包括了“量子物理”“自旋电子学”“非线性光学”及“半导体物理”，其中“二维材料”也属于“纳米科技”；接下来以化学和材料科学为主，大部分属于“纳米科技”，包括“锂硫电池”“石墨烯”“纳米电催化”“纳米光催化”“纳米催化”“纳米生物医药”等，化学部分还有“有

机合成方法学”“有机材料合成”“金属有机框架”等；数学、计算机科学、工程科学位于图的左上部；工程科学覆盖范围较大，与“地球科学”“化学”等都有交叉；接下来是地球科学，包括了“地质学”“气候变化”“生态系统”“生物多样性”“生态系统进化”等群组；植物与动物学、生物学位于图的中心位置，主体包括“植物基因调控”“微生物群落”“基因编辑”“蛋白质结构”“表观遗传学”“食品营养与健康”等，医学位于生物学的下方，也是整个图的下方，包括“肿瘤”“心血管疾病”“神经与精神疾病”“内分泌疾病”“肠道微生物”“传染病研究”等；左下为社会科学及经济与商业，左下角为社会科学及医学结合而成的“社会医学”大类。

图 3-2 显示了科学结构图中每个大类中包含的群组图。更为详细，由于空间所限，图中部分群组使用简称进行标识，全称及群组分类见表 3-1。

需要说明的是：对于研究群组的命名，本报告提取该区域中各个研究领域的主要研究方向或主要研究问题进行标识，以反映当前科学研究主要关注的科研问题，会存在少部分的研究方向没有被反映的现象。并且由于角度不同，不同人员的命名有可能不同，命名是为了方便科学结构图谱的读取。如需了解更为细致的科学结构，可以深入到研究前沿甚至到论文层面进行更为细致的分析，本报告从较为宏观的角度来分析全科学领域或世界各国在全科学领域的科研表现。

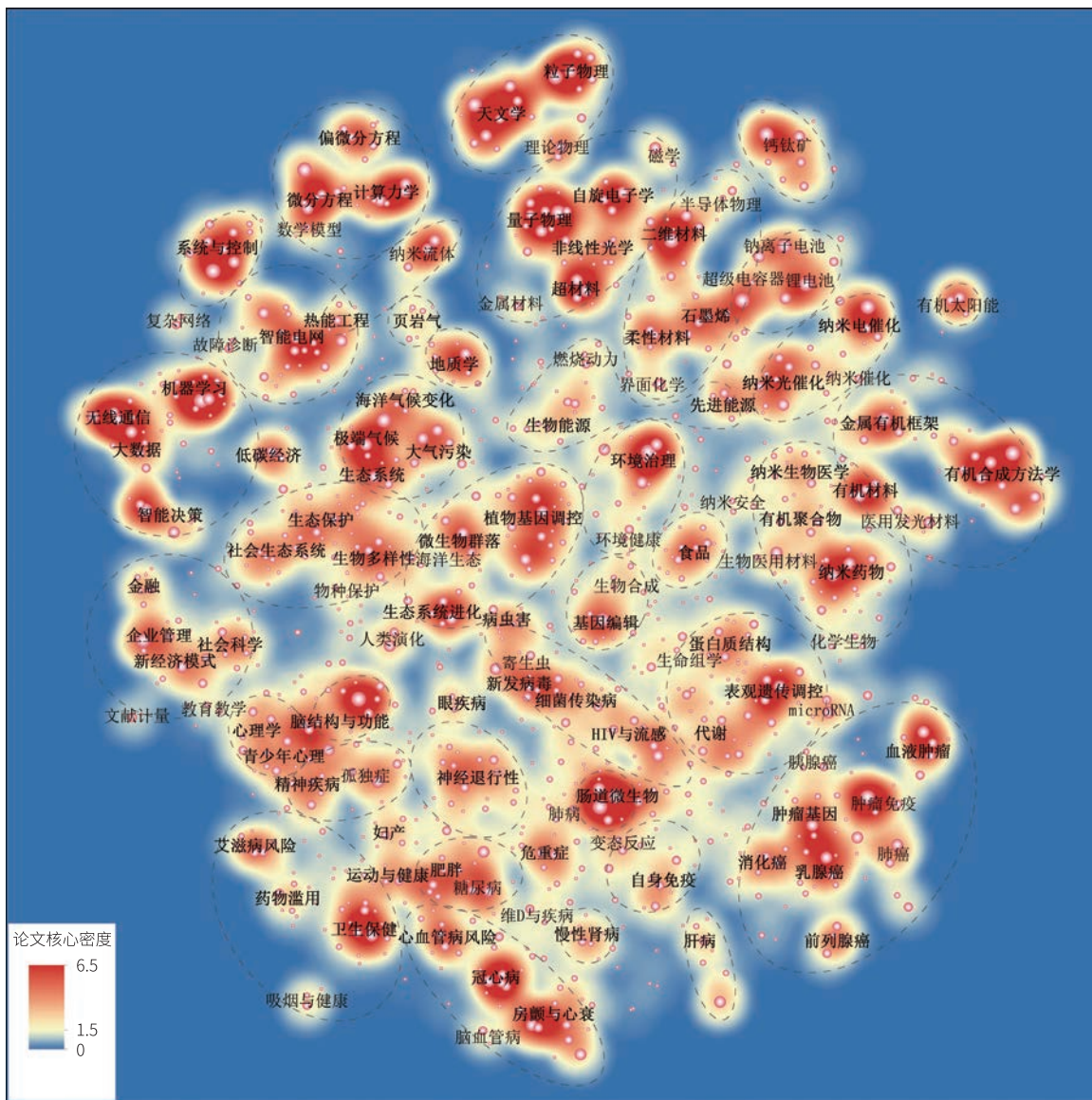


图 3-2 科学结构 2012~2017 群组图

表 3-1 研究领域的群组信息

大类	群组名称	群组简称	含研究领域数量
天文学与粒子物理	天文学	天文学	9
天文学与粒子物理	粒子物理	粒子物理	5
天文学与粒子物理	理论物理	理论物理	3
凝聚态物理与光学	量子物理	量子物理	10
凝聚态物理与光学	非线性光学	非线性光学	8
凝聚态物理与光学	自旋电子学	自旋电子学	5

续表

大类	群组名称	群组简称	含研究领域数量
凝聚态物理与光学	超材料	超材料	5
凝聚态物理与光学	半导体物理	半导体物理	2
纳米材料	二维材料和器件	二维材料	8
纳米材料	石墨烯	石墨烯	5
纳米材料	柔性材料与器件	柔性材料	4
纳米材料	界面化学	界面化学	3
储能材料与器件	锂电池	锂电池	3
储能材料与器件	超级电容器	超级电容器	3
储能材料与器件	钠离子电池	钠离子电池	1
纳米催化	纳米光催化	纳米光催化	9
纳米催化	纳米电催化	纳米电催化	5
纳米催化	纳米催化	纳米催化	3
钙钛矿材料与器件	钙钛矿材料与器件	钙钛矿	3
有机太阳能电池	有机太阳能电池	有机太阳能	3
纳米生命科学	纳米药物	纳米药物	11
纳米生命科学	纳米生物医学	纳米生物医学	6
纳米生命科学	生物材料与组织工程	生物医用材料	3
纳米生命科学	医用发光材料	医用材料	3
纳米生命科学	纳米安全	纳米安全	2
纳米生命科学	有机聚合物材料	有机聚合物	4
纳米生命科学 / 合成化学	有机材料合成	有机材料	6
合成化学	有机合成方法学	有机合成方法	12
合成化学	金属有机框架	金属有机框架	4
数学与力学	偏微分方程	偏微分方程	9
数学与力学	计算力学	计算力学	6
数学与力学	微分方程	微分方程	4
数学与力学	数学模型	数学模型	3
系统与控制	系统与控制	系统与控制	11
智能电网	智能电网	智能电网	6
智能电网	智能电网能量管理和运行控制	智能电网	6

续表

大类	群组名称	群组简称	含研究领域数量
无线通信与人工智能	机器学习	机器学习	14
无线通信与人工智能	无线通信	无线通信	8
无线通信与人工智能	智能决策及应用	智能决策	6
无线通信与人工智能	大数据与云计算	大数据	5
先进能源	生物能源	生物能源	11
先进能源	先进能源	先进能源	4
先进能源	燃烧动力	燃烧动力	1
页岩气	页岩气	页岩气	4
热能工程	热能工程	热能工程	4
热能工程	纳米流体	纳米流体	3
地质学	地质学	地质学	9
气候学	大气污染	大气污染	5
气候学	海洋气候变化	海洋气候变化	4
气候学	极端气候	极端气候	4
环境生态学	生态环境保护	生态保护	13
环境生态学	社会生态系统	社会生态系统	11
环境生态学	生物多样性	生物多样性	6
环境生态学	生态系统过程及功能	生态系统	5
环境生态学	海洋生态系统	海洋生态	4
环境生态学	物种保护	物种保护	3
低碳经济	低碳经济	低碳经济	4
环境治理	环境治理	环境治理	11
环境治理	环境污染物危害评价	环境污染物	3
植物学	植物基因调控	植物基因调控	12
植物学	作物基因调控	作物基因调控	10
植物学	生态系统进化	生态系统进化	7
植物学	微生物群落	微生物群落	4
动植物学	动植物病虫害防治	病虫害	6
基因编辑与基因合成	基因编辑与治疗	基因编辑	8
基因编辑与基因合成	生物合成	生物合成	3

续表

大类	群组名称	群组简称	含研究领域数量
食品营养与健康 (农业科学)	食品营养与健康	食品	13
生命组学及相关研究	代谢与代谢性疾病	代谢	13
生命组学及相关研究	蛋白质结构	蛋白质结构	10
生命组学及相关研究	表观遗传调控 (以非编码 RNA 为主)	表观遗传调控	8
生命组学及相关研究	microRNA 生物标志物	microRNA	3
生命组学及相关研究	生命组学研究	生命组学	2
传染病研究	细菌传染病	细菌传染	11
传染病研究	新发病毒传染病	新发病毒	6
传染病研究	HIV 与流感	HIV 与流感	5
传染病研究	寄生虫传染病	寄生虫	3
肠道微生物	肠道微生物与健康	肠道微生物	8
免疫系统疾病	自身免疫性疾病	自身免疫性疾病	7
免疫系统疾病	变态反应性疾病	变态反应	3
心理学研究	心理学研究	心理学	4
心理学研究	青少年心理健康	青少年心理	5
脑结构与功能	脑结构与功能	脑结构与功能	16
神经退行性疾病	神经退行性疾病	神经退行性疾病	18
精神疾病	精神疾病	精神疾病	6
精神疾病	孤独症	孤独症	3
内分泌与代谢病	肥胖与疾病	肥胖	7
内分泌与代谢病	糖尿病	糖尿病	3
肿瘤	乳腺癌	乳腺癌	7
肿瘤	血液肿瘤	血液肿瘤	6
肿瘤	消化系统癌症	消化系统癌症	6
肿瘤	肿瘤基因突变与靶向治疗	肿瘤基因	5
肿瘤	胰腺癌	胰腺癌	3
肿瘤	前列腺癌	前列腺癌	4
肿瘤	肺癌	肺癌	2
肿瘤	肿瘤免疫治疗	肿瘤免疫	3
心脑血管疾病	房颤与心衰	房颤与心衰	9

续表

大类	群组名称	群组简称	含研究领域数量
心脑血管疾病	冠状动脉疾病	冠心病	8
心脑血管疾病	心血管病风险因素	心血管病	7
心脑血管疾病	脑血管病	脑血管病	3
社会医学	卫生保健服务	卫生保健服务	15
社会医学	运动与健康	运动与健康	4
社会医学	药物滥用	药物滥用	5
社会医学	高危行为与艾滋病	艾滋病	5
社会医学	吸烟与健康	吸烟与健康	2
肝脏疾病	肝脏疾病	肝脏疾病	5
肝脏疾病	传染性肝炎	传染性肝炎	2
其他疾病	呼吸与危重症疾病	危重症	7
其他疾病	慢性肾病	慢性肾病	5
其他疾病	妇产科学与儿童护理学	妇产医学	5
其他疾病	眼疾病	眼疾病	5
其他疾病	维生素 D 与疾病	维 D 与疾病	2
其他疾病	肺部疾病	肺部疾病	2
其他疾病	老年健康	老年健康	2
社会科学	社会科学研究方法	社会科学	10
社会科学	金融	金融	6
社会科学	企业管理	企业管理	4
社会科学	新经济模式	新经济模式	4
社会科学	教育教学	教育教学	3
社会科学	文献计量与期刊研究	文献计量	2
社会科学	人类演化研究	人类演化	2
其他	复杂网络	复杂网络	2
其他	故障诊断	故障诊断	2
其他	化学生物的药物研究	化学生物	2

注：表中统计了归入群组的研究领域，有一些未进入高密度区域的研究领域未计入。

作为改进算法的第一次尝试，以可视化图的等高线密度区分出研究领域群组，并通过人工判读，对大部分研究领域群组进行了命名。研究领域的位置表征了与周围其他研究领域之间的关联程度，由于部分研究领域与其他研究领域的关联关系较弱，未包括在科学结构图谱中的研究领域群组中，即某个研究领域是否进入研究领域群组取决于是否

存在与该研究领域群组中其他研究领域有共享概念。因此，未纳入研究领域组的研究领域并不是不重要，也许是新热点研究领域或学科交叉研究领域。为了解研究领域的内容，本期对 1 169 个研究领域提取了特征词，以表征各个研究领域的研究内容。有关每个研究领域的前 10 个特征词，请参阅网站 <http://sciencemap.casisd.cn/>。

二、基于科学结构图谱观察科学研究的发展趋势

1. 从科学结构看科学发展特点

科学研究结构的布局总体上保持稳定。科学研究领域数量持续扩大，科学研究前沿不断延伸，新兴研究领域不断涌现，学科交叉融合的现象越来越明显。科学结构中有 40% 的研究领域属于交叉学科领域。具有高融汇程度的研究领域从 2008~2013 年的 970 个扩大到 2010~2015 年的 1 084 个、2012~2017 年的 1 169 个；SCI 高被引论文量的每期平均增长率达到 10%。研究领域中包含的高被引论文量每期平均增长率为 5%，其施引论文量每期平均增长率达到 21%。随着研究领域规模的扩大，每个学科的研究范围也扩大，出现了一些新研究热点，主要在环境 / 生态学、数学、计算机科学、分子生物学、神经科学、工程科学等学科的研究领域增加显著。

从两期科学结构图谱来看，人类可持续发展的重大问题是全球热点研究前沿的焦点，很多研究和能源、环境、人类健康、资源利用等可持续发展相关，出现了“先进能源”“环境治理”“纳米生命科学”“海洋资源”等，以及与能源、环境、生命健康等息息相关的新材料、新器件等热点研究前沿，正成为推动科技创新的强大驱动力。

目标导向的基础研究与应用研发结合更加紧密，应用性牵引趋势明显，传统意义上的基础研究、应用研究的边界日趋模糊。科学研究与工程结合逐渐向应用转化的研究问题越

来越广，诸如从催化到氢能、页岩气、热能等新能源的研究；环境与健康结合形成了“环境治理”群组；柔性材料到可穿戴设备；3D、4D 打印技术、智能电网、智慧城市的快速发展；基础医学研究更多地与临床研究结合解决人类的健康问题等。

2. 科学结构各领域整体态势

基础科学领域，“粒子物理”“天文学”“量子物理”“有机合成方法”“气候变化”“物种保护”“基因编辑”“表观遗传调控”是持续的研究热点。在宏观方面，取得了引力波探测等重大突破性进展；在微观方面，生命科学向精确化、可调控方向发展，“基因编辑”“表观遗传调控”“脑结构与功能”领域的快速发展，不断催生新的学科生长点。

信息技术领域中高密度的研究热点是“机器学习”“无线通信”“系统与控制”等，人工智能、大数据、云计算、移动互联网等快速发展，机器学习从图像处理转向深度学习领域；随着 5G 通信技术、物联网的发展，通信研究聚焦于蜂窝网络、LTE 高级网络、大数据、毫米波通信、智能电网等的研究。

新材料领域，“二维材料与器件”“超材料”“钙钛矿材料与器件”高度活跃，以及“柔性材料与器件”、与纳米生命科学相关的“有机聚合物材料”等的发展，带动材料领域正在向个性化、绿色化方向发展。

新能源技术体现了绿色、智能的多元发展。除了持续的“生物能源”研究外，新出现了“先进能源”“页岩气”等聚集群，包括氢能、燃料电池等先进能源。同时“有机太阳能电池”“染料敏太阳能电池”等的活跃度有所降低。

生命科学领域，前沿热点较多，包括“肠道微生物”“脑结构与功能”“纳米药物”“表观遗传调控”“癌症治疗”“心血管疾病”“肿瘤免疫治疗”“新发病毒传染病”“药物滥用”“卫生保健”等方面的研究。生物技术研究加速走向临床应用，对基因的编辑、调控等技术快速应用于癌症等的临床研究。

3. 科学结构中新的聚焦热点

从两期的科学结构图上，出现了一些新的聚焦，比如：与天文学与粒子物理相关的“理论物理”，从催化基础研究逐步发展到应用研究的“先进能源”，与纳米生命科学相关的“有机聚合物材料”，与机器学习相关的“深度学习”，气候变化研究中出现了更多和“极端气候变化”相关的研究，以及“页岩气”“化学生物的药物研究”“物种保护”“肿瘤免疫治疗”“肿瘤基因突变与靶向治疗”“新发病毒传染病”“药物滥用”“文献计量与期刊研究”等新兴研究热点。

（一）科学结构图谱中研究领域数量持续扩大

本研究通过每隔两年绘制科学结构图谱分析科学结构的发展情况。因为本期科学结

构是第一次修改算法，为了做进一步的演变分析，我们使用新算法回溯做了前两期的科学结构，三期科学结构图谱相关数据量见表 3-2。

表 3-2 三个时期科学结构相关数据量统计

时间范围		2008~2013 年	2010~2015 年	2012~2017 年
高被引论文层	高被引论文数 / 篇	74 903	82 478	90 012
研究前沿层	研究前沿数 / 个	9 150	9 546	10 223
	高被引论文数 / 篇	43 354	45 657	47 889
	施引论文数 / 篇	1 499 001	1 801 996	2 187 230
研究领域层	研究领域数 / 个	970	1 084	1 169
	研究前沿数 / 个	8 656	9 237	9 854
	高被引论文数 / 篇	41 568	44 495	46 405
	施引论文数 / 篇	1 462 802	1 775 524	2 142 849

研究前沿和研究领域数三个时期逐步增加，研究领域数量从 970 个扩大到 1 084 个、1 169 个，研究前沿数量从 9 150 个增长到 10 223 个。随着世界上论文数量的增加，每个时期的 Top1% 高被引论文数量也在增加。SCI 高被引论文量的平均每期增长率接近 10%；科学结构聚类产生的研究领域平均每期增长率接近 10%，研究领域中包含的高被引论文量平均每期增长率为 6%，其施引论文量的平均每期增长率达到 21%。

图 3-3 显示了三期研究领域的核心论文数量分布，圆柱中的数字为某一论文量范围内的研究领域的个数。可以看出，大部分研

究领域的核心论文量少于 100 篇，大于 200 篇论文的研究领域每期刊 4~5 个。三期研究领域论文数量分布基本一致，小于 20 篇的研究领域数量和占比呈增长趋势。从演变分析来说，新兴研究领域的平均论文量为 10.3 篇，新兴的研究领域规模较小，数量越来越多；持续发展的研究领域的平均论文量为 42.4 篇。

（二）科学结构的时序发展

本研究通过每隔两年绘制的科学结构图谱分析科学结构的发展情况。图 3-4 采用热力图的方式展现 2010~2015、2012~2017 年两个时期科学结构群组图。

两个时期的热力图显示，科学结构的总

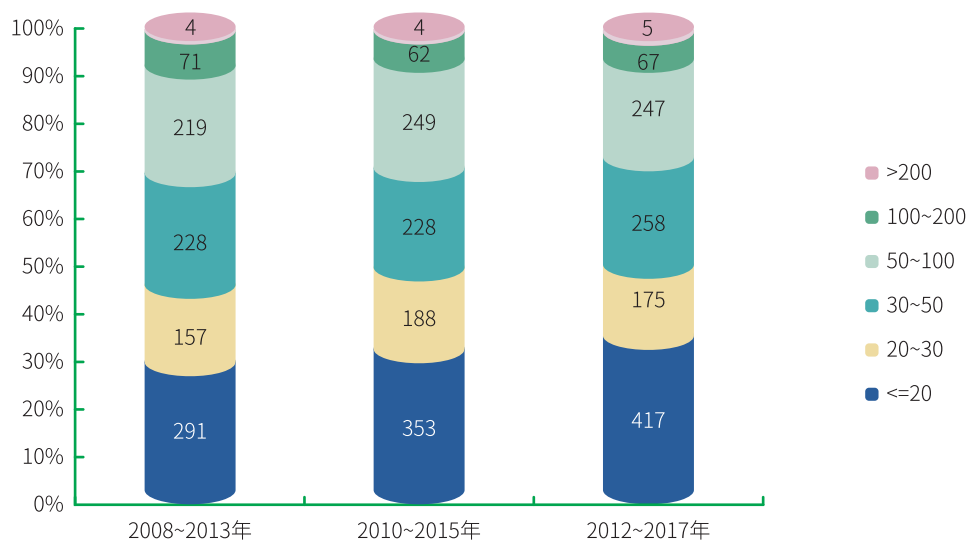


图 3-3 研究领域的核心论文数量分布

体布局基本保持一致，研究大类划分基本相同。这也从另一个角度引证了新修改的科学结构算法的可靠性。

从两期科学结构图来看，持续高密度论文区域的研究热点主要包括“量子物理”“机器学习”“无线通信”“粒子物理”“有机合成方法”“系统与控制”“冠心病”“表观遗传调控”“植物基因调控”等的研究；2012~2017年密度增高的热点研究中，“肠道微生物”“二维材料”“超材料”“环境治理”“脑结构与功能”“肿瘤免疫治疗”“卫生保健”“天文学”等成为高密度热点研究，还有一些热度比前一期增高的群组，比如“钙钛矿”“纳米药物”“房颤与心衰”“血液肿瘤”等。在2010~2015年的热点区域中，“有机太阳能电池”“气候变化”“企业管理”“纳米光催化”“乳腺癌”等，在2012~2017年的密度降低较多，另外，“有机太阳能电池”“石墨烯”

等密度也有所降低。

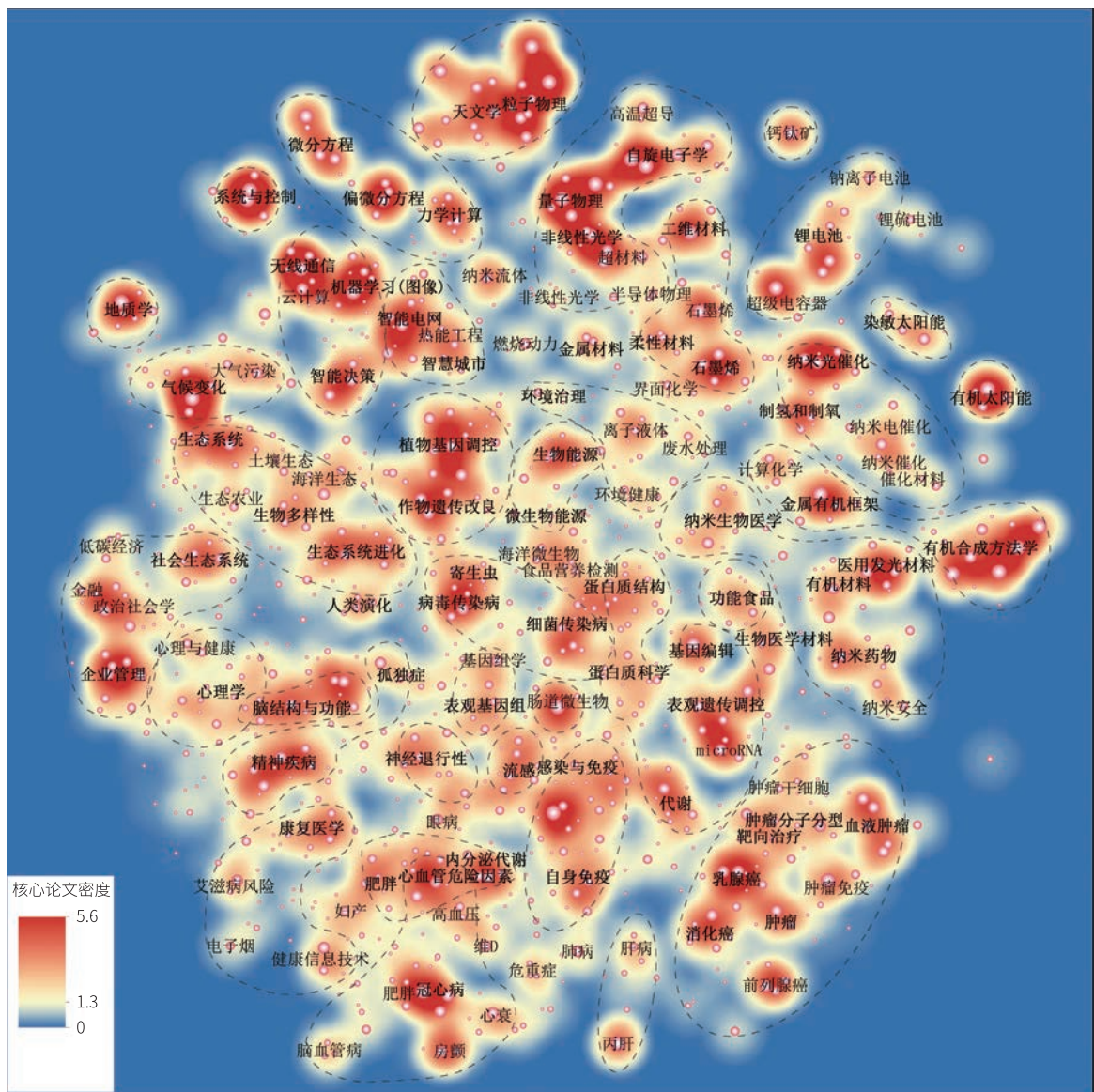
从两期的科学结构图上，出现了一些新的聚焦，比如：与天文学与粒子物理相关的“理论物理”，从催化基础研究逐步发展到应用研究的“先进能源”和纳米生命科学相关的“有机聚合物材料”，与机器学习相关的“深度学习”，气候变化研究中出现了更多和“极端气候变化”相关的研究，以及“化学生物的药物研究”“页岩气”“物种保护”“肿瘤免疫治疗”“肿瘤基因突变与靶向治疗”“新发病毒传染病”“药物滥用”“文献计量与期刊研究”等新兴研究热点。

从两期的热力图整体上看，科学结构2012~2017比科学结构2010~2015的密度分块更清晰，研究热点更加集中。

表3-3列出了三个时期科学结构图谱中各学科（ESI 22 学科）研究领域数量及占全部研究领域的比例，计算方法参见2.5。从总

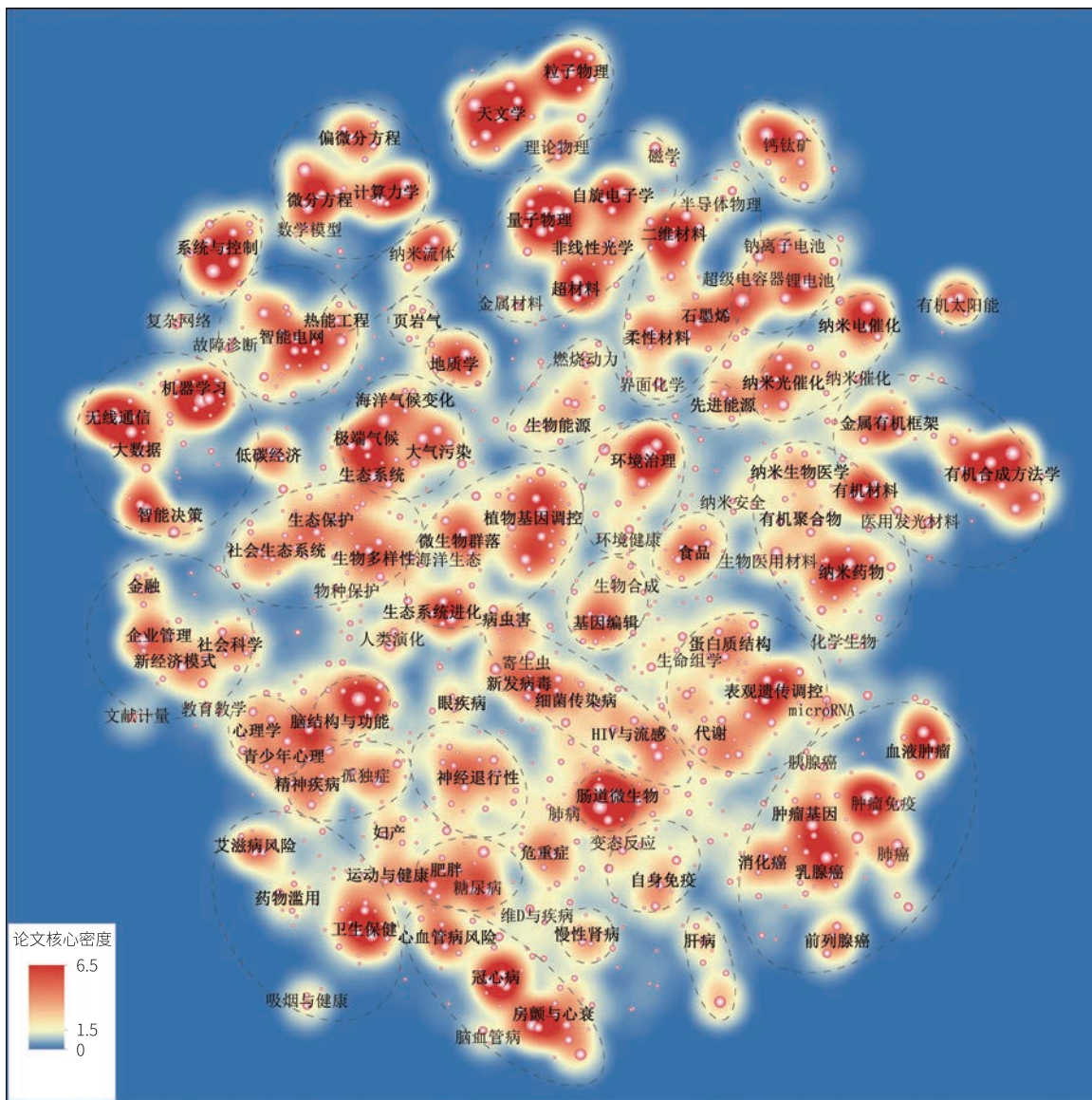
体趋势上看,各学科研究领域数量占全部研究领域的比例基本稳定,属于交叉学科的研究领域比例较高,达到近40%,但交叉学科研究领域占全部研究领域的比例在三个时期逐渐下降;从计算结果上看,属于单一学科的研究领域占全部研究领域比例超过5%的

学科包括临床医学、工程科学、化学、社会科学、物理学,增长相对较快的学科包括环境/生态学、数学、计算机科学、分子生物学与遗传学、神经科学与行为科学、工程科学。通过统计学科交叉研究领域中文量排前两位的学科,材料科学、免疫学、生物与



(a) 科学结构 2010~2015

图 3-4 两期科学结构图



(b) 科学结构 2012~2017

图 3-4 两期科学结构图 (续)

注：研究领域的坐标位置由深度学习模型确定，图中论文量越大，密度越大、颜色越暖；反之，论文量越小，密度越小、颜色越冷

生物化学、药理学与毒理学、微生物学与其他学科交叉程度较高，其中，免疫学在本期科学结构中与其他学科交叉程度明显提高，估计和“肠道微生物”研究的范围快速

扩展相关；空间科学与其他学科交叉最少，其次是数学、地球科学、物理学与其他学科交叉程度相对较低。

表 3-3 三个时期各学科研究领域数量

研究大类	2008~2013 年		2010~2015 年		2012~2017 年	
	研究领域 (个)	百分比 /%	研究领域 (个)	百分比 /%	研究领域 (个)	百分比 /%
空间科学	6	0.7%	5	0.5%	6	0.6%
物理学	52	6.1%	48	5.0%	56	5.4%
化学	59	6.9%	68	7.1%	73	7.1%
材料科学	6	0.7%	9	0.9%	9	0.9%
地球科学	24	2.8%	29	3.0%	32	3.1%
环境 / 生态学	6	0.7%	11	1.1%	15	1.5%
工程科学	59	6.9%	66	6.9%	79	7.6%
计算机科学	9	1.1%	10	1.0%	16	1.5%
数学	21	2.5%	32	3.3%	42	4.1%
农业科学	23	2.7%	28	2.9%	28	2.7%
植物学与动物学	34	4.0%	41	4.3%	45	4.4%
生物与生物化学	15	1.8%	22	2.3%	17	1.6%
微生物学	4	0.5%	7	0.7%	5	0.5%
分子生物学与遗传学	6	0.7%	7	0.7%	11	1.1%
神经科学与行为科学	21	2.5%	22	2.3%	29	2.8%
精神病学 / 心理学	21	2.5%	24	2.5%	25	2.4%
免疫学	5	0.6%	6	0.6%	4	0.4%
药理学与毒理学	5	0.6%	8	0.8%	8	0.8%
临床医学	152	17.8%	182	18.9%	190	18.4%
社会科学	47	5.5%	46	4.8%	57	5.5%
经济与商业	15	1.8%	11	1.1%	13	1.3%
交叉学科	380	44.5%	402	41.7%	409	39.6%

三、快速发展的研究领域演变分析

新版科学结构图谱中的研究领域数量大幅增加，覆盖范围更加广泛。本节选取一些在两个时期发展比较快速的研究板块（研究群组）进行演变分析，通过科学结构2012~2017一些研究群组的研究活动情况，结合三个时期相关研究领域的演变轨迹图，分析研究主题的变化发展。

（一）引力波演变分析

爱因斯坦于1916年预言了引力波的存在，引力波是时空的“涟漪”，是时空本身的一种波动现象，由宇宙中如致密天体碰撞并合这样剧烈变化的物理过程产生。本期与引力波相关的是ID578和ID1059两个研究领域（图3-5）。

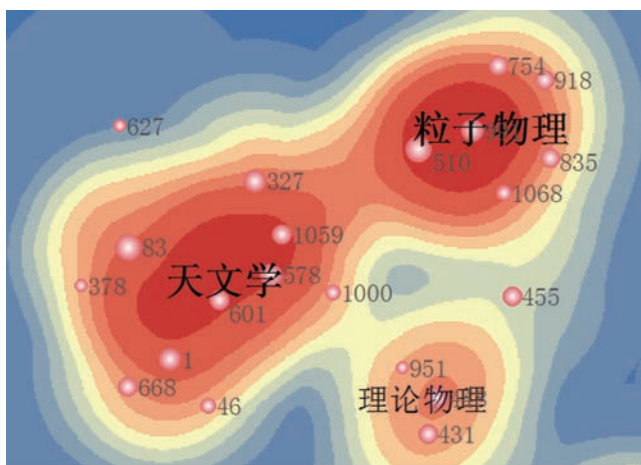


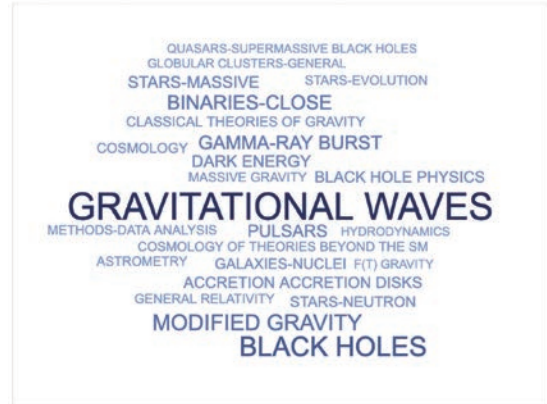
图3-5 引力波所在天文学与粒子物理结构图

从两期的变化来看，引力波领域的文章篇数及研究前沿数增幅明显，文章数量由2010~2015年的147篇增至2012~2017年181篇，研究前沿数量由原来的18个增至23个。2010~2015年的作者关键词（图3-6）主要有修正引力（Modified gravity）、中子星（Stars: neutron）、暗能量（Dark energy）、经典引力理论（Classical theory of gravity）、引力（Gravity）、超越标准模型的宇宙学理论

（Cosmology of theory beyond the SM）、引力波（Gravitational waves）等；2012~2017年的关键词主要有引力波（Gravitational waves）、黑洞（Black holes）、修正引力（Modified gravity）、密近双星（Binaries: Close）、伽马射线暴（Gamma-ray burst）、脉冲星（Pulsars）等，可见与引力波观测取得重大突破相关的关键词词频明显上升。



图 3-6 引力波词云图 2010~2015



引力波词云图 2012~2017

图 3-7 的演变轨迹展示了引力波观测方面的巨大突破，研究领域 ID578 和前一期的关联性较弱。过去几十年间，天文学家通过观测银河系中的密近双星间接地证明了引力波的存在。直到 2015 年 9 月，美国“激光干涉仪引力波天文台”（LIGO）首次直接探测到 10 亿光年外的双黑洞并合释放出的引力波，标志着引力波天文时代的开启，为研究宇宙起源与演变开辟了新的途径。2017 年 8 月，LIGO 和“室女座引力波探测器”（Virgo）探测到了一个持

续时间为 100 秒左右的新引力波信号，70 余个地基和天基天文台的联合密集观测确定了该引力波的宿主星系，获得了丰富的多波段电磁对应体数据，包括伽马、X 光、紫外、红外和射电等波段信号，最终证实此次引力波事件由距太阳系约 1.3 亿光年的双中子星并合所产生，并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。3 位科学家由于对 LIGO 探测器和引力波观测的决定性贡献共同获得 2017 年诺贝尔物理学奖。

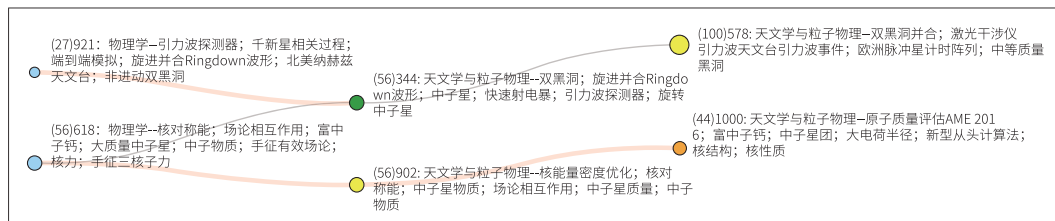


图 3-7 演变轨迹流 96

演变轨迹流 88（图 3-8）重点描述了引力理论研究的发展。引力波观测上的重大突破也带动了引力理论研究进一步发展。自上世纪 70 年代以来，引力理论群雄并起，各

种新理论不断涌现。近二十年来，面对星系暗物质以及宇宙暗能量之谜，理论物理学家与天体物理学家等提出了几十种主要的理论。在 2017 年对双中子星并合事件的观测中，先

后观测到了引力波信号与电磁波信号，分析显示两种信号从同一点源出发、沿着精确相同的轨迹、以近乎相等的速度传播。“双信使”事件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辩伪，从而确定真正的引力理论。

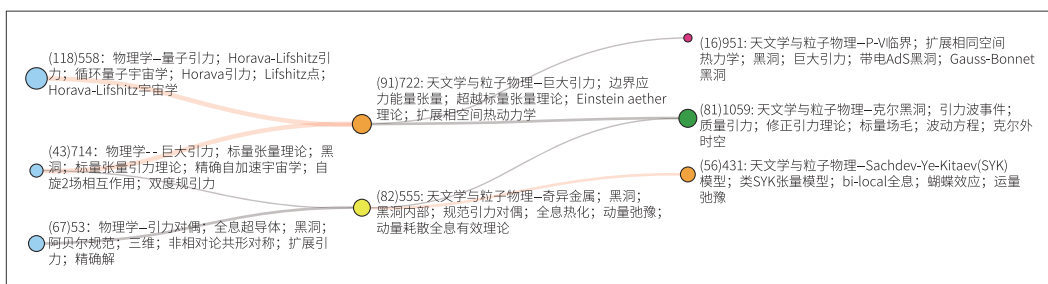


图 3-8 演变轨迹流 88

(二) 量子物理演变分析

量子物理是持续的研究热点，其研究领域内的结构如图 3-9 所示。量子物理的研究领域数由 2010~2015 年的 7 个增至 2012~2017 年的 10 个，研究前沿数量由前

期 96 个增至本期 104 个，量子物理领域的研究朝着更为细致的方向演进。对比分析两期科学结构作者关键词（图 3-10）的变化情况，2010~2015 年的关键词主要有金刚石氮空位中心（Diamond, Nitrogen-vacancy

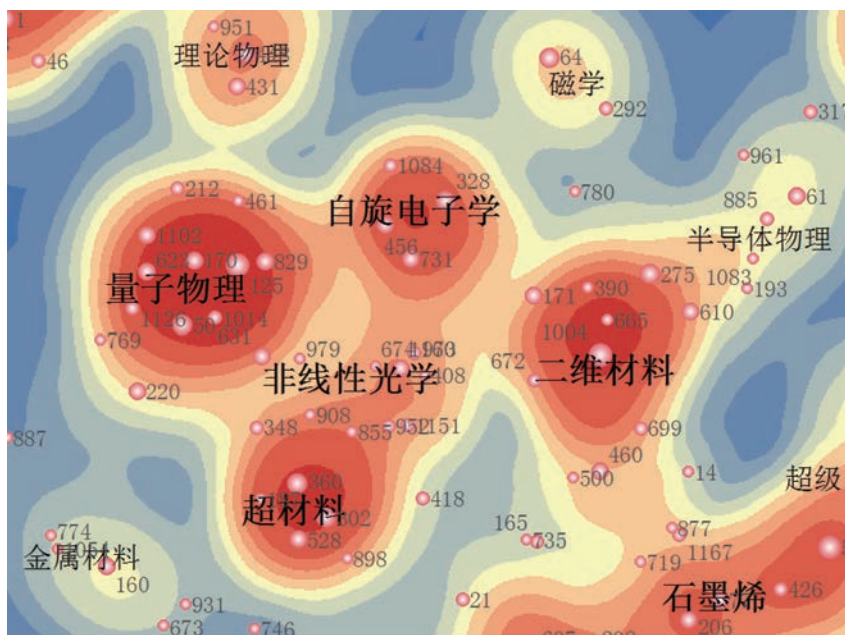


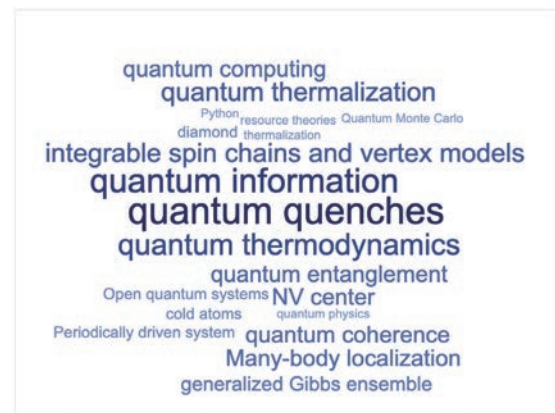
图 3-9 量子物理所在物理学结构图

(NV center)、超冷原子 (Ultracold atoms)、量子模拟 (Quantum simulation)、量子通信 (Quantum communication)、常数循环码 (Constacyclic codes) 等, 在这一阶段, 金刚石氮空位中心这一量子计算机物理实现研究体系, 量子模拟及其相关的超冷原子系统, 量子通信, 常数循环码和最大距离可分码 (MDS) 等量子纠错码的研究成为了研究人员关注的焦点。2012~2017 年的关键词

主要有量子淬火 (Quantum quenches)、量子信息 (Quantum information)、量子热力学 (Quantum thermodynamics)、可积自旋链和顶点模型 (Integrable spin chains and vertex models) 等, 在这一阶段, 研究人员主要关注量子纠缠性质的研究 (如量子淬火、自旋模型、多体局域化等)、量子热力学、量子相干、金刚石氮空位中心体系等研究。



图 3-10 量子物理词云图 2010~2015



量子物理词云图 2012~2017

从演变轨迹看量子物理近年来研究热点的变化, 量子通信、量子计算、量子传感和

量子基础物理等方向保持了很高的研究热度。

演变轨迹流 45 中 (图 3-11), 研究热点

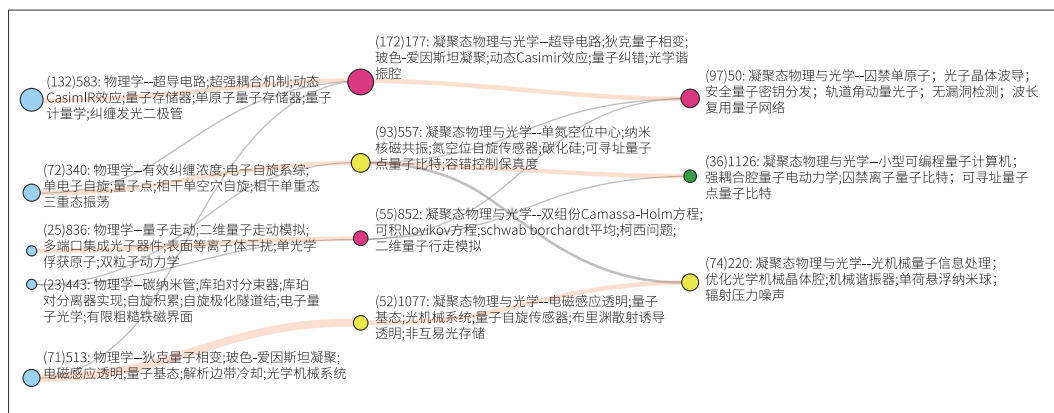


图 3-11 演变轨迹流 45

领域有量子通信 (ID50)、量子计算 (ID1126) 以及量子传感 (ID220)。(1) 量子通信 (ID50) 最初来源于 2008~2013 年的“量子信息” (ID583), 这是以量子通信和量子计算相关的研究为主, 到 2010~2015 年时 (ID177), 演变成以量子计算和量子通信相关的器件为主, 到 2012~2017 年时 (ID50), 演变成以量子通信研究为主。(2) 量子计算 (ID1126) 最初来源于 2008~2013 年的“电子自旋系统” (ID340), 该主题聚焦用于量子信息处理的电子自旋, 到 2010~2015 年时 (ID557), 演变成聚焦金刚石中氮空位中心的电子自旋调控, 以广泛应用于量子计算机物理实现和量子传感, 到 2012~2017 年时 (ID1126), 演变成聚焦离子阱和半导体量子点自旋系统等量子计算机物理实现体系。(3) 量子传感 (ID220) 在 2008~2013 年 (ID513)、2010~2015 年 (ID1077) 和 2012~2017 年 (ID220) 都聚焦腔光机械系统的研究, 并保持了较高的研究热度, 腔光机械系统在量子传感、非互易光子传输、量子基础物理等方面有着重要应用。

在演变轨迹流 210 (图 3-12) 中, 研究热点领域有周期驱动量子系统 (ID829)、量子模拟 (ID170) 以及量子纠缠 (ID125)。(1) 周期驱动量子系统 (ID829) 最初来源于 2008~2013 年 (ID192) 玻色爱因斯坦凝聚的量子现象研究, 在 2010~2015 年 (ID760) 和 2012~2017 年 (ID829) 中都聚焦周期驱动量子系统的研究, 即在周期驱动的量子系统中开展量子系统的设计和调控研究, 这是量子理论研究的重要方向。(2) 量子模拟 (ID170) 以及量子纠缠 (ID125) 也是最初来源于 2008~2013 年 (ID192) 玻色爱因斯坦凝聚的量子现象研究, 到 2010~2015 年时 (ID221), 演变成以量子模拟和量子纠缠研究为主, 到 2012~2017 年时, 演变成两个独立的主题, 即量子模拟 (ID170) 和量子纠缠 (ID125)。

(三) 先进能源领域演变分析

先进能源的结构如图 3-13 所示, 包括生物能源。2012~2017 年先进能源领域文章数较 2010~2015 年增长明显, 由 473 篇增至 602 篇, 能源研究获得了更多研究者的关注;

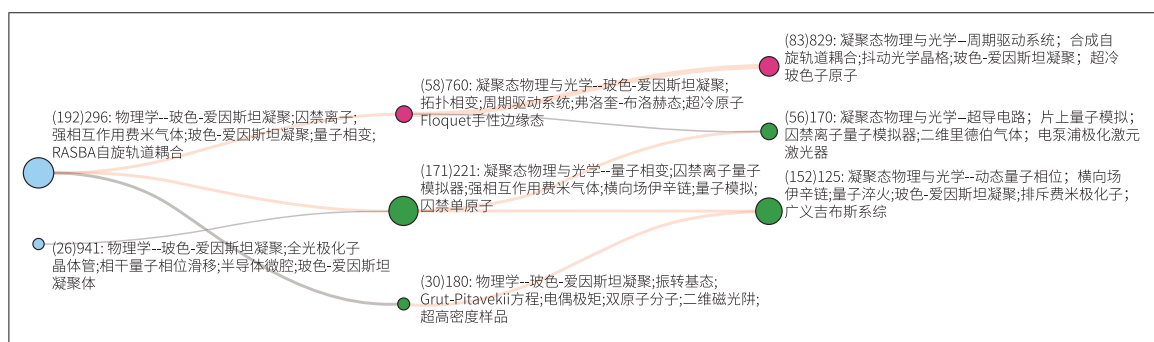


图 3-12 演变轨迹流 210

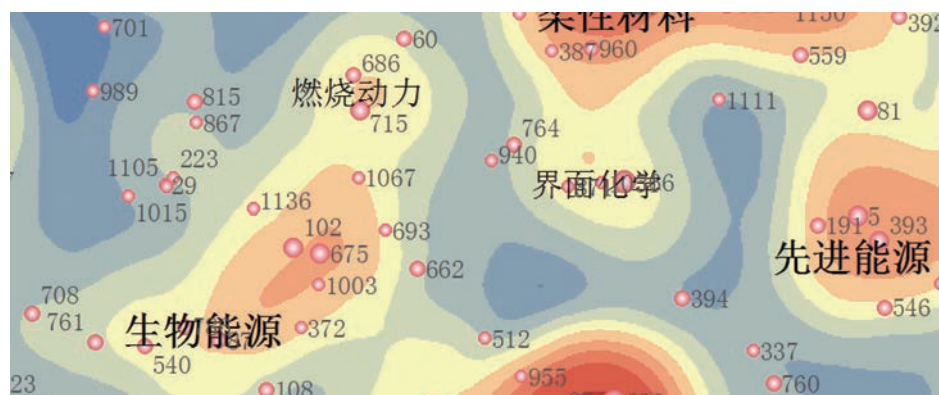


图 3-13 先进能源结构图

研究主题涉及领域更为丰富和多样，包含的研究前沿数由原来的 89 个增至本期的 145 个。2010~2015 年先进能源领域主要集中于可再生能源 - 生物燃料 (Biofuel) 的研究，也包括页岩气 (Shale gas)、微生物燃料电池 (Microbial fuel cell) 等主题，主要围绕藻类制备生物燃料、木质纤维素制备生物燃料、制备生物燃料的副产物甘油的综合利用、微生物燃料电池处理废水及页岩气的提取技术等。2012~2017 年的研究主题与上一期的明显变化是氢能相关研究呈规模出现，聚焦于其制备方式的研究。相关核心论文数约占先

进能源的三分之一，研究主要涉及两个方向，一是氢气的制取，主要包括甲烷 / 水 / 乙醇等通过重整的方式制备氢气、木质纤维素发酵制氢及活性污泥制氢等相关研究方向；二是储氢材料的研发。本期围绕生物燃料 (Biofuel) (图 3-14) 的相关研究有所减弱，除了上期出现的藻类生物燃料技术外，本期更多的研究方向聚焦于生物质热解方式制备生物燃料。同时，本期出现了可燃冰、质子 / 离子膜燃料电池等新主题，但这两主题并未形成一定规模，处于研究的萌芽状态。

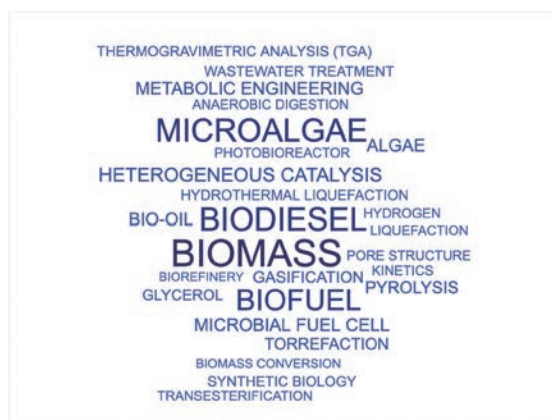
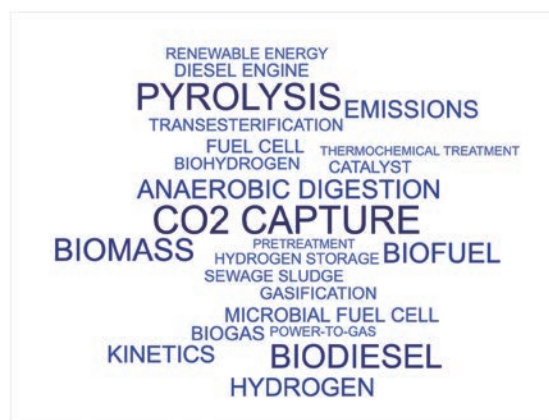


图 3-14 先进能源词云图 2010~2015



先进能源词云图 2012~2017

演变流 38 (图 3-15) 主要围绕制氢展开, 包括(蒸汽重整)化学链燃烧制氢、CO₂ 的捕集、氧载体、太阳能热化学制氢、质子交换膜电解槽制氢、无 COX 产生的绿色制氢等。从科学演变路径来看, ID393 的研究方向主要来源于 ID93 和 ID215, 前者主要关注于太阳能热水裂解方式制氢, 主要涉及氧载体、等温氧化循环等研究方向, 后者 (ID215) 主要关注于通过水 / 甲烷 / 甲醇蒸汽重整化学链燃烧的方式制氢, 主要包括铜基氧载体、解偶联、CO₂ 捕集及化学链燃烧等方向。ID215 又来源于前一期 ID397, 两期在研究方向上没有发生变化, 说明利用太阳能热化学方式制氢一直都是研究人员制氢的热点研究方向, 这个方向在 ID393 中也一直存在。

演变流 86 (图 3-16) 主要涉及燃料电池研究, 包括固态氧化物燃料电池和氢燃料电池, 涉及高强度铁素体钢电池连接体、质子导电 / 共掺杂氧化铈电解质材料、电极材料及氢燃料电池电极材料和氢气的制取和存储等研究方向。从科学演变路径来看, ID759 主要围绕中低温固态氧化物燃料电池展开, 包括可降低燃料电池温度的连接体、具有更高离子导电率的电池电解质等研究方向。随着研究的进一步深入, 该研究方向分化出一个新的研究方向: 直接碳燃料电池 (ID1060), 主要涉及碳燃料电池技术及产物 CO₂ 的捕集和分离技术。随后 ID1060 演变为氢燃料电池 (ID5), 主要涉及氢气的水蒸气重整取、甲烷分解制氢及存储技术。ID1020 由

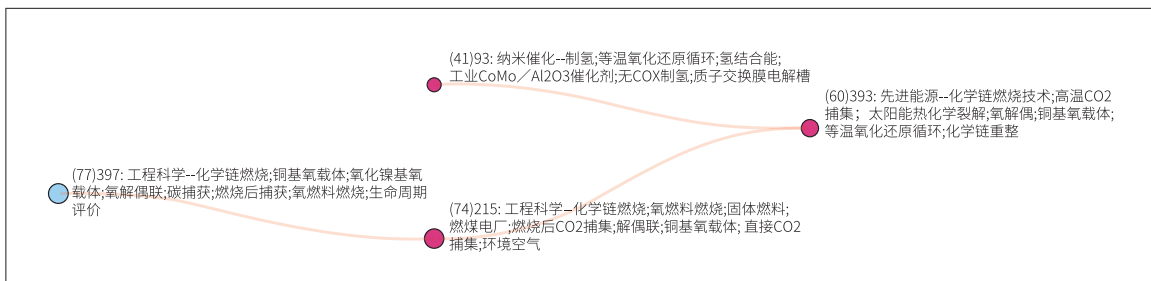


图 3-15 演变轨迹流 38

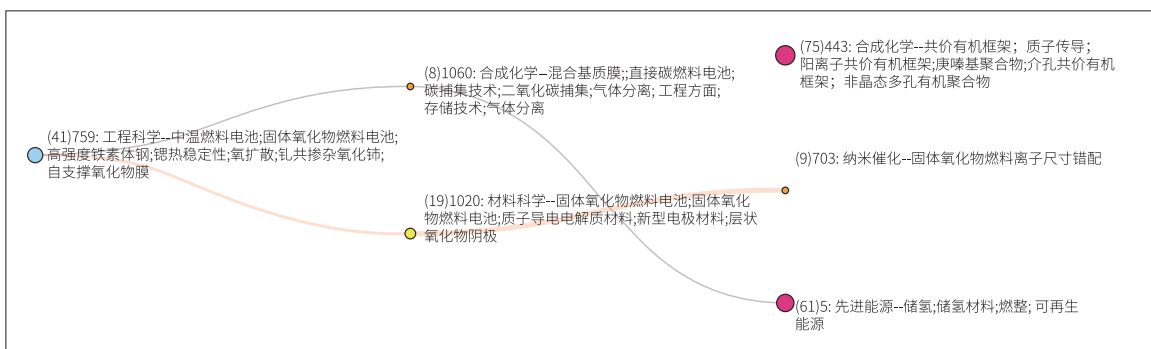


图 3-16 演变轨迹流 86

ID759 演变而来，研究方向演变为对电极材料及电解质材料的研究，电解质材料由 ID759 包含的离子传导型氧化物电解质演变为质子传导电解质，对燃料电池电极材料的研究成为此时期该领域的重要研究方向。随后，D1020 进一步演变为对固体氧化物燃料电池的电极材料，尤其是钙钛矿型电极材料的引入研究。

(四) 钙钛矿材料与器件领域演变分析

图 3-17 显示了钙钛矿材料与器件的结构图，图中相关研究领域较上一期有明显的增长。钙钛矿领域文章数由 2010~2015 年

176 篇增至 2012~2017 年 432 篇，增幅超过 200%，钙钛矿材料的相关研究获得了更多研究者的关注；研究主题涉及领域更为丰富和多样，包含的研究前沿数由原来的 1 个增至本期的 3 个。从作者关键词（图 3-18）变化分析，2010~2015 年钙钛矿领域主要涉及钙钛矿太阳能电池主题，研究方向主要围绕电池效率提升、环境稳定性提升等，由此可见在 2010~2015 年中钙钛矿型材料在太阳能电池方面的应用研究受到了高度重视。相比于 2010~2015 年，2012~2017 年的研究主题新出现了两个较大、且研究方向集中的研

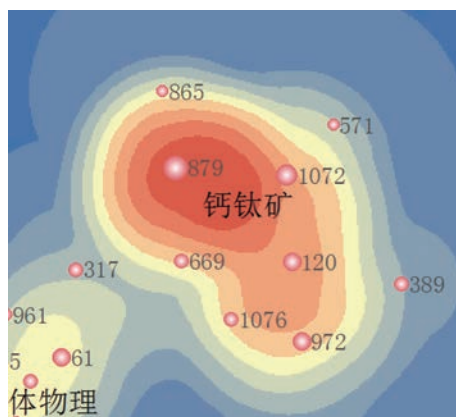


图 3-17 钙钛矿材料与器件结构图



图 3-18 钙钛矿材料与器件词云图 2010~2015 钙钛矿材料与器件词云图 2012~2017

究主题：一个是钙钛矿光电半导体和探测器，另一个是钙钛矿铁电体，图 3-19 的演变流分析也表现出这样的趋势。钙钛矿太阳能电池一直是钙钛矿材料研究中重要的研究方向，本期主要致力于无铅钙钛矿太阳能电池及全无机钙钛矿太阳能电池等领域的研究。截至 2017 年底，钙钛矿太阳能电池的转换效率达 22.1%，大面积钙钛矿薄膜光伏组件效率突破到 17.4%，无铅钙钛矿太阳能电池的转换效

率已超过 20%，全无机钙钛矿太阳能电池板的光电转换效率达到 11.3%。针对钙钛矿光电半导体的研究更多的聚焦于其电致发光效率的提升，2017 年基于钙钛矿的绿光、红光外量子效率已超过 10%，蓝光外量子效率相对较低，不足 3%，基于新的物理过程的钙钛矿白光发射已经引起了研究者的兴趣。针对钙钛矿铁电体的研究主要致力于全有机 / 无金属型材料的研究。

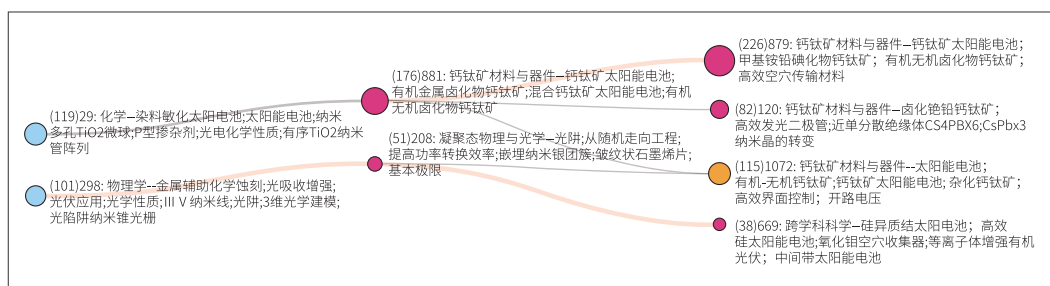


图 3-19 演变轨迹流 5

(五) 机器学习演变分析

机器学习与无线通信的结构图如图 3-20 所示。机器学习中研究领域数由 2010~2015 年 9 个增加到 2012~2017 年 14 个，增加超过 50%。本期研究更聚焦，形成了多个更细致的研究方向。从主题词中也可看出(图 3-21)，2010~2015 年机器学习论文中作者关键词还是以经典的机器学习方法为主，出现次数最多的是稀疏表示 (Sparse representation)、压缩感知 (Compressed sensing)、分类 (Classification)、回归模型 Lasso (Lasso)、凸优化 (Convex optimization) 等。而到了 2012~2017 年，随着深度学习的高速发展，作者关键词有了明显的变

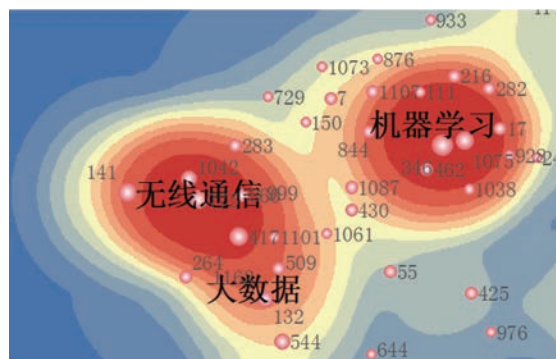


图 3-20 机器学习与无线通信结构图

化，出现多个与深度学习研究相关的关键词，例如深度学习 (Deep learning)、人脸识别 (Face recognition)、图像分类 (Image classification)、张量 (Tensor)，计算机视觉 (Computer vision) 等，说明近年来机器学习研究方向更多转向深度学习领域。

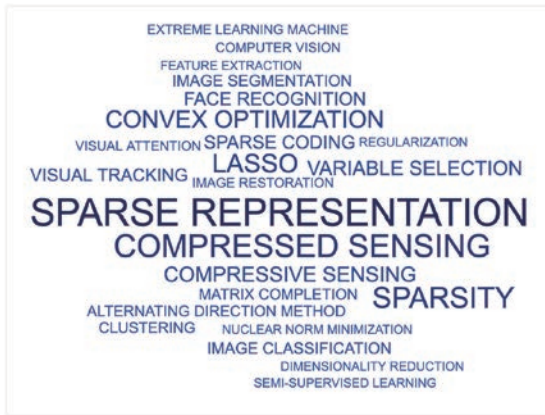
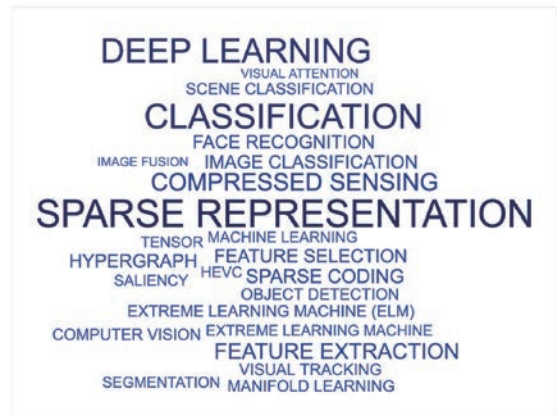


图 3-21 机器学习词云图 2010~2015



机器学习词云图 2012~2017

图 3-22 为机器学习中图像识别相关研究的整体演变轨迹，图像识别在三期科学结构中均为研究热点，并且其研究热度一直持续至今。从演变轨迹图中看出中国在该方向中表现突出，在 2012~2017 年中国占比较

高的研究领域有计算机视觉 (ID 346)、增强学习 (ID282)、深度学习的特征选取 (ID17) 等，均为该方向中论文规模较大的，同时也是科研界热门研究方向。通过对演变轨迹流

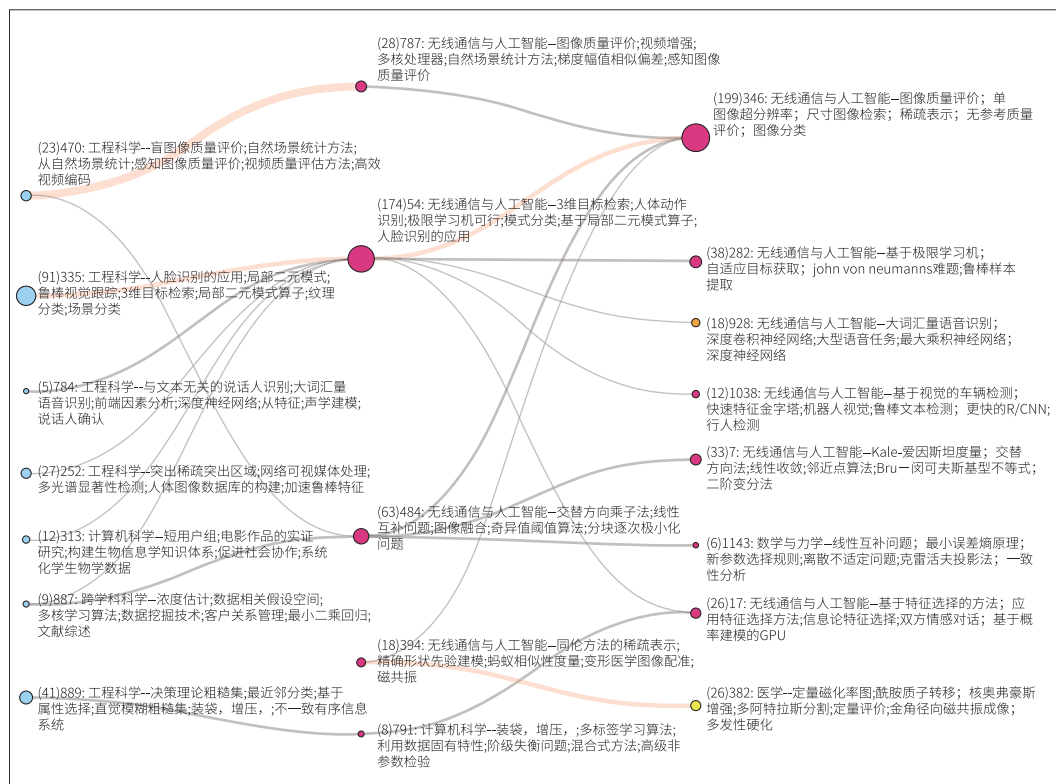


图 3-22 演变轨迹流 75

多的研究领域为人脸识别的应用 (ID335), 到了 2010~2015 年侧重于人体动作识别 (ID54), 目前则逐步转变为研究基于视觉的车辆检测、机器人视觉 (ID1038) 等。值得注意的是 2008~2013 年、2010~2015 年两期的研究专注于人脸识别与动作识别相关应用, 这与近年来人脸识别技术在产业界的深度应用息息相关, 如“刷脸门禁”到“刷脸支付”等一系列人脸识别应用蓬勃发展。另一方面, 从演变流中可看出算法的研究不断深入, 从经典机器学习方法转变为基于 GPU 的深度卷积神经网络方法。随着研究的不断深入, 机器学习开始应用于医学图像的识别。2010~2015 年首次出现关键词变形医学图像配准, 并且该领域的研究持续至今。

(六) 无线通信演变分析

无线通信领域文章数由 2010~2015 年的 392 篇升至 2012~2017 年的 578 篇, 增幅近 50%; 包含的研究前沿数由前期 55 个增至本期 92 个; 研究领域的数量也有所提升, 由 6

个增至 8 个。无线通信领域的研究范围不断扩展, 研究较前期相比更为深入, 研究领域更为细化。从作者关键词来看, 2010~2015 年出现最多的关键词有能量收集 (Energy harvesting)、能源效率 (Energy efficiency)、随机几何 (Stochastic geometry)、功率控制 (Power control)、中断概率 (Outage probability)、认知无线电 (Cognitive radio) 等。通过关键词 (图 3-23) 可看出这一时期研究人员主要关注无线通信网络的运行效果及其能源效应。2012~2017 年的关键词相较前期总体变化不大, 但是在频次上相较前期有显著提升。本期关键词中随机几何 (Stochastic geometry) 的出现频率明显增加, 由 17 次增加到 35 次, 这与近年来 5G 相关技术的大规模应用存在一定程度的联系。由于 5G 基站的覆盖半径相较 4G 缩小了很多, 所以需要架设更多的基站以实现目标覆盖范围, 所以本期研究人员更为关注 5G 基站的布局问题。此外关键词 Massive MIMO 出

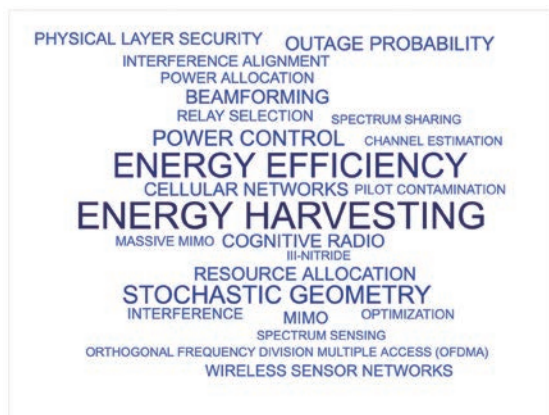
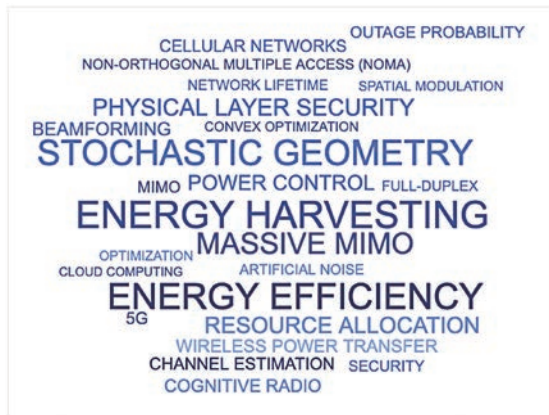


图 3-23 无线通信词云图 2010~2015



无线通信词云图 2012~2017

现频率大幅提高,在2012~2017年排名第5,Massive MIMO(大规模天线技术,亦称为Large scale MIMO)是第五代移动通信(5G)中核心关键技术之一,也是近年来通信领域5G中的重要研究方向之一。

通过对无线通信领域演变轨迹流(图3-24)的整体分析可看出中国在该领域两期的研究领域占比均超过12%(红色)。2012~2017年无线通信的热点研究领域有D2D通信(ID775),无线能量传输(ID141)、认知无线网络(ID417)、毫米波通信技术(ID1042)等。从科学结构的演变路径看,2012~2017年热点研究领域无线能量传输(ID141)最初来源于2008~2013年期研究领域能量收集传感器节点、基于区

块的资源分配(ID540),然后该研究领域在2010~2015年分化为能量传输(ID34)及资源分配(ID84)两个研究领域,其中ID34进一步演变为本期的ID141。本期的热点研究领域D2D通信(ID775)同样源于2008~2013年研究领域ID540加上研究领域ID198融合而成的研究领域ID84,最终形成本期的D2D通信(ID775)。认知无线网络(ID417)来源于2010~2015年的新兴研究领域信息为中心的网络研究、并行多径数据传输(ID18)。以上3条演变路径构成了无线通信领域的主演变轨迹流。从研究内容的转变来看,研究人员最初专注于无线能量传输、资源调度分配、无线网络的研究。现阶段随着5G通信技术、物联网的发展,研究人员聚焦于蜂窝网

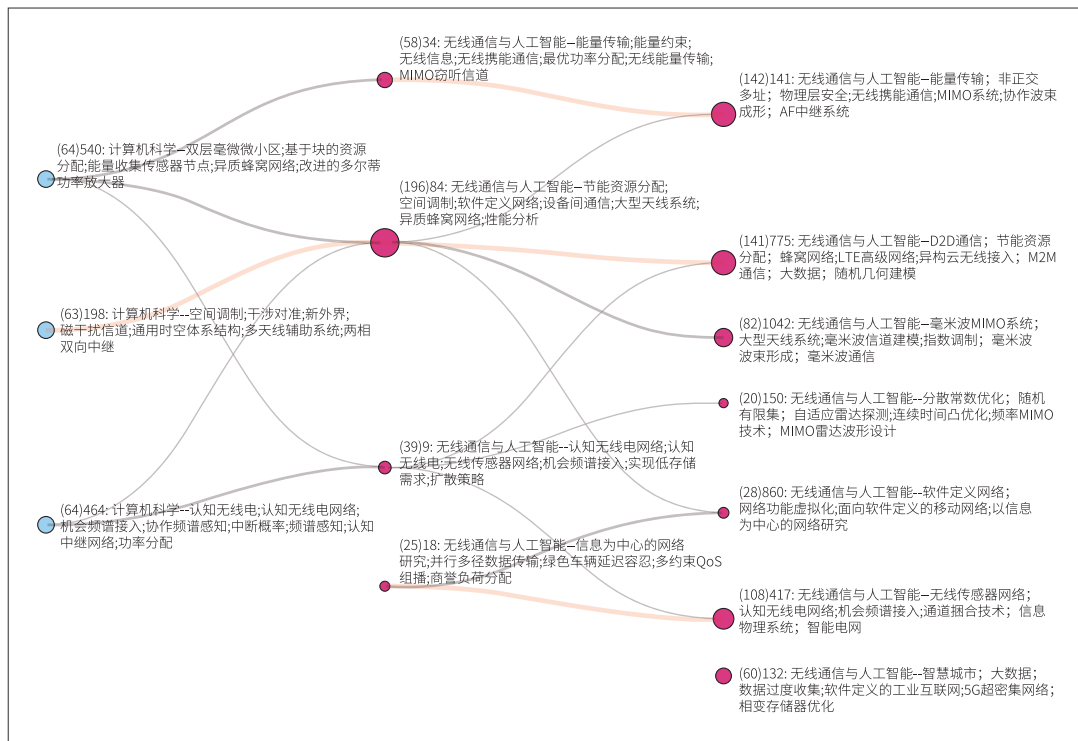


图 3-24 演变轨迹流 127

络、LTE 高级网络、大数据、毫米波通信、智能电网等的研究。

(七) 气候变化领域演变分析

气候变化领域文章数由 2010~2015 年 355 篇升至 2012~2017 年 411 篇；包含的研究前沿数由前期 62 个升至本期 79 个；研究热点增加至 4 个，具体研究领域的布局如图 3-25。由文章篇数、热点研究领域数量增幅的变化情况看，该领域的研究以气候变化为主线，不断细分深入，形成更多研究热点和方向。

统计分析两期科学结构作者关键词词频(图 3-26)，2010~2015 年的 Top10 作者关键词主要有气候变化 (Climate change)、气候模式 (Climate models)、CMIP5 (Coupled model intercomparison project phase 5)、马登-朱利安振荡 (Madden-Julian oscillation)、降水 (Precipitation)、干旱 (Drought)、年代际变化 (Decadal variability)、厄尔尼诺 (Enso)、重力波 (Gravity waves)、海平面温度 (Sea surface temperature) 等。这一阶段研究人员多关注气候变化相关的模拟和预

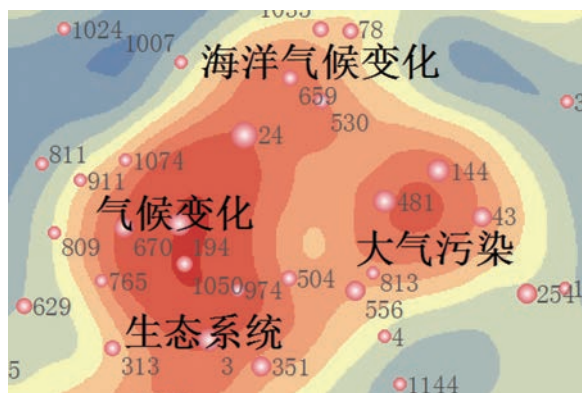


图 3-25 气候变化结构图

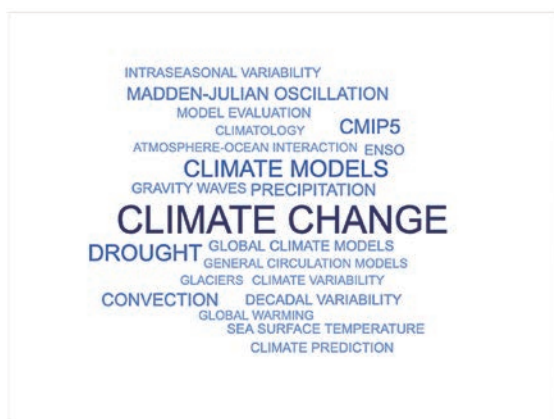
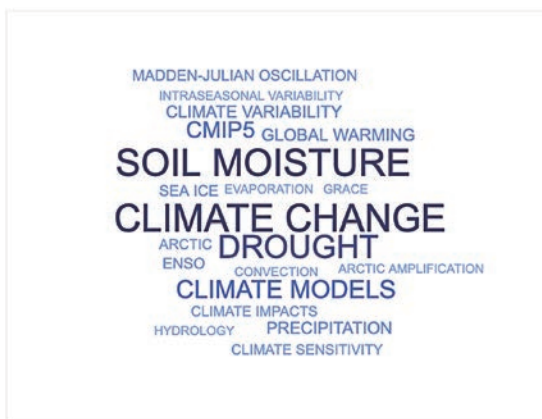


图 3-26 气候变化词云图 2010~2015



气候变化词云图 2012~2017

测，致力于通过构建气候模式进行全球不同尺度、不同区域的气候变化模拟、极端气候预测、古气候重建等。其中CMIP5，即“第五次国际耦合模式比较计划”成为主导这一阶段气候变化领域研究方向的重要关键词。该计划由世界气候研究计划（World Climate Research Programme, WCRP）组织开展，旨在统一的框架下开展多模式比较研究，是气候变化研究领域的重要平台，为全球尺度和不同区域尺度的气候变化研究提供数据支撑，因此在气候研究领域应用极为广泛，其研究结果也通常是联合国政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental panel on climate change, IPCC）对未来气候变化评估的重要依据。CMIP于2008年9月启动第五阶段实验计划（CMIP5），较之前几个阶段试验设计更为完善，增加了近期年代际气候变化预测试验，如碳循环气候试验、气候反馈敏感性试验等，提高了对未来气候变化的预测能力。

2012~2017年的关键词主要有气候变化（Climate Change）、土壤湿度（Soil moisture）、气候模式（Climate models）、干旱（Drought）、CMIP5、降水（Precipitation）、全球变暖（Global warming）、气候变率（Climate variability）、厄尔尼诺（ENSO）、海冰（Sea Ice）等。通过作者关键词可以看出该领域的研究方向变化不大，但通过深入解读发现，大气环境变化（如有机气溶胶、雾霾、甲烷排放）、海洋气候变化（如海平面上升、极地

海冰消融、厄尔尼诺现象）、极端气候变化（如极端干旱、极端降水、极端水文事件）等与全球变暖相关的研究方向占据主导地位，这与近年来全球范围内极端气候频发有很大程度联系，推动了气候变化领域有关极端气候的发生、发展、成因及模拟预测研究。

气候变化领域的最新研究热点有：海洋气候变化（ID24）、有机气溶胶（ID144）、海平面变化（ID1035）、大气环境变化（ID481）、极端气候（ID194）、极端水文事件（ID670）、海冰变化（ID659）等。从科学结构的演变轨迹流来看，其中海洋气候变化（ID24）、有机气溶胶（ID144）、海平面变化（ID1035）等研究方向已形成持续稳定的演变轨迹，表明这些研究方向近十年来一直是气候变化领域的研究热点，随着研究的不断深入，已产生大量具有广泛影响力的研究成果；极端气候（ID194）和海冰变化（ID659）是极地海冰损失研究方向演变形成的两个研究热点分支，表明研究人员一直致力于海冰消融方面的研究，海冰消融可能产生的各种气候影响已经引起研究者们广泛关注，并分化出多个研究热点；大气环境变化（ID481）和极端水文事件（ID670）是本期新成长起来的研究热点，其中ID481由大气污染反馈、生物质燃烧、区域大气成分模拟、排放因子等研究方向演变而来，ID670由全球陆地水平衡、陆相水储量变化、未来灌溉用水有效性、全球水循环等多个研究方向演变汇集形成，反映出研究人员对近年来全球范围内极端降

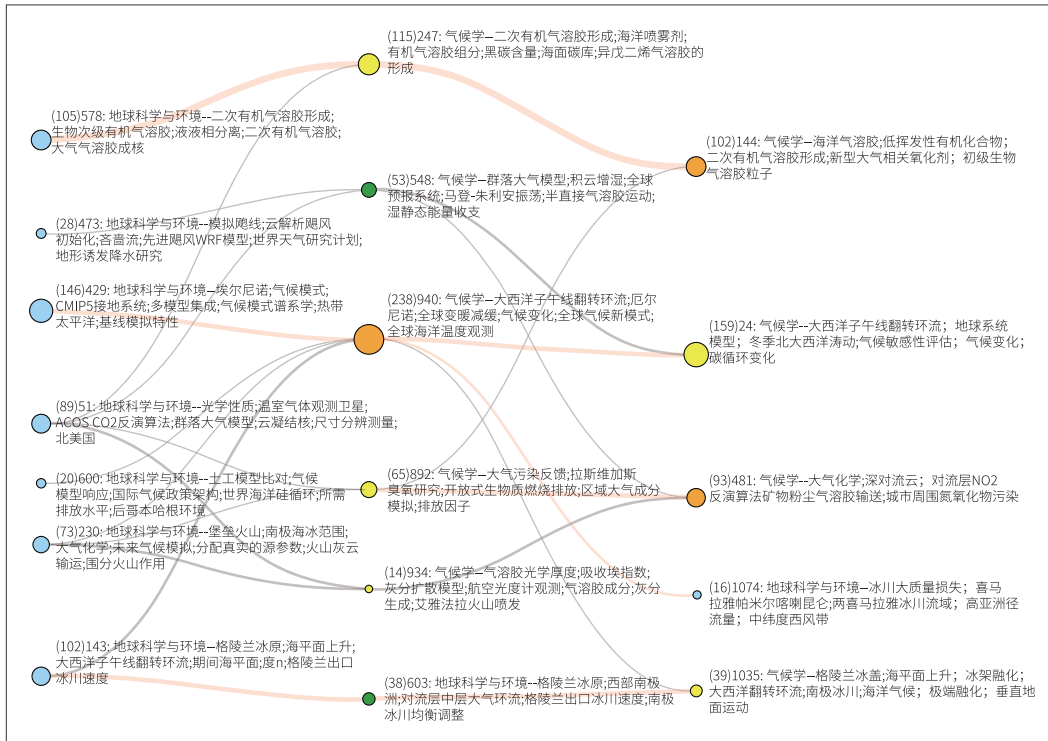


图 3-27 演变轨迹流 70

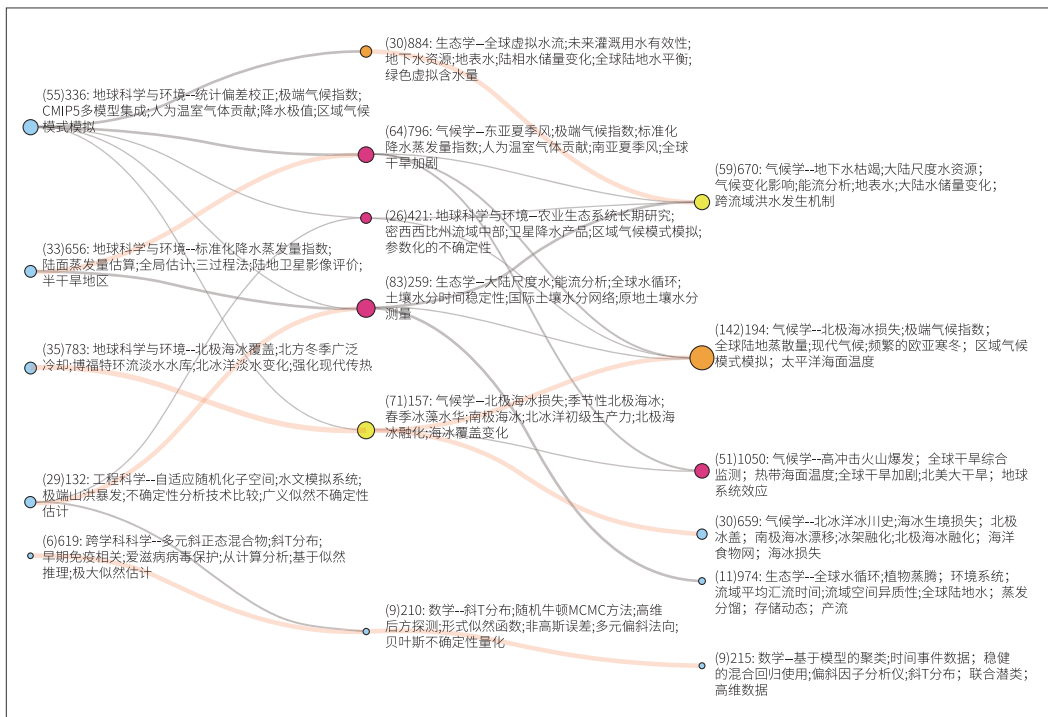


图 3-28 演变轨迹流 91

水和干旱事件频发、大陆淡水储量变化、城市周围大气氮氧化物污染等生态环境问题展开了广泛而深入的研究。

气候变化与人类的生存和可持续发展息息相关，因此一直是地球与环境科学领域持续关注重点，其中人类活动排放的温室气体、有机气溶胶等空气污染物导致大气环境变化、气候变暖，致使极地海冰消融、海平面上升，一直是该领域科研人员持续关注的热点问题。与往期科学结构对比，本期科学结构中突显的研究热点包括极端气候、极端干旱、极端水文事件等，这与近年来全球范围内极端气候事件频发有关，成为气候变化领域的新兴热点研究内容。

（八）环境治理领域演变分析

环境治理领域的研究热点数量由上期的4个升至本期的11个，文章篇数由124篇升至588篇，包含的研究前沿数由35个升至108个，增幅显著。其结构布局如图3-29所示。研究领域的拓展、文章篇数的显著增加明确

反映出该领域近年来研究的热度高涨，这与近年来环境污染对公共健康的影响以及公众环保意识的增强有很大程度的关系。

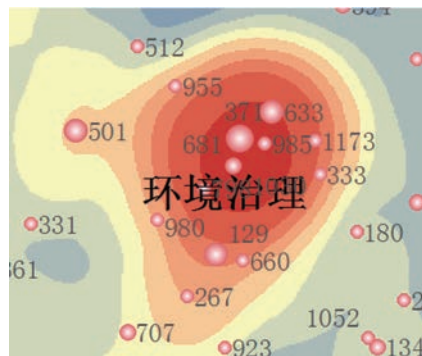


图 3-29 环境治理结构图

对比分析两期作者关键词词云图（图3-30）可发现，2010~2015年的Top10作者关键词主要有生物炭（Biochar）、重金属（Heavy metals）、粉煤灰（Fly ash）、木炭（Charcoal）、缓慢热解（Slow pyrolysis）、碳封存（Carbon sequestration）、回收利用（Recycling）、电子垃圾（E-Waste）、风险评估（Risk assessment）等，这些关键词反映出环境治理领域在这一阶段关注的最主要环境

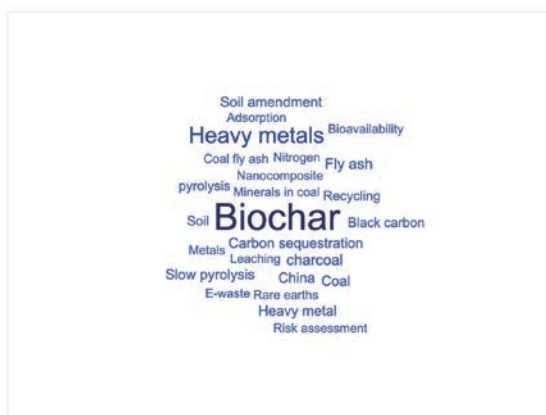


图 3-30 环境治理词云图 2010~2015



环境治理词云图 2012~2017

问题是土壤重金属污染。其中最高频的关键词生物炭，是从生物质热解中得到的一种富含碳的多孔稳定固态物，既可以作为一种土壤改良剂，用于农业土壤肥力改良，治理和修复土壤重金属污染，还可以作为一种固碳技术，用于碳捕获和碳封存，抑制土壤温室气体排放，减缓全球气候变暖。然而围绕生物炭对土壤重金属的生物有效性和固碳效应尚未达成普遍共识，生物炭的推广应用在国际上还存在许多争议，这也进一步提升了有关生物炭技术的研究热度。此外粉煤灰造成的大气污染、电子垃圾的潜在环境危害和回收利用也引起了广泛关注，成为环境治理领域的研究热点。

2012~2017年的作者关键词主要有吸附 (Adsorption)、生物炭 (Biochar)、水处理 (Water treatment)、过氧单硫酸盐 (Peroxy monosulfate)、动力学 (Kinetics)、硫酸根离子 (Sulfate radical)、氧化石墨烯 (Graphene oxide) 壳聚糖 (Chitosan)、亚甲蓝 (Methylene blue)、活性炭 (Activated carbon) 等，这些关键词反映出环境治理领域这一阶段关注的最主要环境问题是水污染治理。其中最高频的关键词吸附，是治理水污染的重要手段之一，通过深入解读发现，各种吸附剂、吸附材料、吸附技术是本阶段的重点研究方向。Top10 作者关键词皆是污水处理相关的各种吸附材料，由此可见这一阶段研究人员的关注重点在于各类污水的物理、化学处理技术，为了清除重金属离子、

抗生素、纺织染料、有机污染物等，寻找有效的污染物吸附剂，治理医院废水、工业污水、地下水污染等环境问题。

环境治理领域的最新研究热点主要包括：有机污染物降解 (ID129)、水污染处理 (ID267)、吸附材料 (ID371)、新型吸附剂 (ID633)、污水修复技术 (ID798) 等。从科学结构的演变轨迹来看，有机污染物降解 (ID129) 主要来源于前一阶段的城市污水处理，水污染处理 (ID267) 主要由有机污染物、个人护理产品和药物污染等研究方向演变而来，这些新兴污染物已成为污水治理的重要研究方向；热点新型吸附剂 (ID633) 来源于活性炭和零价铁技术研究，热点吸附材料 (ID371) 由除氟剂、零价铁技术、石墨烯基磁性纳米复合材料、福岛核事故等多个研究方向演变合并而来，污水修复技术 (ID798) 由零价铁技术研究方向演变而来。这些研究热点目前还处于多学科交叉融合阶段，涉及的学科领域包括物理、化学、生态学、材料科学、环境科学、医疗健康等，尚未形成持续稳定的演变轨迹，由此可见环境治理是一个非常复杂艰巨的难题，无法通过某单一学科领域的方法技术来实现，需要多学科领域协同合作，共同努力解决不断出现的新环境问题。但总体来看，这一阶段的研究热点集中于解决水污染问题，可能存在的原因有如下两个方面：一方面由于全球水污染问题日益严重，工业废水、医院废水、城市污水等处理不当造成的地下水污染对人类

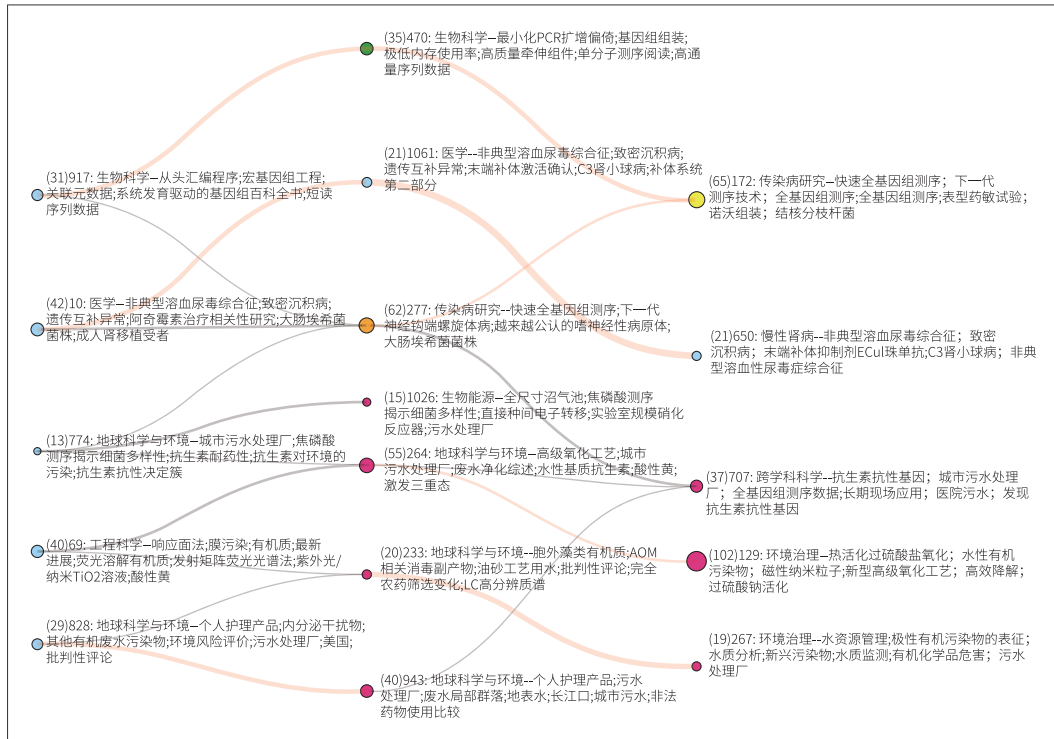


图 3-31 演变轨迹流 94

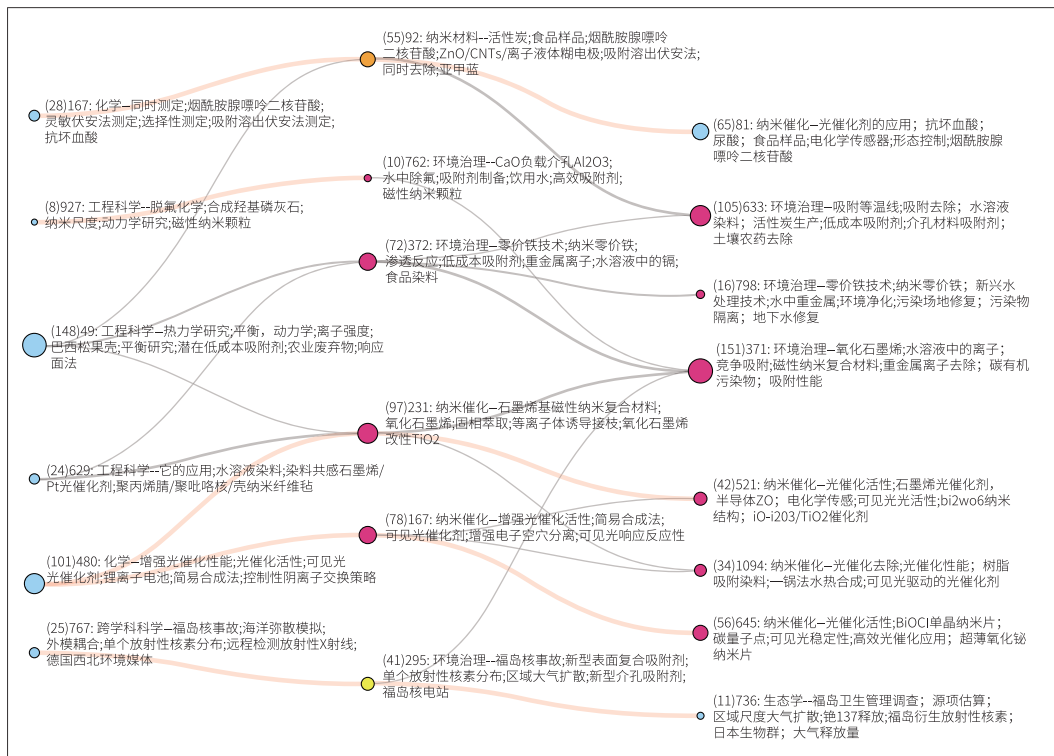


图 3-32 演变轨迹流 137

健康构成了严重威胁，据世界卫生组织统计每年约有 300~400 万人死于水污染有关的疾病；另一方面近年来全球干旱事件频发，陆地水储量下降，加剧了淡水资源短缺，加强水资源保护，解决污水处理问题，成为全球环境治理领域的共同研究课题。

(九) 基因编辑与治疗领域演变分析

与上期 (2010~2015 年) 相比，基因编辑与治疗的研究领域数量从 4 个拓展至了 8 个 (图 3-33)，包含的研究前沿数由 42 个增加到了 89 个，增幅为 100% 甚至超过 100%，与此同时文章数量从 233 篇增加到了 338 篇。从作者关键词 (图 3-34) 来看，两期研究人员关注最多的关键词是基因编辑 (Gene editing) 和 CRISPR/Cas9。CRISPR/Cas9 是继锌指核酸酶 (ZFN)、转录激活因子样效应物核酸酶 (TALEN) 等基因编辑技术后推出的第三代基因编辑技术，是现有基因编辑和基因修饰中效率最高、最简便、成本最低的技术之一，成为当今最主流的基因

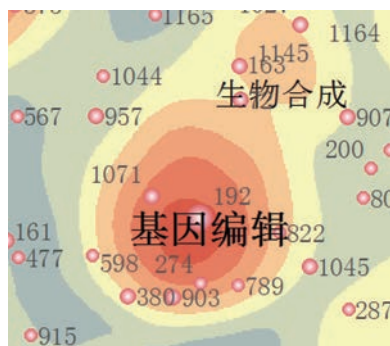
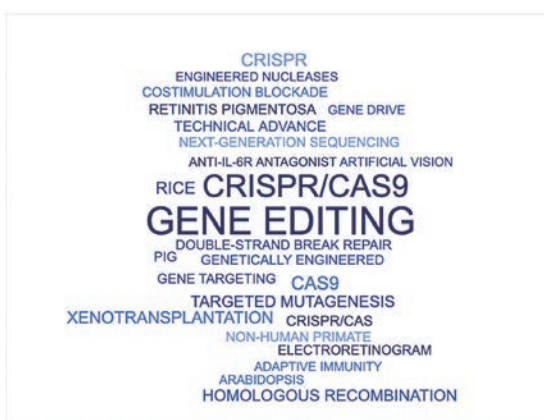


图 3-33 基因编辑与治疗结构图

编辑系统，其在疾病治疗、基因功能调控、基因检测、药物研发和作物育种等方面具有广阔的应用前景。此外，上期的主要关键词还有定向诱变 (Targeted mutagenesis)、异种器官移植 (Xenotransplantation)、抗病毒治疗 (Antiviral therapy)、乙型肝炎病毒 (Hepatitis B virus) 等，这些关键词显示，这一时期研究人员比较关注基因编辑技术在异种器官移植及乙肝抗病毒治疗中的应用。本期的主要关键词除了基因编辑和 CRISPR/Cas9 外，依次还有异种器官移植、定向诱变、同源重组 (Homologous recombination) 和



图 3-34 基因编辑与治疗词云图 2010~2015



基因编辑与治疗词云图 2012~2017

色素性视网膜炎 (Retinitis pigmentosa) 等。通过这些关键词可以看出, 本期研究人员对异种器官移植的关注度进一步提升, 并且基因编辑用于视网膜色素变性治疗的研究明显增多。色素性视网膜炎是一种少见的遗传性眼病, 随着遗传学及基因编辑技术的快速发展, 使得其基因诊断及基因治疗成为可能。

从基因编辑与治疗领域的整体演变轨迹流 (图 3-35) 中可以看出基因编辑技术的发展及其应用的逐步深入。ZFN 和 TALEN 基因编辑技术最先出现。之后, 2012 年, 随着细菌天然免疫系统 CRISPR 的基因编辑功能的发现, 研究人员将 CRISPR/Cas9 系统开发为基因编辑工具。2013 年, 研究人员通过技术改进, 成功将 CRISPR/Cas9 系统运用到哺乳动物细胞中, 使人们开始认识到这一技术的变革性力量, 由此极大地推动了 CRISPR/Cas9 技术在生命科学研究领域的推广和应用。2016 年, 研究人员将 CRISPR/Cas9 基因编辑技术首次成功应用于作物品种培育, 马铃薯靶向基因突变、水稻靶向突变体、大麦转

化和植物基因组等关键词正是体现了该技术在作物中的应用。在医学治疗方面, 肾移植患者、移植前抗体筛选、猪肾移植成活率、猪胰岛细胞移植等关键词反映出, CRISPR/Cas9 基因编辑技术在异源器官移植中的应用研究增多, 备受关注。

(十) 表观遗传调控领域演变分析

表观遗传学领域文章数量由 2010~2015 年 429 篇增至本期 463 篇; 包含的研究前沿数由原来的 80 个增至本期 93 个; 研究领域由上期 6 个增至本期 8 个; 均略有增幅。2010~2015 年的作者关键词 (图 3-37) 主要有微小 RNA (MicroRNA)、心肌梗塞 (Myocardial infarction)、心脏衰竭 (Heart failure)、动脉粥样硬化 (Atherosclerosis)、肺腺癌转移相关转录本 1 (MALAT1)、胃癌 (Gastric cancer) 等。由与心血管疾病相关的关键词可看出当时研究人员专注于利用表观遗传调控应对心血管疾病。2012~2017 年的关键词主要有胃癌 (Gastric cancer)、长非编码 RNA (Long non-coding RNA, lncRNA)、

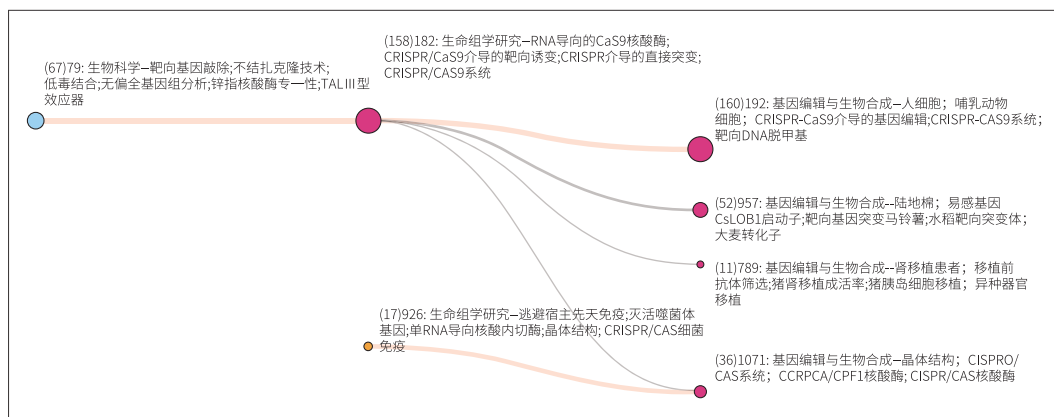


图 3-35 演变轨迹流 198

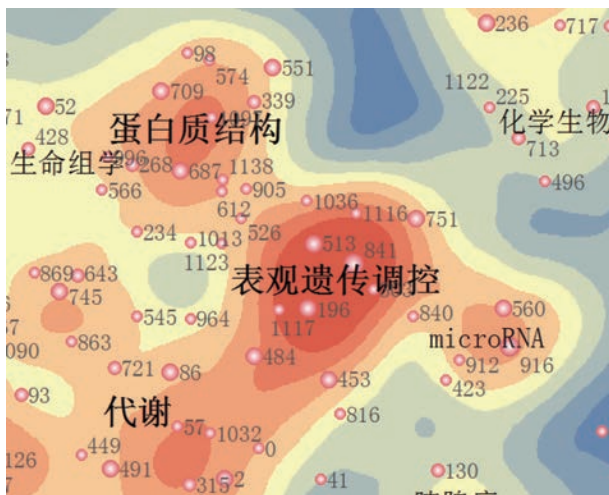


图 3-36 表观遗传调控结构图

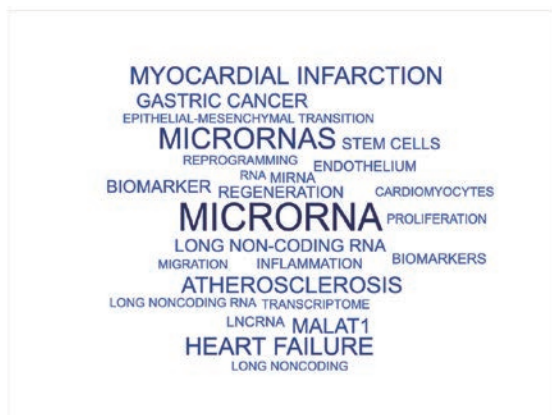
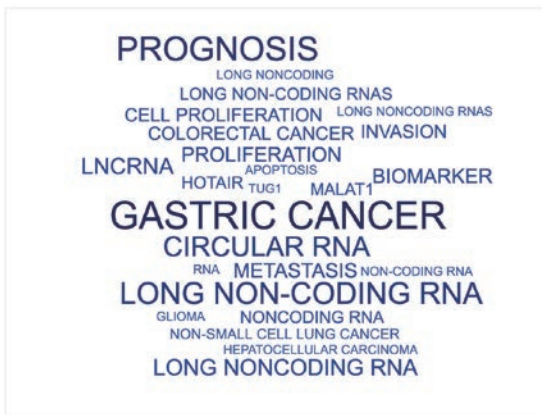


图 3-37 表观遗传学词云图 2010~2015



表观遗传学词云图 2012~2017

环状 RNA (Circular RNA)、细胞增殖 (Cell proliferation)、(瘤) 转移 (Metastasis) 等。这表明，表观遗传调控在疾病治疗中对癌症的治疗研究越来越多，如环状 RNA 与肿瘤之间的关系、癌细胞增殖、(瘤) 转移等研究领域。近来的研究发现 lncRNA MALAT1 高表达于多种肿瘤中，对肿瘤细胞增殖、迁移、侵袭和凋亡等功能机制有着不可忽视的影响；多数研究者认为 MALAT1 在临床应用方面不

仅可以用来作为诊断和预测肿瘤的潜在生物标记，也可以作为治疗特定肿瘤的靶点。此外，还有研究发现 MALAT1 在血管生成过程中也发挥着重要作用。

表观遗传学领域的热点研究有环状 RNA、长链非编码 RNA (ID841)；胃癌、鼻咽癌、癌细胞增殖、长链非编码 RNA (ID751)、基因转录与疾病 (ID196) 等。从研究演变轨迹 (图 3-38) 来看，ID841 最初来源于长链非

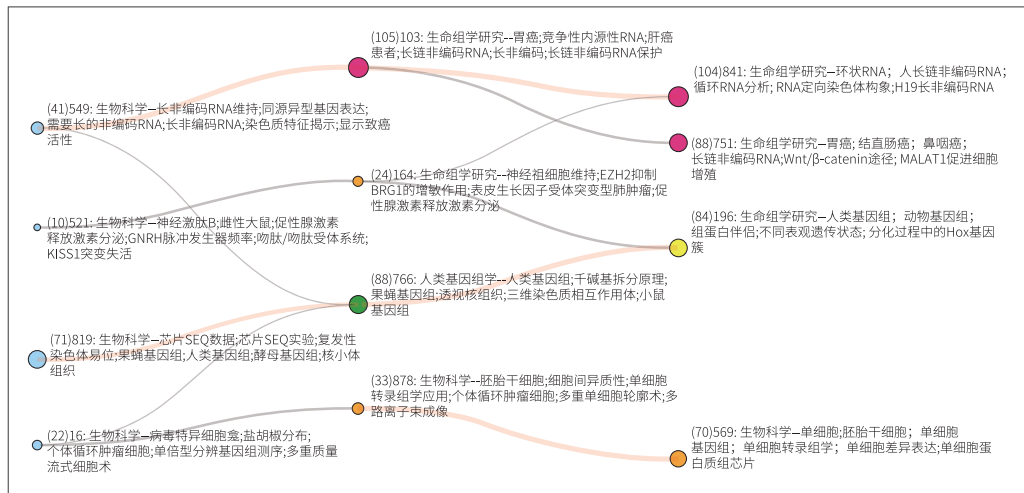


图 3-38 演变轨迹流 51

编码 RNA、显示致癌活性、同源异型基因表达 (ID549)，然后其在 2010~2015 年演变为胃癌、肝癌患者、竞争性内源性 RNA、长链非编码 RNA (ID103)，并于本期演变为研究热点领域。从其演变特征来看，研究人员对长链非编码 RNA 的研究热度不减，其在三期科学结构中均为领域关键词，同时观察到本期研究人员开始关注环状 RNA。与此同时在其演变过程中，从关键词显示致癌活性到胃癌、肝癌患者，可发现研究人员的关注点在向癌症领域转变，并且 ID103 在本期细分为一个新的研究领域即 ID751，聚焦癌细胞增殖及癌症发展。另一个热点研究领域 ID196 最初来源于基因组 (ID819)，然后演变为人类基因组、果蝇基因组、小鼠基因组 (ID766)，并于本期演变形成研究热点基因转录与疾病 (ID196)，这一研究领域的演变过程始终关注基因组与疾病之间的关系。以上两条演变路径构成了本领域的主演变轨迹。

(十一) 肠道微生物与健康领域演变分析

通过对比两期科学结构可发现，肠道微生物与健康领域得到快速发展。首先在文章数量上翻一番；包含的研究前沿数也有明显增加。研究领域不断拓展，由上一期的 2 个研究领域增加到目前的 11 个领域，说明肠道微生物与健康领域的研究工作不断深入，形成了多样且更为细致的研究领域。对比两期

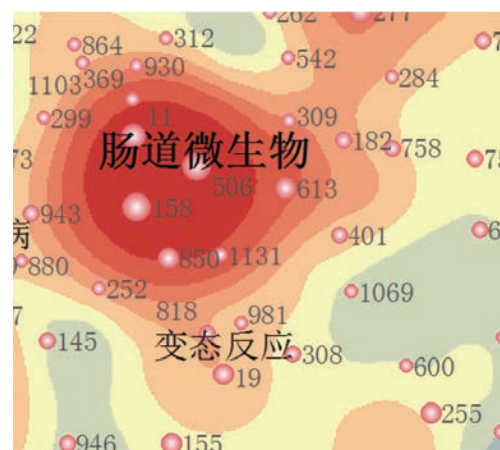


图 3-39 肠道微生物结构图

科学结构作者关键词(图3-40)可发现,两期关键词有一定程度的重合。例如微生物群(Microbiota)、肠道菌群(Gut microbiota)、炎症(Inflammation)等,均为反映该领域研究主题的关键词。2010~2015年的关键词主要有益生菌(Probiotics)、麸质敏感性(Gluten sensitivity)、抑郁(Depression)、压力(Stress)、焦虑(Anxiety)等。从一系列反映人心理和精神健康状态的关键词可看出当时研究人员除了对引发肠道疾病的菌群的

关注之外,还重点关注肠道菌群和精神类疾病的关系。2012~2017年关键词主要有营养(Nutrition)、肠道菌群失调(Dysbiosis)、代谢(Metabolism)等。从两期关键词的变化来看,本期研究人员对肠道微生物与精神疾病的研究关注度逐渐下降。本期研究人员主要聚焦于肠炎所引发的后果/对人体带来的不利影响等,例如可能会引起人体代谢紊乱,影响机体的营养摄入不良。同时肠道菌群失调得到研究人员关注。

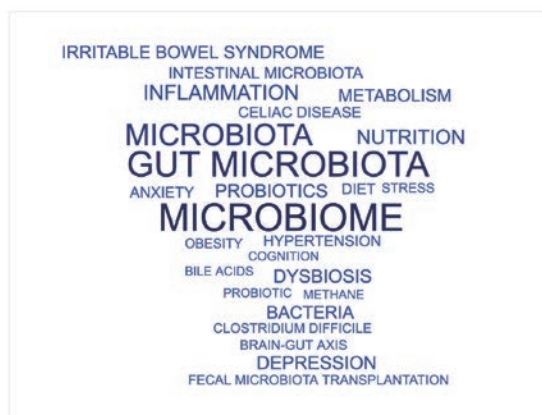


图3-40 肠道微生物与健康词云图 2010~2015 图3-41 肠道微生物与健康词云图 2012~2017

从肠道微生物与健康领域的整体演变轨迹图(图3-41、图3-42)中可看出中国在该领域的研究占比不高,但是从发展趋势来看,中国的研究投入不断提升。该领域的研究热点主要有肠道菌群(ID158、ID11)、消化系统疾病(ID850)等。从该领域的研究轨迹来看,肠道菌群一直是该领域的研究热点,最初来源于炎症性肠病(ID969)及肠道微生物(ID110),说明该领域的研究始终侧重于引发肠炎的因素之一——肠道菌群的研究。另

一个研究热点ID850的研究热度不减,最初源自于炎症性肠病(ID969)、肠易激综合征(ID704)等。该领域的研究不断融合、分化。研究人员最初侧重于乳糜泻、肠黏膜、肠屏障的完整性等的研究,后来在2010~2015年开始转向非乳糜面筋敏感性、无麸质饮食的研究,当前则聚焦于健康的人体微生物群、婴儿抗生素暴露、功能性胃肠病等的研究。从研究人员研究方向的转变来看,现在不断关注伦理及健康生活等相关问题,例如婴幼

儿抗生素滥用、健康饮食、对人体健康有益的微生物群等。

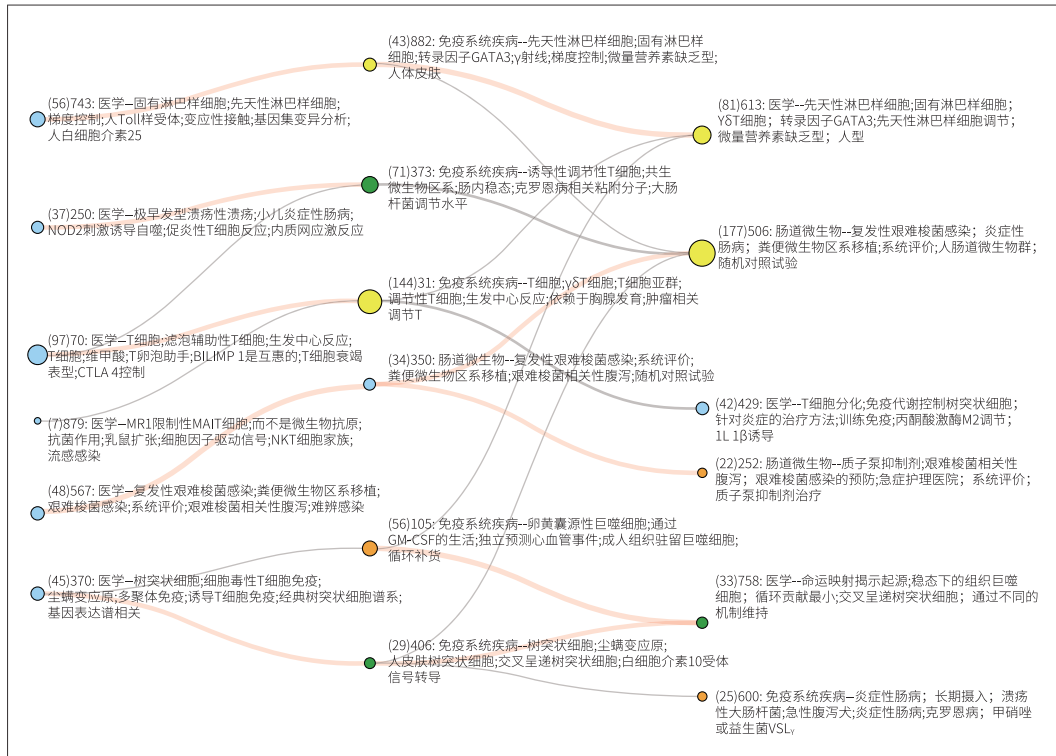


图 3-41 演变轨迹流 32

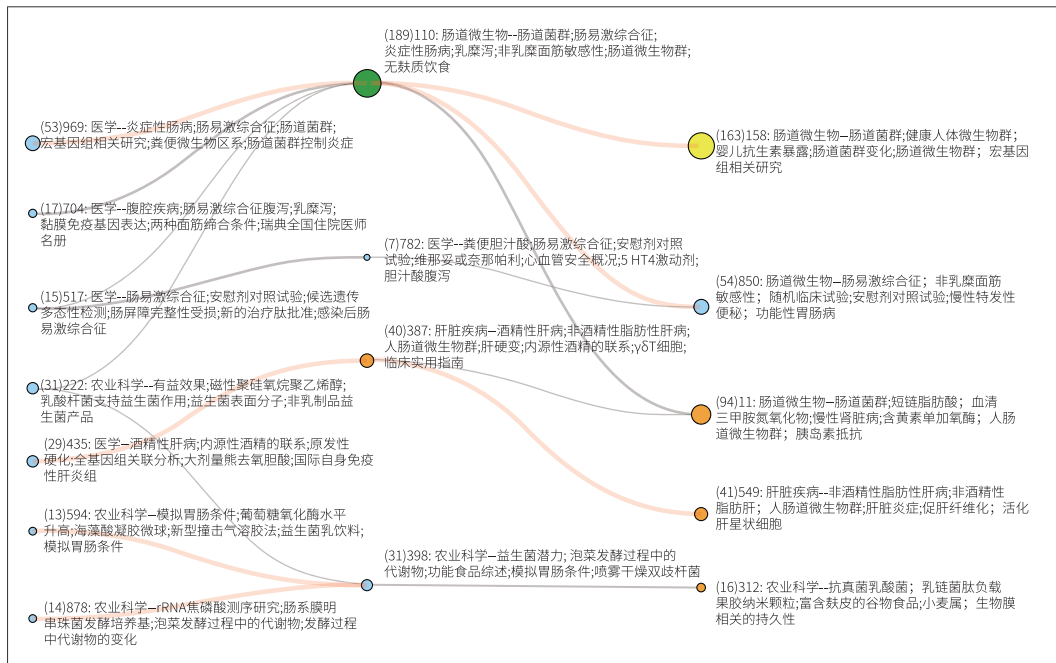


图 3-42 演变轨迹流 33

(十二) 肿瘤免疫治疗领域演变分析

肿瘤免疫治疗领域的文章数量由2010~2015年的274篇增至本期372篇；包含的研究前沿数由原来的50个增至本期94个；研究领域的数量保持不变，研究领域的布局结构见图3-43。文章篇数及包含的研究前沿数增幅明显，说明该领域的研究不断深入。从两期科学结构作者关键词(图3-44)的变化情况来看，2010~2015年的关键词主要有PD-L1、易普利单抗(Iplimumab)、自噬细胞(Autophagy)、免疫抑制(Immunosuppression)、人乳头状瘤(Human papillomavirus)、非小细胞肺癌(NSCLC)等。可看出当时研究人员的聚焦点在于各类癌症免疫疗法的研究。易普利单抗是一种单克隆抗体药物，能有效阻滞细胞毒性T细胞抗原-4(CTLA-4)。CTLA-4会影响人体的免疫系统，削弱其杀死癌细胞的能力。美国FDA于2011年3月25日批准Ipilimumab用于治疗晚期

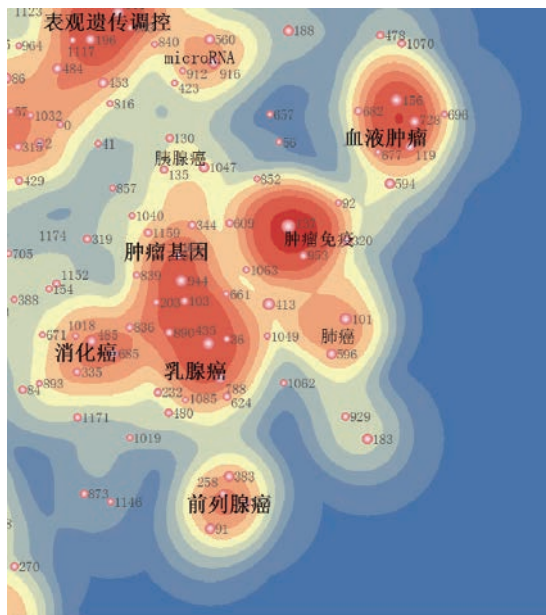


图3-43 肿瘤结构图

黑色素瘤。2012~2017年的关键词主要有PD-1、PD-L1、纳武单抗(Nivolumab)、易普利单抗(Iplimumab)、免疫组织化学(Immunohistochemistry)、黑色素瘤(Melanoma)等。本期可观察到纳武单抗药跻身关键词频次前4，说明研究人员给予其高度重视，纳武单抗药用于晚期鳞状非小



图3-44 肿瘤免疫治疗词云图 2010~2015



肿瘤免疫治疗词云图 2012~2017

细胞肺癌患者的治疗。同时从两期作者关键词中可看到 PD-1、PD-L1 出现的频次较高。PD-1 全称程序性死亡受体，是一种重要的免疫抑制分子，PD-L1 是 PD-1 的配体之一。人体的免疫系统具有帮助对抗疾病的 T 细胞，T 细胞可帮助机体杀灭产生特殊抗原反应的目标细胞。正常情况下免疫系统会对外来抗原产生反应，促进具有抗原特异性的 T 细胞增殖。而癌细胞通过表达 PD-L1 与 T 细胞表面的 PD-1 结合从而传导抑制性的信号降低 T 细胞的增殖，从而使 T 细胞失活并逃脱 T 细胞的攻击。

肿瘤免疫治疗的热点领域有黑色素瘤 (ID137)、肾癌 (ID953)。从科学演变轨迹

(图 3-45) 看，ID137 最初来源于转移性黑色素瘤、口服 MEK 抑制剂曲美替尼、突变特异性单克隆抗体 (ID254)，随后在 2010~2015 年分化为两个研究方向：一是口服 MEK 抑制剂曲美替尼、BRAF 突变型结直肠癌、转移性黑色素瘤 (ID985)；二是 PD-L1、晚期黑色素瘤、肿瘤相关巨噬细胞、免疫原性细胞死亡 (ID58)，最后以上两个研究方向又融合而成 ID137。ID953 最初来源于癌症治疗、肾癌患者、髓源性抑制细胞、肿瘤诱导耐受 (ID303)，随后其于 2010~2015 年融合研究领域 ID58 后于本期演变为研究领域 ID953。由研究领域的演变可看出研究人员的关注点从最初的传统疗法逐渐转移到免疫治疗中。

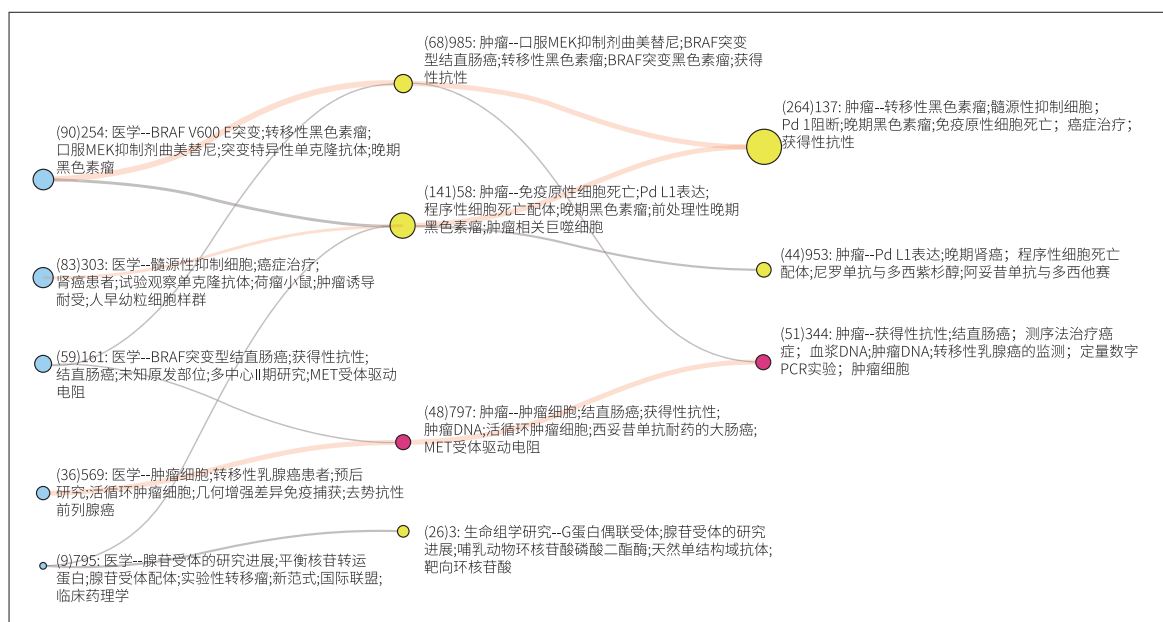


图 3-45 演变轨迹流 179

第四章

研究领域的学科交叉性、 新颖性以及对技术创新的影响

本章对研究领域进一步分析，分析研究领域的学科交叉性、识别新兴热点研究领域，以及与专利关联分析，识别对技术创新有影响的研究领域。

从学科交叉度分析，学科交叉研究领域主要集中在纳米科技及环境与生态中，包括“钙钛矿材料与器件”“纳米材料”“纳米催化”“储能材料与器件”“纳米生命科学”“环境治理”“生态学”“低碳经济”等；其次是与智能决策和智能控制相关的“无线通信与人工智能”“系统与控制”内的部分研究等；临床医学与生物科学的学科交叉研究领域相对较少，主要集中在“肠道微生物”“传染病研究”“社会医学”“孤独症”“肿瘤基因”等研究。天文学与物理学研究大类中的学科交叉研究领域最少。

新兴热点研究领域共97个，在医学、生物科学和交叉学科分布较集中，分别有26个、13个和11个。两个最大的新兴热点研究领域分别是“寨卡病毒”和“黑色素瘤治疗”相关研究，分别包含125篇和64篇论文，发现新病毒以及新疗法（技术）的出现是形成新的研究领域的主因。

本期科学结构中，约69%（816）的研究领域含有被专利引用的论文。超过10篇核心论文被专利引用的研究领域有273个，核心论文篇均被专利引用超过5次的有19个研究领域。被专利引用较多的研究领域主要是与工业结合紧密的方向或者关系到人类生命健康的研究方向。其中篇均被专利引用最高的研究领域为“基因编辑”中“利用CRISPR等编辑技术进行人、动物基因组编辑”，160篇核心论文中有131篇被专利引用，平均每篇论文被专利引用超过35次，是对技术影响最深的研究领域。其他篇均被引较高的领域还包括肿瘤治疗、转基因作物、计算机视觉、5G通信等多个和工业界与人类健康关系紧密的前沿。

一、研究领域的学科交叉性

本节通过分析研究领域与14个学科之间的关系，确定学科交叉研究领域与非学科交叉研究领域，并在图谱中形象展示学科交叉研究领域在科学结构图谱上的分布。并引入了第三代学科多样性指标，度量研究领域的学科交叉度，考察研究领域所涉学科的多样

性程度。

由于ESI的22学科中生命科学相关学科较多，为了弱化生命学科内部交叉，体现学科交叉均衡性，本报告将22学科归并为14学科，如表4-1所示。

表 4-1 ESI 22 学科与 14 学科映射表

ID	14 学科	ESI 22 学科
1	农业科学	农业科学
2	生物科学	生物与生物化学
		微生物学
		分子生物学与遗传学
		植物学与动物学
3	化学	化学
4	计算机科学	计算机科学
5	经济与商业	经济与商业
6	工程科学	工程科学
7	地球科学与环境	环境 / 生态学
		地球科学
8	材料科学	材料科学
9	数学	数学
10	医学	临床医学
		免疫学
		神经科学与行为科学
		药理学与毒理学
		精神病学 / 心理学
11	交叉学科	跨学科科学
12	物理学	物理学
13	社会科学	社会科学
14	空间科学	空间科学

研究领域的学科交叉性判断：研究领域中只要有一个学科的核心论文比例大于 60%，该研究领域属于该学科，否则，属于交叉学科。

按照研究领域的学科交叉性判断标准，本报告计算了每个研究领域所属的学科领域，其中属于交叉学科研究领域共 282 个。在科学结

构图上绘制学科交叉研究领域的分布情况，如图 4-1 所示。图中每个圆圈代表学科交叉研究领域，圆越大代表包含论文越多。从图谱中可

可以看出学科交叉研究领域集中在图谱的右上方纳米科技及中部的环境与生态中, 研究大类包括: “钙钛矿材料与器件” “纳米材料” “纳米催化” “储能材料与器件” “纳米生命科学” “环境治理” “生态学” 等; 其次较多集中于图谱左上方, 主要包括: “系统与amp;控制” “无线通信

与人工智能” 等; 图下半部分为临床医学与生物科学, 学科交叉研究领域相对较少, 主要集中在 “肠道微生物与健康” “传染病研究” “社会医学” “孤独症” 和 “肿瘤基因突变与靶向治疗” 等研究。天文学与物理学研究大类中的学科交叉研究领域最少。

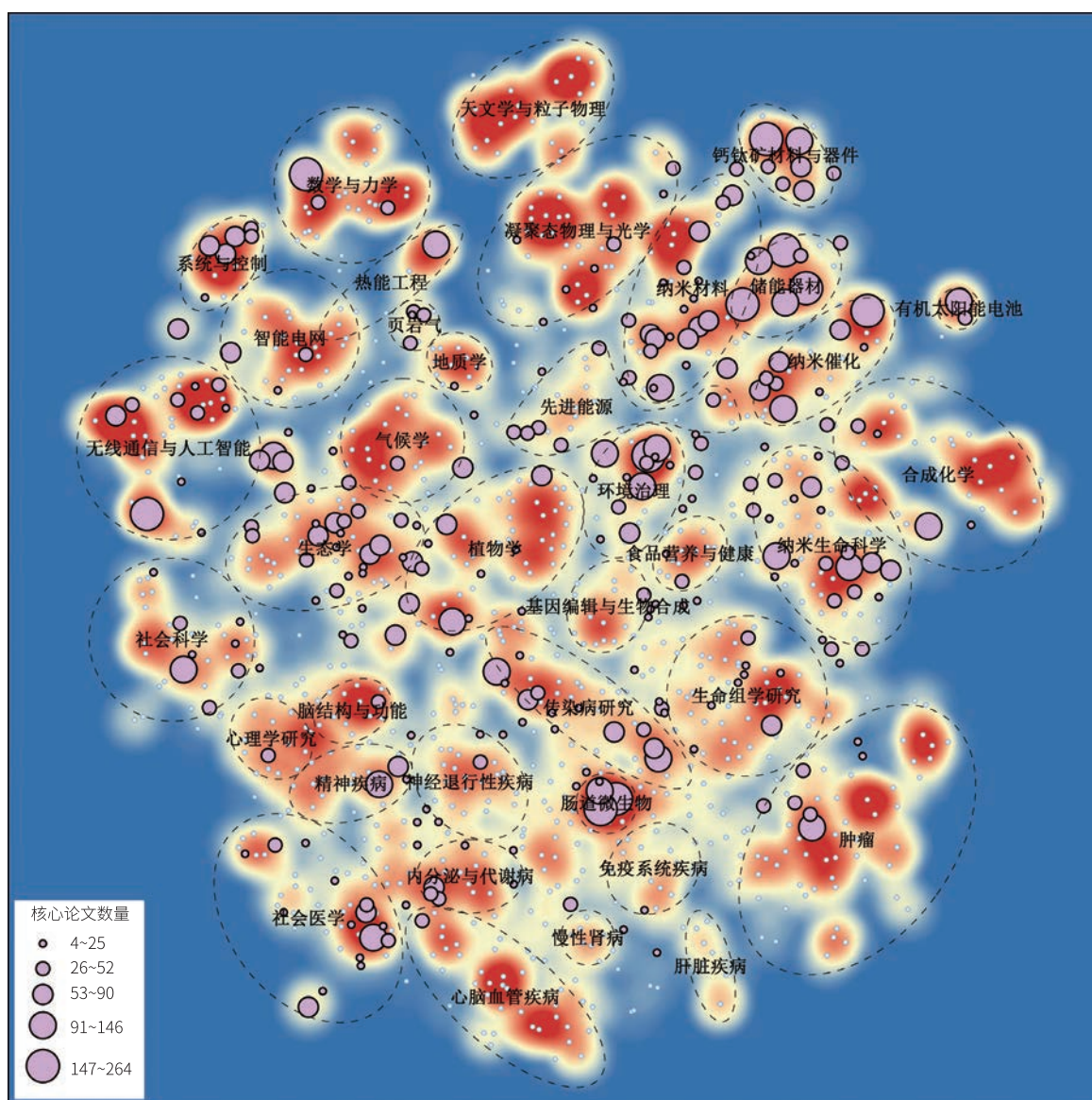


图 4-1 交叉学科领域在科学结构图中分布

表 4-2 列举了学科交叉度排名前 20 的研究领域，其中 11 个交叉度高的研究领域主要分布在图谱中热点区域的边缘或者外部（蓝色区域），不在研究大类内部。

表 4-2 学科交叉度排名前 20 的研究领域

研究领域 id	研究大类	关键词（部分）	交叉度	总论文数
210		空间计量经济学；预测信息准则；贝叶斯模型选择；空间数据分析；时空建模；颗粒物浓度；贝叶斯空间建模	4.5	15
198		推动学术数据共享；公平指导原则；科学数据管理；生物信息管道框架；研究资料	4.1	4
322	植物学	划定海洋哺乳动物亚种；划定鲸类的亚种；分子遗传分化；分子遗传标记；物种划分；分子遗传数据；计算生物学	3.99	12
895		第五几何算术指数；远程学习技术；本体相似度测量；分子结构；桥图；碳纳米锥；特征研究；本体映射；分子结构	3.88	4
217	社会科学	治疗效果异质性的估算；估算最佳治疗方案；通用多元匹配法；协变量平衡倾向评分；随机程序评价	3.75	23
680		局限性纹状体皱褶；哺乳动物大脑皮层；硬性膜；大脑皮质扩张；形态不稳定性；软性材料；宗族关系；外脑室	3.72	9
824		鱼类生物多样性交易；新热带洄游鱼类；湄公河流域；利益相关者管理研究；特大型建设项目；水电大项目发	3.68	13
414		变分模式分解；冠状动脉疾病；离散小波变换；癫痫脑电信号；癫痫信号的脑电信号检测；自动识别	3.58	56
753	传染病研究	直接医疗费用；大型社区爆发；军团菌病相关；纽约市；新兴军团菌诊断学；冷却塔；暴发调查；美国；军团病	3.54	5
902	生态学	生命周期评价；土地利用影响；膳食温室气体排放；有机农业；综合作物 - 牲畜系统；减少温室气体排放	3.54	54
482	社会科学	供应链管理；大数据；预测分析；混合数据抽样方法；数据密集型应用；情感分析；数据质量；商业智能；信息融合	3.53	16
111	无线通信与人工智能	生物地理学优化；快速的迭代阈值收缩算法；计算机辅助诊断；粒子群优化算法；基于 SSVEP 的切换控制	3.51	23
381	传染病研究	食源性致病菌；急性胃肠道疾病；大肠杆菌的比较；疾病负担；低水分活动食品；共源爆发；大肠杆菌 O157	3.51	17
181		新场景框架；气候变化；实现气候政策目标；国际人口迁移；二氧化碳排放量；制造或破坏气候	3.48	45
931		加性制造；3D 打印；热熔挤出长丝；备件供应链；三维印刷介质反射镜；轻型飞机部件；消费品制造业	3.38	22

续表

研究领域 id	研究大类	关键词 (部分)	交叉度	总论文数
597	社会科学	分享经济; 循环经济; 服务商业模式创新; 协同消费; 可持续创新; 非正规旅游住宿业; 制造企业绩效	3.3	36
809		全局灵敏度分析; 系统评价; 实用工作流; matlab 工具箱; 水文模拟; 理论框架; 最新进展; 策略场景; 灵敏度分析	3.27	8
928	无线通信与人工智能	大词汇量语音识别; 深度卷积神经网络; 大型语音任务; 最大乘积神经网络; 深度神经网络; 语音增强	3.27	18
1177		短期补充硒; 盲目安慰剂对照随机; 批判性评论; 硒态氮; 细胞死亡; 癌症治疗; 硒代谢; 分子途径; 人体健康	3.22	5
958		客观相干涡; 驱动微尺度斑块; 微分几何透视; 拉格朗日相干结构; 流体力学; 游动浮游植物; 形状相干性	3.22	15

二、新兴热点研究领域

本节通过分析科学结构图谱中本期研究领域与前期研究领域的关系，确定了新兴热点研究领域，并在图谱中通过坐标位置、大小形象展示。新兴热点研究领域判断方法：科学结构的研究领域包含的核心论文与前期科学结构研究领域的核心论文没有重合，表明该研究领域是全新高被引论文组成，即为新兴热点研究领域。新兴热点研究领域代表该领域正快速进入科研人员的视线，由于这些研究领域均由 ESI 高被引论文组成，因此形成热点前沿领域更有希望随着时间推移形成一个新的研究趋势。

新兴热点研究领域共 97 个 (表 4-3)，

包含新兴热点研究领域最多的学科为医学、生物科学和交叉学科，分别有 26 个、13 个和 11 个。其他新兴热点研究领域较多的学科为社会科学 10 个、工程科学 9 个、化学 7 个、地球科学与环境 6 个。从图 4-2 中可观察到医学研究领域较多的新兴热点研究领域分布在“神经与精神疾病”“社会医学”“传染病研究”和“心血管疾病”群组。

新兴热点研究领域普遍包含的核心论文数较少，包含 7 篇核心论文以上的研究领域有 44 个，其中核心论文超过 20 篇的研究领域只有 6 个。规模最大的两个新兴热点研究领域分别包含 125 篇和 64 篇论文，一个是

表 4-3 新兴热点研究领域学科分布

农业科学	生物科学	化学	计算机科学	经济与商业	工程科学	地球科学与环境
4	13	7	2	2	9	6
材料科学	数学	医学	交叉学科	物理学	社会科学	空间科学
4	2	26	11	1	10	0

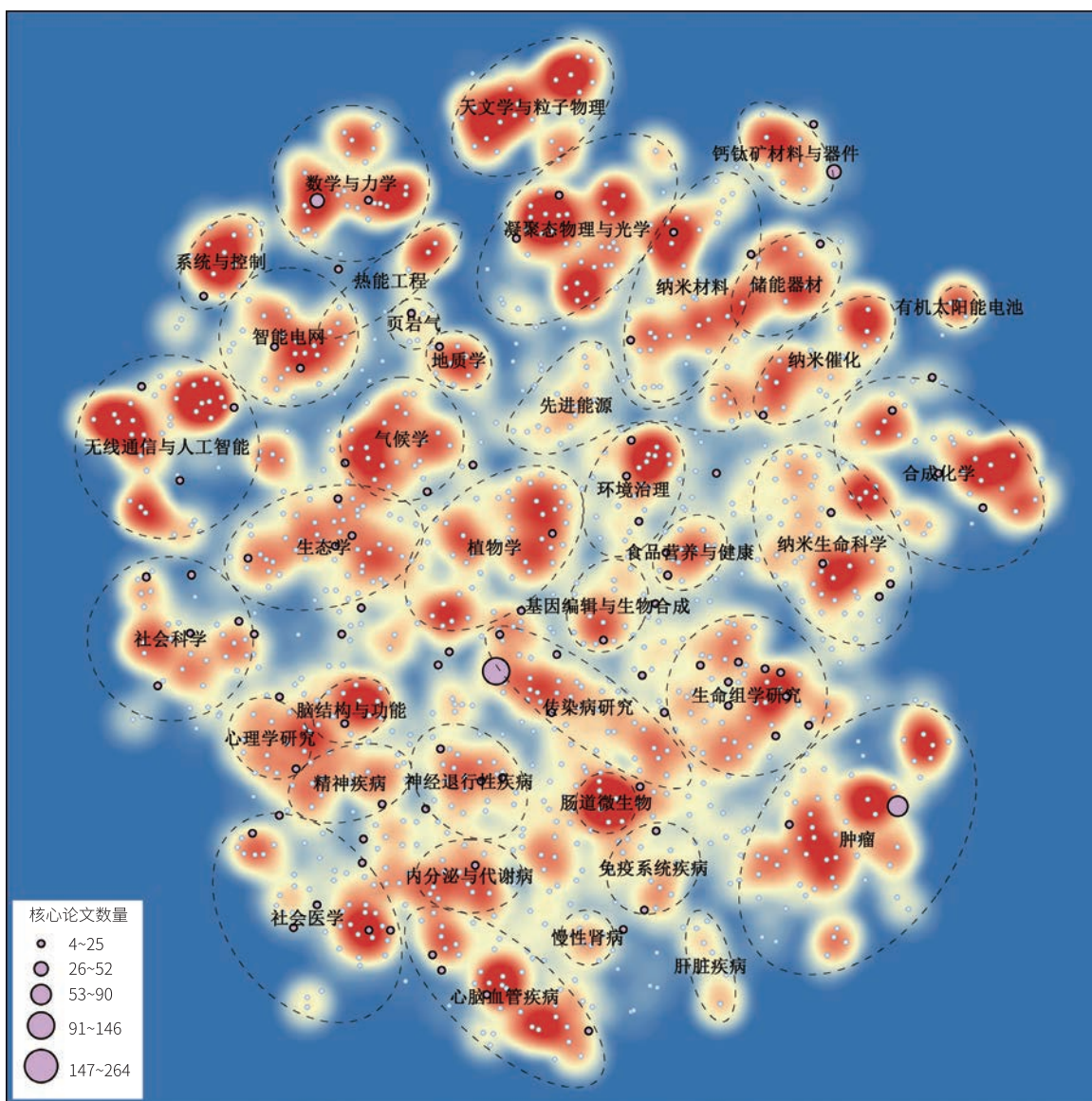


图 4-2 新兴热点研究领域在科学结构图中分布

“传染病研究”类中有关“寨卡病毒”的研究，另一个是“肿瘤免疫治疗”类中和“黑色素瘤治疗”相关的研究，新兴热点研究领域详情见表 4-4。从图 4-2 中可发现，绝大多数新兴热点研究领域分布在图中热点区域

的边缘或者外部，说明它们与其他研究领域共被引关系较弱，可能是研究内容新颖度高所致。新兴热点研究领域包含论文较少、位于图中热点区域边缘和外部也符合“新”研究领域的特点。

表 4-4 核心论文量排名前 20 的新兴热点研究领域

研究领域 id	研究大类	关键词 (部分)	总论文数
768	传染病研究	寨卡病毒感染；格林巴利综合征；齐卡病毒 RNA；美国大陆；法属波利尼西亚；波多黎各；垂直传播；离体 Zika 病毒复制；稳健的小鼠感染模型	125
320	肿瘤	晚期黑色素瘤；抗 PD 1 治疗；转移性黑色素瘤；反程序死亡配体；难治性转移性尿路上皮癌；尼罗单抗诱导横纹肌溶解症；神经系统不良事件	64
389		GLAS 中的图案化荧光粉；新无机固态；实现白光 / 可调排放；阳离子纳米颗粒的光致发光；氟化荧光体 K2MF6:Mn4+ 的合成；下一代白光 LED	34
945	数学与力学	李雅普诺夫不等式；分数阶微分方程；非线性偏微分方程；新分数阶模型；无奇异核；分数边值；分数阶；新积分变换算子；稳态热传导	28
18		回归不连续设计；准实验研究设计；访问可变性；流行病学因果推理；其他自我伤害；增强全球能力；评估假设；全因死亡率；冠心病；卫生系统	24
576	数学与力学	两相不可压缩流动；能量稳定方案；快速直接求解器；流体力学 q 张量模型；埃里希 - 施沃贝尔型能量；多分量流体流动；结构线性系统	21
124		市场化加工食用昆虫；营养成分；食物成分数据；食虫态度；食用昆虫；肉类替代品；黄粉虫；昆虫粉；保障粮食安全；营养观点	20
243		深度卷积神经网络；深轮廓感知网络；间质性肺疾病；乳腺癌病理组织学图像；MR 脑图像；肺型分类；酒渣鼻治疗；深度学习；计算机辅助检测	19
816		蛋白质相互作用；BAF 多梳复合反对称；变构性 PRC2 抑制剂靶向性；驱动结肠癌；化学探针工具箱；组蛋白 H3K9 甲基化；染色质 PRC1	19

续表

研究领域 id	研究大类	关键词 (部分)	总论文数
870	页岩气	求解不确定微分方程; 自发吸吮; 裂隙岩体; 岩石断裂; 纤维多孔介质; 压裂水平井; 受激储层体积; 非常规气藏; 表征流体流动; 水力特性表征	18
434	纳米催化	金属配位聚合物; 可见光光催化; 密度泛函理论研究; 金属有机框架; 气溶胶喷雾技术; 羟基改性二氧化钛; 上转换荧光粉 / 生物纤维复合材料	17
303	生命组学研究	胃癌; 结直肠癌; 非编码环状 RNA; sepallata3 的 circrna 调节; 新生物标志物; 上调的环状 RNA; 肠上皮细胞; 细胞增殖; 增殖因子; zkscan1 基因	16
309	肠道微生物	全身炎症; 减轻疾病严重程度; 神经免疫相互作用; 先天性淋巴样细胞; C1 神经元介导; 血脑屏障; 微生物免疫串扰; 类风湿性关节炎	15
466		美国心脏协会; 危险因素; 胎儿脑耗氧量; PACES/HR 专家共识声明; 成人先天性心脏病; 先天性心脏病; 胎儿心脏病; ISUOG 实践指南; 超声筛查	14
1029		基于功率密度分析; CFD 仿真; 性能优化技术的应用; 垂直轴风力发电机; 中尖速度比; 三参数威布尔分布; 风洞试验; 风能密度; 最大功率提取	14
824		鱼类生物多样性交易; 新热带洄游鱼类; 湄公河流域; 利益相关者管理研究; 特大型建设项目; 水电大项目发; 湄公河上游盆地; 河流泥沙供给	13
1134	生态学	保护大型古树; 非常年性地中海河流; 间歇性河流生态; 保护常年用水; 无脊椎动物群落响应; 关键生境; 干旱景观; 临时湿地; 间歇性河流	13
461		锂金属阳极; 石榴石固态电解质; Li-7La3Zr2O12 界面稳定性; 高结晶性的固体; 固体电解质电极界面; 锂固体电解质材料; 锂聚合物电池	12
570	凝聚态物理与光学	稀有区域效应; 玻璃态量子动力学; 平移不变分形; 亚维粒子结构; 量子 Floquet 物质; 周期性驱动; 临界性质; 局部积分; 遍历侧; 自旋液体	12
797		打破纪录潜水; 中频主动声纳; 噪声对觅食的负面影响; 蓝鲸回应; 印制电路板污染; 豚鼠; 研究记录; 反捕食者行为; 岸蟹; 声学测量; 生态调查	12

三、对技术创新有影响的研究领域

本节通过分析研究领域中被专利引用的情况发现各研究领域对技术的影响，并通过叠加核心论文份额的方式形象的展示在科学结构图谱上。

本期科学结构中，共有 816 个研究领域至少一篇核心论文被专利引用，约占 69% 的研究领域，但多数研究领域内只有个别核心论文被专利引用。一个研究领域内超过 10 篇核心论文被专利引用的有 273 个，约为 23%，本节着重统计分析 273 个对技术影响较大的研究领域。

被专利引用的研究领域出现最多的学科为生物科学、医学和化学，分别有 98 个、58 个和 49 个研究领域（表 4-5）。材料科学、物理学和工程科学各有 21 个、19 个和 15

个。图 4-3 绘制了 273 个被专利引用研究领域在科学结构图中的分布情况。从图中发现，被专利引用的较多的研究领域主要是与工业结合紧密的方向或者关系到人类健康的研究方向，如图谱上半部分右侧的材料、化学学科下的研究大类，包括“纳米材料”“储能材料与器件”“合成化学”“纳米催化”等方向。也包括图谱左侧工程、计算机科学相关的“无线通信与人工智能”等研究大类。此外，在图谱中部和下部对人类疾病与健康相关的研究方向同样是被专利引用最多的区域，包括“肿瘤”“心血管疾病”“肠道微生物”“传染病研究”“纳米生命科学”和“生命组学”等，这些研究大类的科学研究向技术转换已经形成了一定规模。

表 4-5 被专利引用的研究领域学科分布

农业科学	生物科学	化学	计算机科学	经济与商业	工程科学	地球科学与环境
0	58	49	5	0	15	1
材料科学	数学	医学	交叉学科	物理学	社会科学	空间科学
21	0	98	6	19	0	0

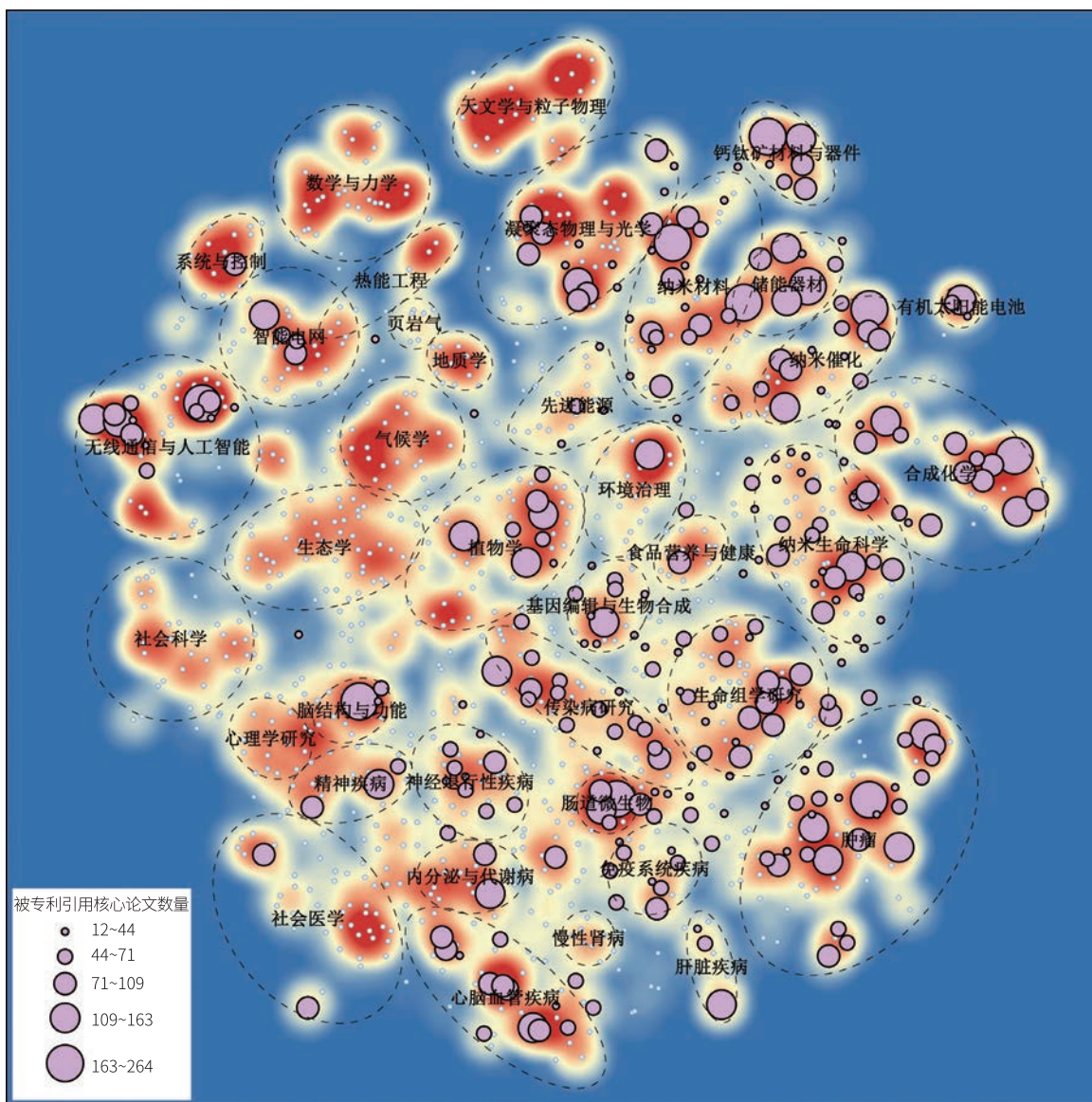


图 4-3 被专利引用研究领域在科学结构图中分布

图中部分区域的研究领域内核心论文极少被专利引用，这些研究领域多数都与工业界关系较远，通常是不能直接转换成生产力的学科，比如“天文学与粒子物理”“数学与力学”“社会科学”“生态学”几乎没有论文被专利引用。但也有例外，比如“先进能源”，先进能源研究一旦成功，必然会大大

推动人类生产力进步，但该研究大类中核心论文被专利引用数量相比其他材料器件方向非常少，也可能是因为研究阶段尚处在理论探索阶段，未能形成从科学研究向生产力转移。

这些对技术创新有影响的研究领域中核心论文篇均被专利引用超过 5 次的有 19 个研

究领域，其中被引最多的研究领域是“基因编辑”中“利用 CRISPR 等编辑技术进行人、动物基因组编辑”的研究，共有 160 篇核心论文，有 131 篇被专利引用，平均每篇论文被专利引用超过 35 次，是对技术影响最深

的研究领域。其他篇均被引较高的研究领域还包括肿瘤治疗、转基因作物、计算机视觉、5G 通信等多个和工业界与人类健康关系紧密的前沿。篇均被专利引用量排名前 20 的研究领域详见表 4-6。

表 4-6 篇均被专利引用量排名前 20 的研究领域

研究领域 id	研究大类	关键词 (部分)	被专利引用论文数	篇均被专利引用数
192	基因编辑与生物合成	人细胞; 哺乳动物细胞; CRISPR/Cas9 介导的基因编辑; CRISPR/Cas9 系统; 靶向 DNA 脱甲基	131	35.4
594	肿瘤	B 细胞恶性肿瘤; 先导性临床试验结果; 复发难治性慢性淋巴细胞性白血病; B 细胞急性淋巴母细胞瘤	56	13.88
1038	无线通信与人工智能	基于视觉的车辆检测; 机器人视觉; 鲁棒文本检测; 更快的 R/CNN; 行人检测; 选择性搜索; 目标识别	12	11.58
422	心脑血管疾病	顽固性高血压; 肾失神经支配; 导管式肾失神经支配; 肾交感神经去神经; 辛氨酸 HTN 3 试验	22	11.38
1071	基因编辑与生物合成	晶体结构; CISPRO/CAS 系统; CCRPCA/CPF1 核酸酶; CISPR/CAS 核酸酶; CISPRO/CAS 免疫系统的适应	28	11.13
778	纳米生命科学	细胞穿透肽; 癌症治疗; 透明质酸 / 壳聚糖纳米粒; 转甲状腺素蛋白相关家族性淀粉样多发性神经病	26	8.97
137	肿瘤	转移性黑色素瘤; 髓源性抑制细胞; Pd 1 阻断; 晚期黑色素瘤; 免疫原性细胞死亡; 癌症治疗; T 细胞	195	7.31
957	基因编辑与生物合成	陆地棉; 易感基因 CsLOB1 启动子; 靶向基因突变马铃薯; 水稻靶向突变体; 大麦转化子; 植物基因组编辑	31	7.23
860	无线通信与人工智能	软件定义网络; 网络功能虚拟化; 面向软件定义的移动网络; 软件定义无线网络; 并行多径数据传输	18	6.5
772	免疫系统疾病	随机对照试验; 活动性银屑病关节炎; 与阿达木单抗比较; 安慰剂对照研究; 口服磷酸二酯酶; 中重银屑病	22	6.16
462	无线通信与人工智能	三维目标检索; 基于多模态图的重排; 目标识别; 微软 Kinect 传感器; 活动识别; 跌倒检测; 弱监督图像分割	22	5.69

续表

研究领域 id	研究大类	关键词 (部分)	被专利引用论文数	篇均被专利引用数
344	肿瘤	获得性抗性; 结直肠癌; 测序法治疗癌症; 血浆 DNA; 肿瘤 DNA; 转移性乳腺癌的监测; 肿瘤细胞	33	5.43
944	肿瘤	小细胞肺癌; 乳腺癌; 异种移植瘤; 肌层浸润性膀胱癌; 体细胞点突变; 肿瘤浸润淋巴细胞; 体细胞突变	75	5.41
622	传染病研究	CD4 结合位点; 人源化小鼠; 结合的人类抗体; 爱滋病病毒; 单克隆抗体治疗; HIV 1 感染细胞; 疫苗接种	37	4.89
552	纳米生命科学	新型高效纳米治疗剂; 呼吸道合胞病毒感染; 肉毒神经毒素; 疫苗投递; 口服 GS 5806 活性; H 型肉毒毒素	12	4.57
1042	无线通信与人工智能	毫米波 MIMO 系统; 大型天线系统; 毫米波信道建模; 毫米波波束形成; 毫米波通信; 空间调制; MIMO 系统	42	4.35
897	传染病研究	HIV 感染; 环磷酸腺苷合成酶; 细胞固有免疫力扩散; 功能突变增益; 细胞 DNA 检测; X 射线晶体结构	38	4.29
728	肿瘤	复发性慢性淋巴细胞性白血病; 利妥昔单抗联合环磷酰胺; 套细胞淋巴瘤; 瓦尔登斯特罗氏巨球蛋白血症	37	4.24
405	纳米生命科学	口服给药; 脂质体药物递送系统; 维生素 E TPGS; 酸性敏感的纳米系统; 纳米载体治疗剂	54	4.13



第五章

中国及代表性国家 科学研究活跃度

本章选取中国及其他发达国家和发展中国家中有代表性的 11 个国家（包括美国、英国、德国、法国、日本、澳大利亚、韩国、俄罗斯、印度、巴西、南非）作为主要研究对象，采用核心论文和施引论文份额分析这些国家的整体科研活跃度，以及在学科交叉研究领域、新兴热点研究领域及对技术创新有影响的研究领域中的科研活跃度。报告选取“分数计数法”作为国家论文份额计算的方法。

观察中国：

中国在世界热点研究领域中的科研发展迅猛。中国的核心论文份额稳居世界第二位，较上一期增长 2.6 个百分点，增幅 23%，2012~2017 年，中国的核心论文份额接近世界排名第三的英国的 2 倍。除澳大利亚外，同期传统科技强国整体核心论文份额呈下降趋势，德国、日本的核心论文份额降幅均超过 10%。法国、日本两期的世界排名均有所下降，其中法国世界排名从第五位下降到第七位，日本世界排名从第九位下降到第十位。

中国科研优势研究领域逐步稳固，与美国形成了明显的互补关系。中国优势研究领域主要位于图的上半部分偏右，涵盖纳米科技、计算机与工程，以及环境治理等，中国在位于图下部的“医学”“社会科学”“经济与商业”“生物科学”四个大类中所占份额相对较少。

中国的研究领域覆盖率从世界排名第五位上升到第四位，且覆盖率呈现显著上升趋势，从 66.7% 上升到 72.0%。核心论文份额高于 12% 的研究领域覆盖率同样呈现增长态势，从 23.3% 增长到 31.2%，增幅明显高于研究领域覆盖率的上升幅度。新增研究领域的覆盖率也有小幅增长，从 48.3% 增长到 49.5%。但中国仍有 28% 的研究领域没有发文，核心论文份额 3%~7%、1%~3% 与 0%~1% 三个区间占比都在 10% 以上。

一、中国及代表性国家整体科研活跃度时序发展

（一）核心论文份额分析

图 5-1 显示了近两期世界排名前 30 位的国家或地区在全部研究领域的核心论文份额变化情况。结合中国及代表性国家在两个时期核心论文份额及排名的变化分析（表 5-1），美国的核心论文份额依旧以绝对优势位居世界第一位，但是呈现明显下降趋势，在世界的核心论文份额下降 2.5 个百分点。

中国的核心论文份额稳居世界第二位，依旧保持强劲的增长势头，较上一期增长 2.6 个百分点，增幅 23%。英国、德国、法国、日本的核心论文份额均有所下降，下降范围在 0.2~0.7 个百分点之间。其中英国、德国分列世界排名的第三、第四位，两期排名没有变化，但德国的降幅为 11.6%，远高于英国 3.1% 的降幅。法国、日本两期的排名均



图 5-1 全研究领域中国国家及地区核心论文份额（前 30 位）

有所下降，其中法国世界排名下降 2 位，从 2010~2015 年第五位，下降到 2012~2017 年第七位，降幅为 8.2%；日本世界排名从第

九位下降到第十位，降幅为 10.8%。澳大利亚核心论文份额呈现增长趋势，且增长速度较快，达到 10.0%，排名上升 1 位，位居世

表 5-1 中国及代表性国家核心论文份额增长率及排名变化

时期	美国	中国	德国	英国	日本	法国	澳大利亚	韩国	印度	巴西	俄罗斯	南非
2010~2015 年 / 篇 (共 44 495 篇)	16 483.3	5 107.2	2 793.1	3 304.1	1 157.8	1 521.4	1 288.8	652.6	432.8	190.9	117.2	103.9
2010~2015 年 / % 份额	37.05	11.48	6.28	7.43	2.60	3.42	2.90	1.47	0.97	0.43	0.26	0.23
2010~2015 年 / 排名	1	2	4	3	9	5	7	13	18	25	34	35
2012~2017 年 / 篇 (共 46 405 篇)	16 029.4	6 550.2	2 574.0	3 341.1	1 076.5	1 457.9	1 479.3	663.4	504.7	268.5	143.0	126.1
2012~2017 年 / % 份额	34.54	14.12	5.55	7.20	2.32	3.14	3.19	1.43	1.09	0.58	0.31	0.27
2012~2017 年 / 排名	1	2	4	3	10	7	6	13	15	21	33	36
核心论文份额 增长率 / % (同上一期比较)	-6.77	23.00	-11.62	-3.10	-10.77	-8.19	10.00	-2.72	12.37	34.88	19.23	17.39
排名变化	0	0	0	0	↓ 1	↓ 2	↑ 1	0	↑ 3	↑ 4	↑ 1	↓ 1
2010~2015 年 / % 份额 (原算法)	36.97	14.20	6.70	6.27	2.79	3.25	2.64	1.74	0.73	0.34	0.19	0.20
2010~2015 年 / 排名 (原算法)	1	2	3	4	7	5	8	13	19	26	35	34

界第六，仅次于世界排名第五的加拿大。尽管韩国在世界的排名维持在第 13 位，但其份额略有下降，降幅为 2.7%。作为金砖五国的成员国，与其余代表性国家相比，印度、巴西、俄罗斯、南非四个国家的核心论文份额均有所上升，且增幅均在 10% 以上，但从总量上来看仍处于相对较低的水平，排名也相对靠后，仅印度、巴西进入了世界排名前 30 位。其中，印度核心论文份额超过 1 个百分点，增幅为 12.4%，世界排名上升 3 位，

位居第 15 位；巴西核心论文份额增幅接近 35%，世界排名上升 4 位，位居第 21 位；俄罗斯核心论文份额增幅为 19.2%，世界排名上升 1 位，位居第 33 位；南非核心论文份额增幅为 17.4%，但世界排名下降 1 位，位居第 36 位；马来西亚世界排名从第 31 位提高到第 30 位，而希腊的世界排名跌出前 30，从第 28 位下降到第 32 位。

综上所述，除澳大利亚外，代表性国家中的发达国家整体核心论文份额呈下降趋势，

发展中国家呈上升趋势。中国、巴西核心论文份额上升幅度较大,增幅均超过20%。俄罗斯、南非、印度增幅次之,增幅均超过10%。澳大利亚核心论文份额有所增加,增幅为10%。德国、日本核心论文份额降幅均超过10%,下降幅度较大。法国、美国降幅次之。英国、韩国降幅在3%左右,下降幅度相对较小。

与算法改进前对比(表5-1后两行),2010~2015年新旧科学结构图谱中,不同国家在世界的排名稍有不同。算法改进前被选入图谱中的研究领域是包含6个研究前沿以上的,有200多个,核心论文数量2万篇左右;算法改进后,选入的研究领域1000多个,核心论文数4.5万篇左右。可以看出,不同论文量世界排名变化最大的是日本,之前日本排名世界第七,扩大核心论文量后是世界第九。从核心论文世界份额来看,论文量扩大后,美国、英国、法国、澳大利亚、印度、巴西、俄罗斯、南非的份额相对增多;中国、德国、日本、韩国的份额相对减少,说明这四个国家在大研究领域(至少6个研究前沿)布局较多,参与小研究领域的科研相对较少。

图5-2显示了中国及10个代表性国家在两个时期内核心论文份额的年度变化情况。在每个时期内,美国的核心论文份额均呈现下降趋势,从2012年的39.2%下降到2017年的29.1%,但仍稳居世界首位。

中国科研发展迅猛,核心论文份额稳居

世界第二,与美国的差距逐步减小,与除美国外的其他国家优势逐步拉大。中国在两期科学结构年平均增长率分别为11.5%、14.4%,每个年度的核心论文份额都远超出英国、德国。本期科学结构中,中国核心论文份额在2013年接近德国的2倍,2015年为英国的2倍、德国的2.6倍,2017年为英国的3倍、德国的4倍。中国与美国的差距逐步缩小,从2012年为美国的1/4,2016年多于1/2,到2017年接近美国的3/4。

英国核心论文份额略有下降,但总体发展水平稳定,每个时期内的总趋势基本一致,每个年度的核心论文份额基本保持在7%以上,仅2017年下降到6.12%。德国核心论文份额降幅高于英国,两期科学结构年平均增长率分别为6.27%、5.54%。日本、法国、韩国核心论文份额也有所下降,与其他代表性国家的差距越来越小。澳大利亚增幅明显,两期科学结构年平均增长率分别为2.89%、3.18%。其他国家总体呈上升趋势,但仅占据世界较小份额。

(二) 施引论文份额分析

本报告中,核心论文是研究领域中的高被引论文,引用这些核心论文的施引论文是这个研究领域的跟进研究或前沿研究。这两种论文份额在各自的角度反映国家在某个研究领域专业化水平的程度。

表5-2显示了中国及11个代表性国家在两个时期的施引论文份额对比,图5-3显示了中国及10个代表性国家在各个时期内的

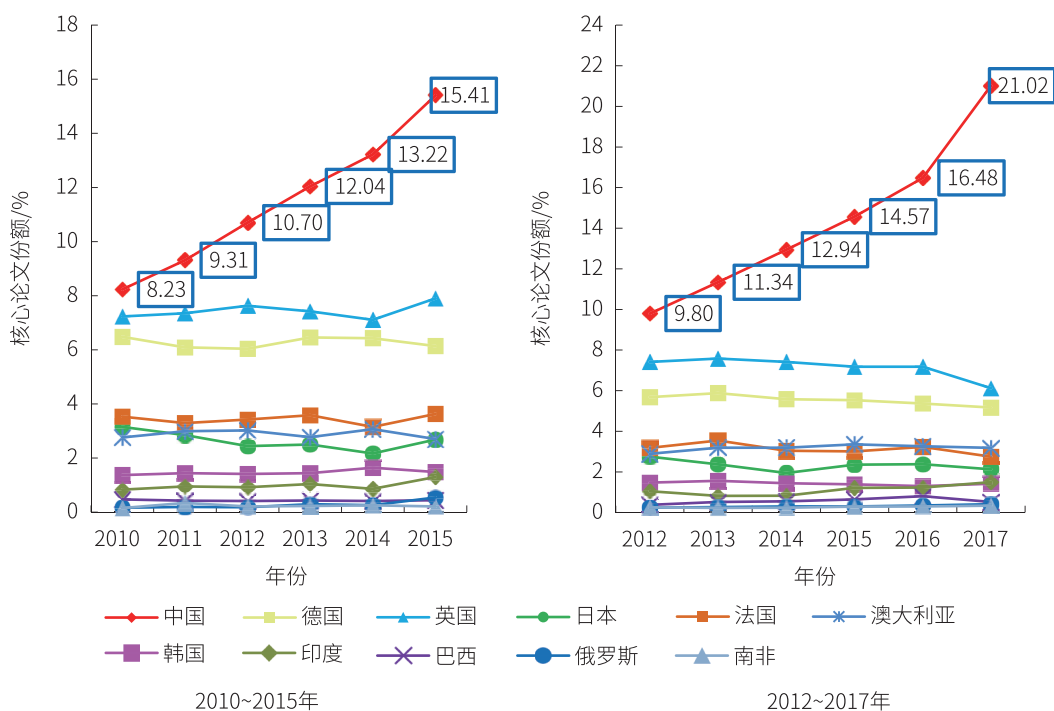


图 5-2 每个时期内中国及代表性国家的核心论文份额变化趋势

注：美国的份额远超其他国家，图中略去美国的数据

表 5-2 中国及代表性国家施引论文份额对比

时期	全部施引论文的份额											
	美国	中国	德国	英国	日本	法国	澳大利亚	韩国	印度	巴西	俄罗斯	南非
2010~2015 年	27.13	14.77	5.84	5.64	4.00	3.62	2.87	2.56	2.16	1.31	0.69	0.35
2012~2017 年	24.92	18.13	5.34	5.35	3.62	3.30	2.90	2.55	2.50	1.41	0.80	0.39
增长率/% (同第一期比较)	-8.1	22.7	-8.6	-5.1	-9.5	-8.8	1.0	-0.4	15.7	7.6	15.9	11.4

施引论文份额变化趋势（不含美国）。对比图 5-2 和图 5-3，各个国家施引论文份额的变化趋势与核心论文份额的变化趋势基本一致。在每个时期，中国的施引论文份额始终处于快速增长状态，但总增长率较核心论文略低。德国、英国、日本、法国、韩国等发达国家整体表现为下降趋势，与除美国、中国外的

其他代表性国家相比，优势越来越不明显。代表性发达国家中，仅澳大利亚施引论文份额小幅提升，增幅为 1%。金砖国家虽仅占相对较小的份额，但总体上呈上升趋势，且印度、俄罗斯、南非的施引论文份额增长幅度较大，均超过 10%。

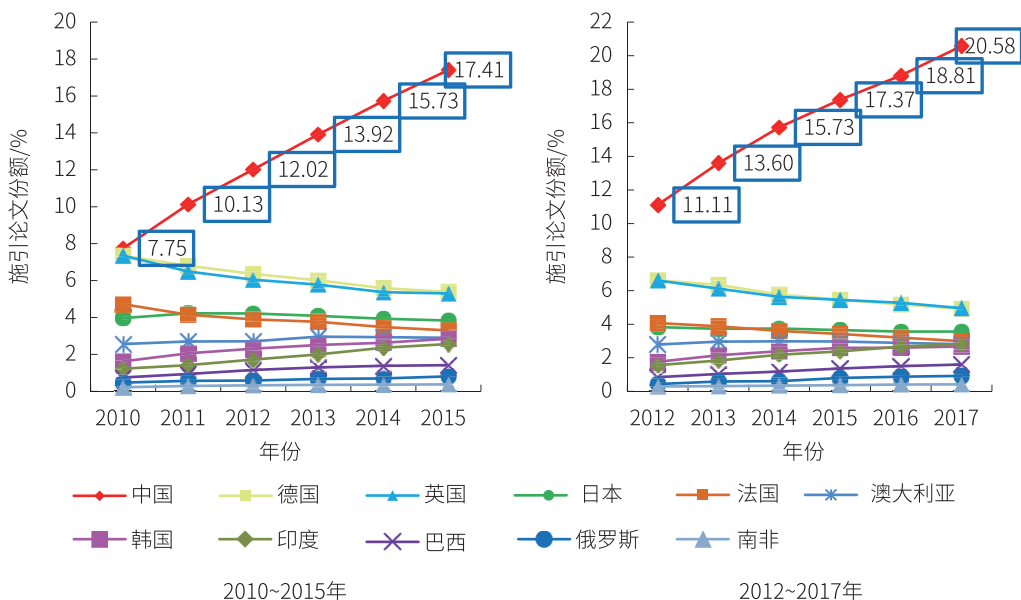


图 5-3 每个时期内中国及代表性国家的施引论文份额变化趋势

注：美国的份额远超其他国家，图中略去美国的数据

二、基于科学结构图谱观察中国及代表性国家科研活跃度时序发展

（一）中国及代表性国家科研覆盖及份额分布

表 5-3 统计了中国及代表性国家有发表核心论文（覆盖）的研究领域。图 5-4 显示了中国及代表性国家核心论文份额的整体分布情况。通过对比可以看出，美国基本覆盖科学结构图谱全部的研究领域，占比维持在 97% 左右，但本期覆盖率略有下降，从 97.0% 降到 96.3%。核心论文份额 12% 以上的研究领域占比极高，但同样呈下降趋势，

从 85.7% 降到 83.1%，累计下降 2.6 个百分点。新增研究领域（与前期研究领域没有重叠论文）覆盖率明显增加，占比均高于 80%，且本期占比增加到 84.5%。

中国的研究领域覆盖率世界排名从第五位上升到第四位，覆盖率从 66.7% 上升到 72.0%。核心论文份额高于 12% 的覆盖率同样呈现增长态势，从 23.3% 增长到 31.2%，增幅明显高于研究领域覆盖率的上升幅度。新增研究领域的覆盖率也有小幅增长，从

表 5-3 中国及代表性国家科研覆盖的研究领域统计

分类	时期 / 年 (总量)	美国	中国	德国	英国	日本	法国	澳大利 亚	韩国	印度	巴西	俄罗斯	南非
发文研究 领域数	2010~2015 (1 084)	1 051	723	857	901	562	746	715	415	346	273	225	180
	2012~2017 (1 169)	1 126	842	869	974	596	780	766	444	389	368	239	199
占全研究领域 数比例 /%	2010~2015	97.0	66.7	79.1	83.1	51.9	68.8	66.0	38.3	31.9	25.2	20.8	16.6
	2012~2017	96.3	72.0	74.3	83.3	51.0	66.7	65.5	38.0	33.3	31.5	20.4	17.0
超出该国世界 份额的研究领 域数	2010~2015	526	262	383	442	264	374	360	208	188	170	137	123
	2012~2017	580	330	422	488	295	404	375	229	223	222	160	154
新增研究领域 中无发文研究 领域数	2010~2015 (87)	16	45	47	40	69	60	61	76	74	80	81	83
	2012~2017 (103)	16	52	59	43	84	69	65	92	86	84	96	91

48.3% 增长到 49.5%。但 2012~2017 年，中国还有 28.0% 的研究领域没有发文，核心论文份额 3%~7%、1%~3% 与 0%~1% 三个区间占比在 10% 以上，分别为 11.1%、10.0% 与 11.6%。

英国、德国研究领域覆盖率世界排名稳定在第二、第三位，其中，英国研究领域覆盖率出现了小幅上升，从 83.1% 增长到 83.3%，且 2012~2017 年，头部占比明显，核心论文份额 >12%、7%~12% 与 3%~7% 三个区间占比均超过 20%，分别为 22.8%、20.0% 与 22.7%。德国研究领域覆盖率降幅明显，从 79.1% 下降到 74.3%，且 2012~2017 年，核心论文份额为 0 与 3%~7% 两个区间

的论文占比超过 20%，其中区间 0（无发文）占比 25.7%，区间 3%~7% 占比 23.0%。两国核心论文占比低于 1% 的研究领域持续减少，2012~2017 年，英国占比 5.1%，德国占比 6.0%。

法国、澳大利亚的覆盖率均在 60% 以上，但总体呈现下降趋势，其中法国的覆盖率降幅略大，从 68.8% 下降到 66.7%，澳大利亚的覆盖率降幅较小，从 66.0% 下降到 65.5%。这两个国家覆盖的研究领域，大部分核心论文份额集中在 1%~3% 与 3%~7% 两个区间。本期中，法国核心论文份额最大的区间为 3%~7%，占比 20.6%；澳大利亚核心论文份额最大的区间为 1%~3%，占比 19.3%。

日本、韩国的覆盖率总体呈现下降趋势，日本覆盖率总体维持在 50% 以上，韩国维持在 38% 以上；本期中，除去无发文的研究领域，日本核心论文份额 3%~7%、1%~3% 与 0%~1% 三个区间占比均在 10% 以上，分别为 11.8%、16.5% 与 13.6%，韩国核心论

文份额超过 10% 的区间分别为 0%~1% 与 1%~3% 两个区间。俄罗斯、印度、巴西、南非所占份额均比较小，有核心论文发表的研究领域大部分处于 0%~1% 之间。新增领域中各国发文领域占比普遍低于在全部领域中的占比。

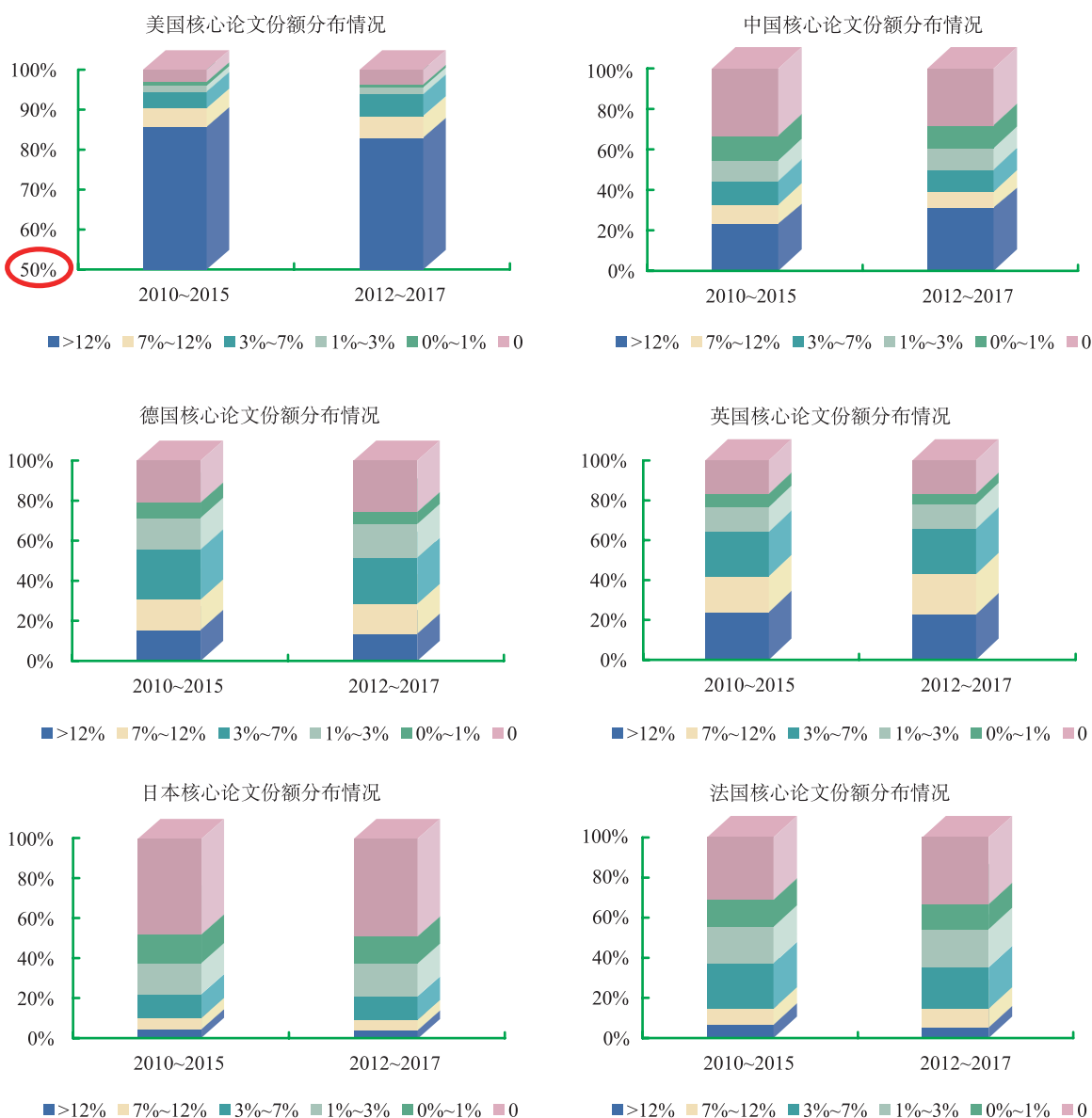


图 5-4 中国及代表性国家核心论文份额分布情况

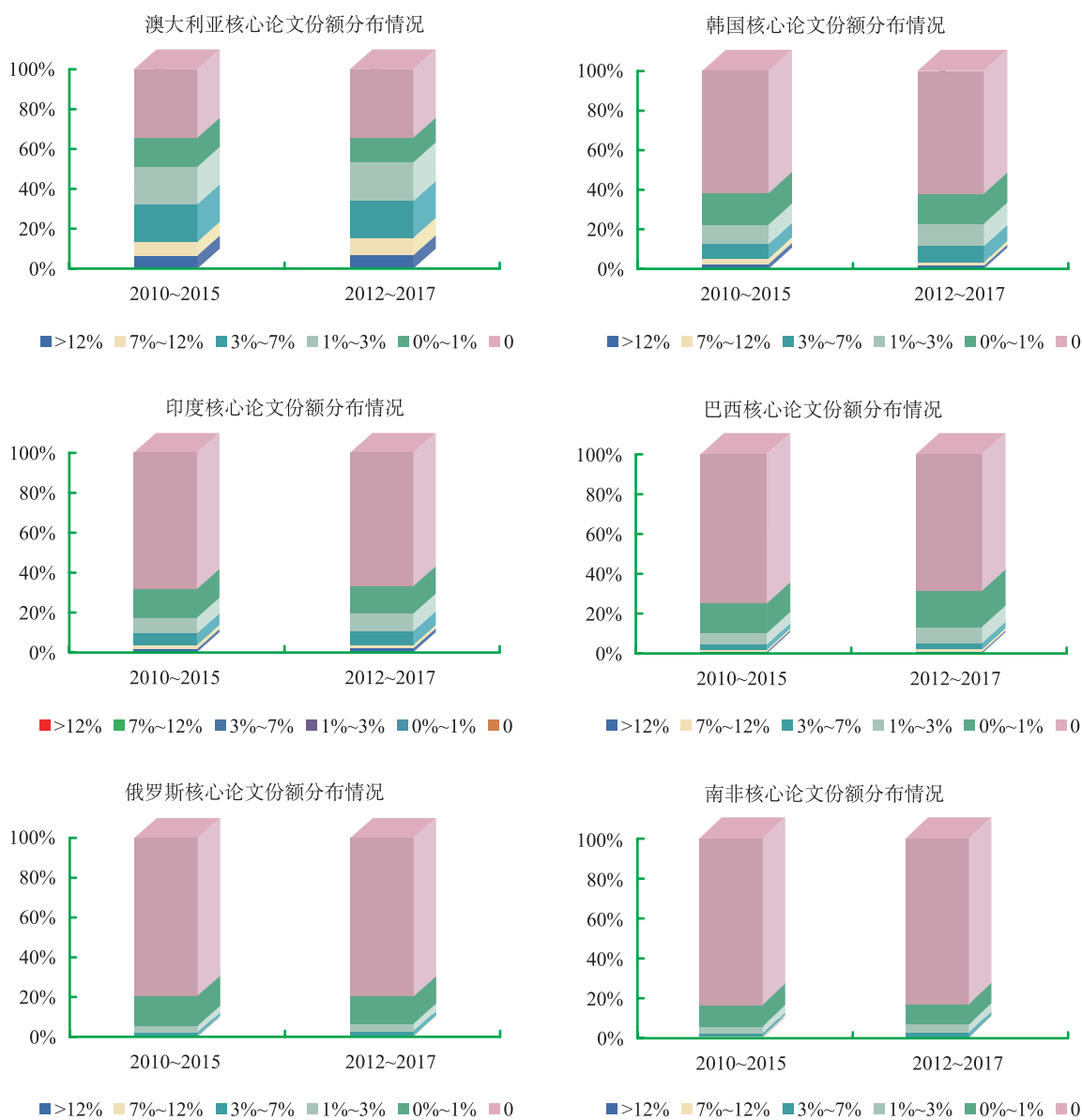


图 5-4 中国及代表性国家核心论文份额分布情况（续）

（二）中国及代表性国家在科学结构图谱中各研究领域的科研活跃度

基于两个时期的科学结构图谱，叠加主要国家在不同研究领域中核心论文份额，观察这些国家在不同研究领域的分布变化，颜色越暖的区域份额越高，如图 5-5 和图 5-6

所示。由于各国核心论文密度范围差距较大，美国核心论文份额远高于其他国家，为对比分析，图例中，中国、美国的核心论文密度一致，取 2012~2017 年中国的密度范围，密度间隔使用自然间断点分级法 Jenks，范围为 0~0.043；其他国家的核心密度范围一致，

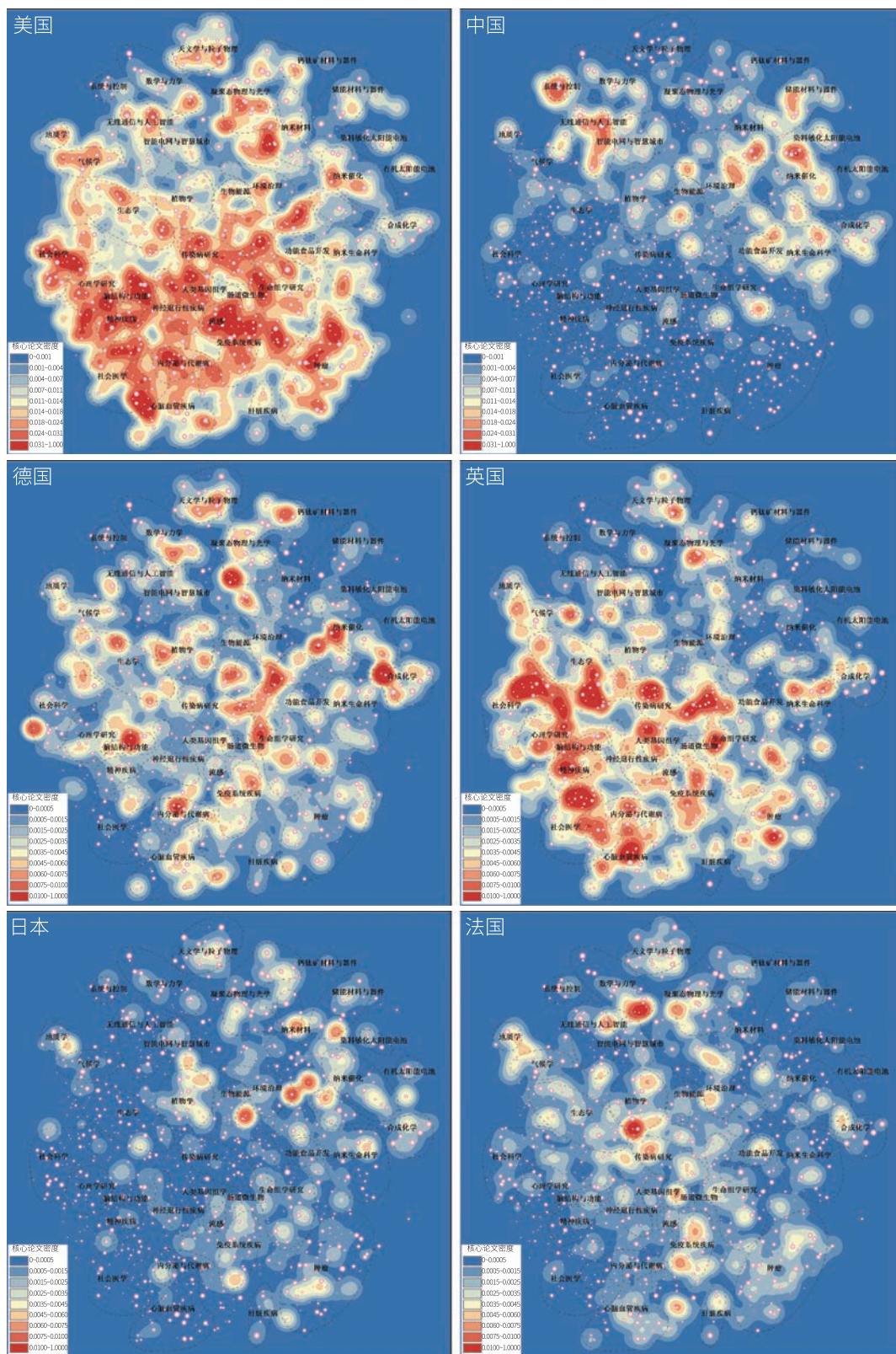
最后间隔的起始值为 0.010。

中国科研优势研究领域逐步稳固，与美国形成了明显的互补关系。中国优势研究领域主要集中位于图的上半部分偏右，主要涵盖纳米科技、计算机与工程，以及环境治理等。从叠加图中可见，中国在“无线通信与人工智能”“系统与控制”“环境治理”“微分方程”“纳米催化”“石墨烯材料”“低碳经济”等研究大类或研究群组中优势较为明显，其次是“纳米药物”“柔性材料与器件”“医用发光材料”“表观遗传调控”“有机合成化学”“智能电网”“页岩气”“地质学”“超材料”“储能材料与器件”“生物能源”“食品营养与健康”“植物基因调控”“钙钛矿材料与器件”“有机太阳能电池”等研究大类或研究群组。在“神经退行性疾病”“眼疾病”“传染病研究”里的“细菌传染病”“极端气候”等研究领域群组，以及“天文学与粒子物理”“社会科学”里的“新经济模式”等部分研究领域也有一定的份额。相比较而言，中国在位于图谱下部的“医学”“生物科学”“社会科学”“经济与商业”四个大类中所占份额相对较少。

从中国核心论文份额本国排名靠前的研究领域（附录 1）分析中国具体的优势研究领域，在规模较大的研究领域（含至少 10 个研究前沿，附表 1-1）中，中国份额较高的研究领域大部分集中在和纳米科技、智能控制与决策相关的研究，与前期科学结构的结果有相近之处。其中纳米催化、纳米生命科学

和储能纳米材料各有 4 个研究领域，系统与控制在 3 个研究领域，无线通信与人工智能有 2 个研究领域，以及“生命组学研究”“气候学”“数学与动力”各有一个研究领域。中国在和生命组学研究相关的研究领域 RA751 的论文份额最高，达到 89%；在规模较小的研究领域（含少于 10 个研究前沿）中，中国核心论文份额本国排名前 10 的研究领域（附表 1-2）中出现了一些具有中国特色的研究，比如中医药研究和环境治理研究。中国份额较多的研究领域中，中医药、低碳经济方面的研究各有 1 个研究领域，“环境治理”有 2 个研究领域，还有和智能决策、RNA 调控、微燃烧、图像处理、数学模型相关的研究领域各一个。

美国几乎在所有研究大类中都有很高的占比，图中左下部研究领域优势更加突出，优势研究领域与英国优势研究领域具有相似性，与中国优势研究领域形成互补；美国在医学、生物科学、社会科学、经济与商业的优势更为突出；德国优势研究领域分布相对均衡；6 个代表性国家中，日本产出份额相对最少，在“生态保护”“钙钛矿材料和器件”“超材料”“二维材料与器件”“植物基因调控”“肺癌”“消化癌”“心血管病风险”等研究领域群组的核心理论份额较高；法国优势研究领域覆盖面比较均衡，在“纳米生命科学”“生命组学研究”“慢性肾病”“传染病研究”“地质学”“生态学”“植物学”“无线通信与人工智能”等研究大类表现更佳。



三、中国及科技强国在学科交叉研究领域的活跃度

美国、中国是在学科交叉研究领域表现最好的两个国家，中国在与人工智能相关的工程技术领域、环境治理以及纳米科技相关学科交叉研究中覆盖面广、覆盖强度高。美国在生命科学、医学与环境生态学相关学科交叉研究中占据主导地位。

本节分析国家在学科交叉研究领域中的科研活跃度。在科学结构图谱中叠加各国的核心论文数量，每个学科交叉研究领域的国家份额用饼图展示。因限于尺寸无法在饼图中显示全部国家份额，因此选择中国与四个科技强国（美国、英国、德国和日本）。后两节相同。

表 5-4 统计了五国覆盖的学科交叉研究领域数量。由于学科交叉的研究领域数量较多，表中只统计了 145 个核心论文数据量至少 30 篇的研究领域。

美国、中国无疑是在学科交叉研究领域表现最好的两个国家，不仅覆盖的学科交叉研究领域广，在参与的学科交叉研究领域

中论文所占份额也高。美国共参与了 144 个，中国共参与了 128 个；美国与中国核心论文份额超过 40% 的学科交叉研究领域分别有 51 个和 33 个；美国核心论文份额最高的学科交叉研究领域的份额为 86%，中国为 87%。英国、德国虽然在参与的学科交叉研究领域数量上与美、中接近，但在学科交叉研究领域的份额偏低，英国、德国两国核心论文份额最高的学科交叉研究领域仅为 36% 和 29%，远远低于美中两国，高于 15% 的学科交叉研究领域有 15 个和 7 个。日本核心论文份额超过 15% 的交叉领域只有 3 个，份额最高的为 47%。

表 5-4 五国覆盖的学科交叉研究领域统计（包含至少 30 篇核心论文）

国家	美国	中国	英国	德国	日本
本国论文覆盖学科交叉研究领域数量（总 145 个交叉前沿）	144	128	117	112	76
份额超过阈值的交叉领域数量（中美阈值为 40%、英德日为 15%）	51	33	15	7	3
本国论文份额最高的学科交叉研究领域的本国比例	86%	87%	36%	29%	47%

图 5-7 为中国、美国、英国、德国和日本五国在学科交叉研究领域的科研表现，各国在交叉领域的核心论文数量在图中用饼图展示，饼中份额越大代表该学科交叉研究领域包含的论文越多。研究领域中还包含其他国家的核心论文，但受限于饼图尺寸无法显示全部国家份额，因此只展示上述五国。图

中可明显发现美国、中国核心论文在学科交叉研究领域覆盖范围存在明显的差异。饼图中红色部分为中国份额，中国占主导的学科交叉研究领域，主要集中在“无线通信与人工智能”“系统与amp;控制”“环境治理”“纳米催化”和“纳米材料”，在“纳米生命”“钙钛矿材料与器件”等研究方向上也占了很高

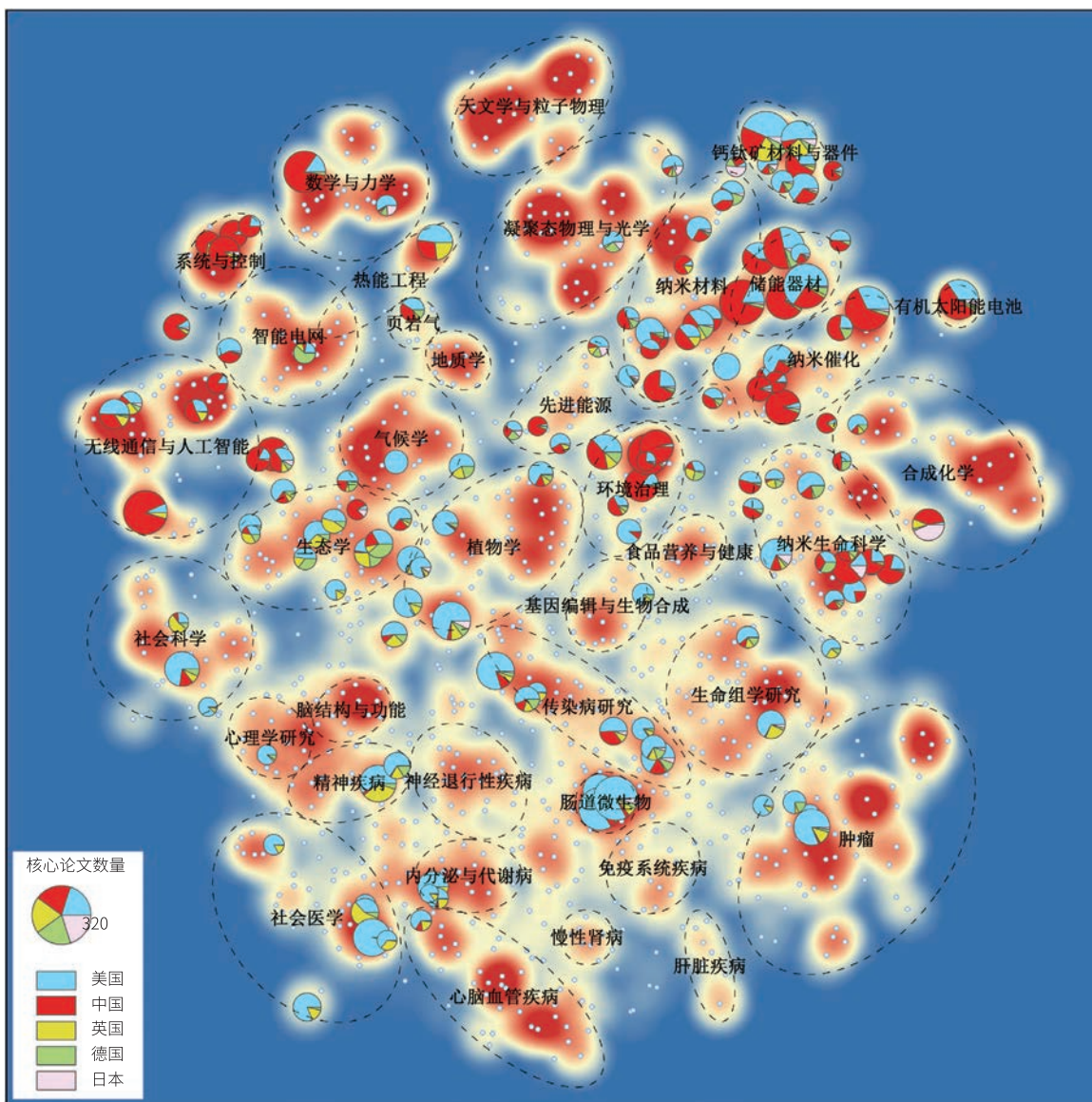


图 5-7 五国在交叉学科领域的科研表现

的比例，和美国不相上下。蓝色的为美国份额，美国占绝对主导的学科交叉研究领域，主要集中在“生态学”“植物学”“基因编辑与合生物成”“社会医学”“传染病研究”和“肠道微生物”等。

从中、美两国核心论文份额排名前 10

的学科交叉研究领域（附表 2）来看，美国份额高的学科交叉研究领域主要集中在医疗、生物领域，中国份额高的学科交叉研究领域大部分都和纳米科技相关，其中有 3 个和纳米催化研究相关、两个和纳米药物研究相关。

四、中国及科技强国在新兴热点研究领域的活跃度

美国、中国和英国在新兴热点研究领域覆盖范围广，核心论文份额高，但覆盖范围有明显的差异，尤其是美国与中国。美国核心论文份额占主导的新兴热点研究领域依旧主要集中在“生物医学”与“医学”，在“社会科学”“合成化学”“无线通信与人工智能”研究方面也有较好的表现。中国占主导的新兴热点研究领域没有形成明显的规模，零散分布在“钙钛矿”“新能源”“数学与力学”“无线通信与人工智能”“环境治理”和“生命组学”等方面。

图 5-8 为美国、中国、英国、德国和日本五国在新兴热点研究领域中的核心论文份额分布图，新兴领域在图谱中用饼图展示，饼图中包含了五国发表核心论文数量，饼图份额越大代表该新兴热点研究领域包含的论文越多。饼图红色代表中国在该新领域中核心论文数量，蓝色代表美国的核心论文数量，黄色代表了英国份额。图中可以明显看到，美国、中国和英国在新兴热点研究领域的核心论文份额较多，远超过德国和日本，

且覆盖范围有明显的差异，尤其是美国与中国。美国核心论文份额占主导的新兴热点研究领域依旧主要集中在“生物医学”与“医学”，且优势较为明显。在“社会科学”“合成化学”“无线通信与人工智能”研究方面也有较好的表现。中国核心论文份额占主导的新兴热点研究领域没有形成明显的聚集规模，零散分布在“钙钛矿材料与器件”“先进能源”“数学与力学”“无线通信与人工智能”“环境治理”和“生命组学”等方面。英国核心

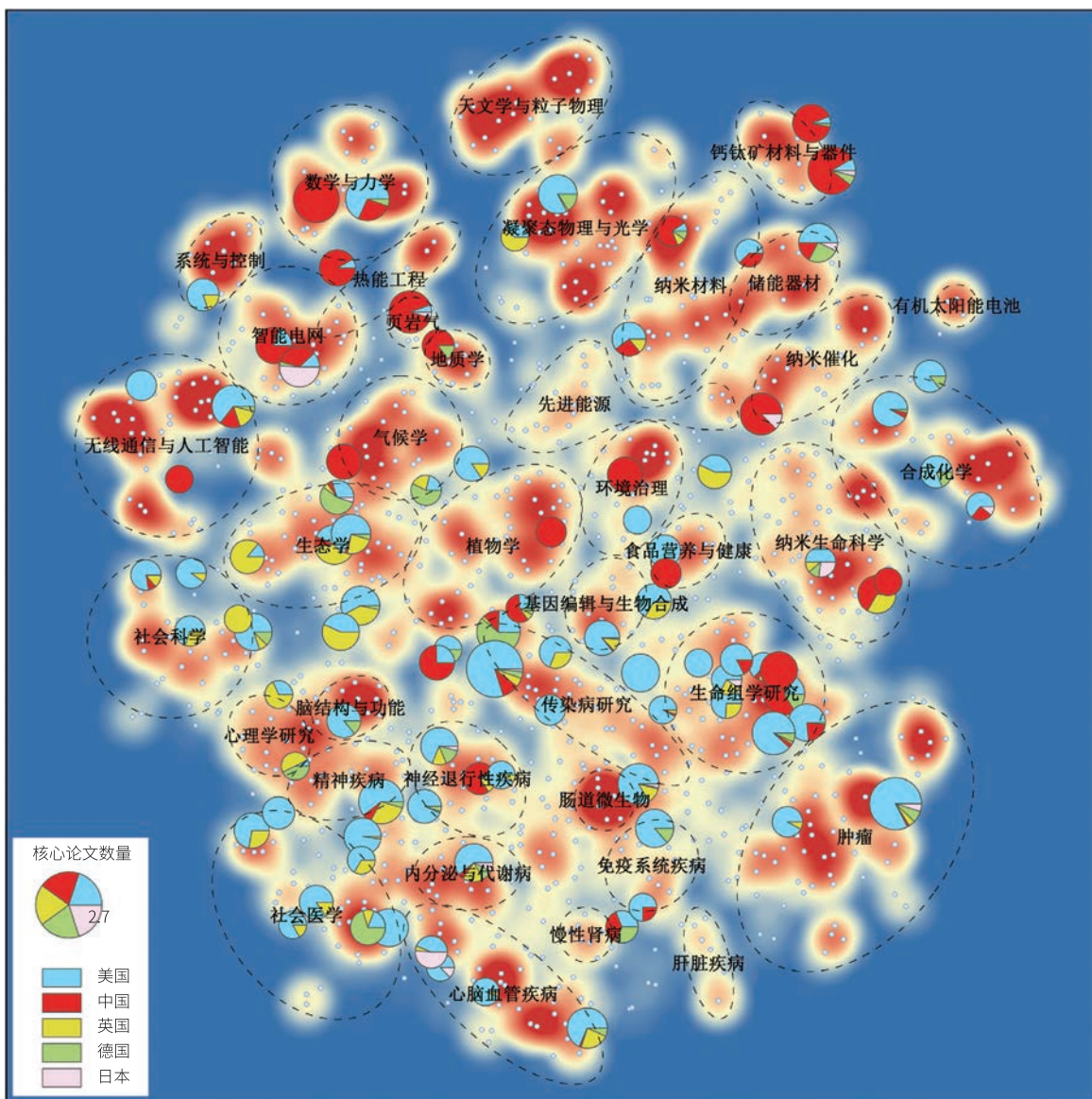


图 5-8 五国在新兴学科领域中表现

论文份额较多的新兴热点研究领域主要分布在“社会科学”“社会医学”“生态学”和“神经与精神疾病”等方面，且多数英国核心论文份额占主导的新兴热点研究领域规模较小，包含的核心论文数至少 8 篇的新兴热点研究领域只参与了 20 个（表 5-5）。

表 5-5 为新兴热点研究领域的国家表现

统计，美国、中国无疑是在新兴热点研究领域表现最好的两个国家，表中只统计了包含 7 篇以上核心论文的新前沿共 44 个，美国参与了全部 44 个，中国参与了 29 个。美国与中国核心论文占比超过 40% 的新兴热点研究领域分别有 19 个和 10 个，美中两国占比最高的新兴热点研究领域分别为 100% 和

表 5-5 四国新兴热点研究领域统计（包含至少 7 篇核心论文）

国家	美国	中国	英国	德国	日本
本国论文覆盖新兴热点研究领域数量	44	29	20	26	8
份额超过阈值的新领域数量（中美阈值为 40%、英德日为 15%）	19	10	4	2	1
份额最高研究领域的本国论文比例	100%	96%	50%	41%	21%

96%。英国和德国虽然在参与的新兴热点研究领域数量上与美中接近，但在新领域中所占论文比例偏低，英德两国占比最高的新兴热点研究领域仅为 50% 和 41%，远远低于美中两国，高于 15% 的新兴热点研究领域只有

4 个和 2 个。日本核心论文占比超过 15% 的新领域只有 1 个，占比最高的为 21%。

中国、美国核心论文份额排名前 10 的新兴热点研究领域详情见附录 3。

五、中国及科技强国在对技术创新有影响研究领域的活跃度

美国在对技术创新有影响的研究领域中占绝对的优势，其中美国占主导的研究领域依旧主要集中在“生命科学”与“医学”。中国在对技术创新有影响的研究领域中表现最好的研究大类是“储能材料与器件”“纳米催化”“纳米催化”和“无线通信与人工智能”。这四个研究大类中国核心论文份额居首，超过美国和其他国家。值得注意的是，在中国表现突出的研究领域中，美国核心论文份额依旧能占很大的比例，比如“无线通信与人工智能”方向内的研究领域，而美国占优势的医学和生命科学领域中，中国鲜有论文被专利引用。

本节分析对技术创新有影响研究领域中各国的科研活跃度。表 5-6 为中国及美国、英国、德国五国被专利引用研究领域统计，

表中统计了包含至少 10 篇核心论文被专利引用的研究领域，共 273 个。美国、中国、英国、德国在研究领域中论文被专利引用总

表 5-6 五国被专利引用研究领域统计 (含至少 10 篇核心论文)

国家	美国	中国	英国	德国	日本
本国论文覆盖被专利引用研究领域数量	271	218	223	232	159
平均研究领域份额	58%	17%	16%	15%	9%
各国被专利引用 Top30 研究领域份额	67%	14%	14%	13%	4%

数量上差距不大，美国覆盖的研究领域共有 271 个被专利引用，中国有 218 个，英国、德国分别有 223 个与 232 个，日本较少只有 159 个。但美国被专利引用论文占有所有研究领域中被专利引用总论文的 58%，远远超过中国、英国和德国。如果统计各个国家被专利引用论文份额排名前 30 的研究领域，美国的份额优势更加明显，美国平均份额为 67%，中国为 14%，德国、英国也都只有 13% 和 14%。从统计上看美国论文被专利引用远超其他国家。

图 5-9 为中国、美国、英国、德国和日本五国在被专利引用的研究领域中的分布图，图谱中用饼图展示各国份额差异。饼图中包含了五国发表核心论文被专利引用数量，饼图越大代表该研究领域该国包含的论文越多。饼图红色代表中国在该领域中核心论文数量，蓝色代表美国的核心论文数量，黄色代表了英国份额等。图中可以看出，美国和中国核心论文在被专利引用的研究领域中占绝对的优势，远超过英国、德国和日本，且覆盖范围差异也更加强烈。美国核心份额占主导的研究领域依旧主要集中在生物科学与医学，且优势较为明显，远远超过了交叉学科领域

和新兴热点研究领域的优势，可以说一家独大。另外英国、德国在医学相关领域中占有一定的份额，中国的核心论文在大部分医学和生物科学中鲜有被专利引用，只在“传染病研究”“基因编辑与生物合成”和“纳米生命科学”几个研究方向内较少的研究领域内能占有一定份额。

中国核心论文被专利引用较多的研究领域主要在图谱的上半部分，表现最好的研究方向“储能材料与器件”“纳米催化”“纳米催化”和“无线通信与人工智能”。这三个研究方向中国核心论文份额居首，超过美国和其他国家。在其他相关领域如“合成化学”“钙钛矿材料与器件”方向，中国在被专利引用的表现也较为出色，与美国的核心论文在数量上不相上下。值得注意的是，在中国表现突出的研究领域中，美国核心论文份额依旧能占很大的比例，在很多研究领域可以超过中国，比如“无线通信与人工智能”方向内的研究领域，被专利引用的核心论文数量，美国和中国基本平起平坐，而美国占优势的医学和生物科学领域中，中国鲜有论文被专利引用。

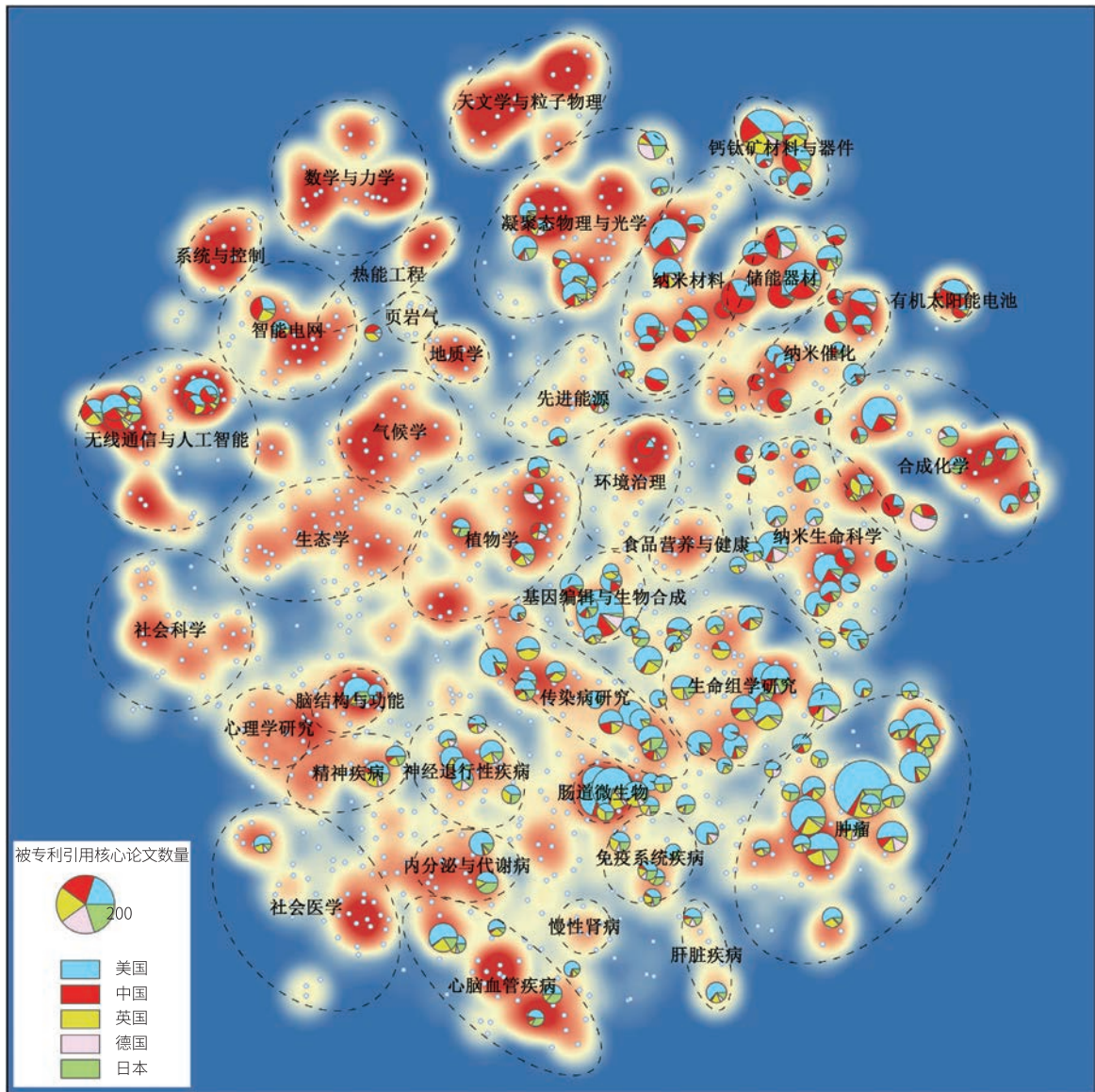


图 5-9 被专利引用的研究领域中国五国科研活跃度

第六章

中国及代表性国家的国际合作

国际合著 (co-authorship) 指标是衡量跨国知识流的指标之一，从一个侧面反映了国与国之间的合作研究情况。本章计算国家的核心论文和合著论文数量时，采用“整体计数法”。一般而言，分数计数法常用于国家论文量的统计，整体计数法更多地应用于国际合著指标的统计。

本章从两个侧面分析国际合著情况：一是世界各国在全部研究领域中的国际合著率，反映各国在世界上的整体合作情况；二是中国及代表性国家在科学结构图谱中各个研究领域的国际合著率。

观察中国：

中国在国际合作中的引领度逐年增强。在 2012~2017 年，中国核心论文数量（整数计数）显著增长（世界排名第二），随着核心论文数量的增加，中国国际合著的核心论文数量也在显著上升，从 2010~2015 年的 3 572 篇增长至 5 121 篇。尽管中国国际合著率（50.1%~53.9%）低于其他代表性国家，但稳中有升，接近美国的国际合著率（52.3%~56.4%）。中国的国际合著论文通讯作者的比例大幅提升，在 2012~2017 年超过美国，跃居 12 个代表性国家的首位，达到 53.6%，上升幅度高达 11.0%，表明中国在高水平研究中的骨干作用逐年增强。

中国国际合作分布与美国越来越接近。在 2012~2017 年，全研究领域的国际合著率（均值），中国为 53.9%，美国为 56.4%。两期比较，12 个代表性国家中仅中国在完全依赖国际合作（国际合著率等于 100%）的研究领域比例出现下降，从 39.4% 下降到 39.2%，缺乏国际合作（国际合著率等于 0）的比例从 10.4% 下降到 6.9%，这两个区间总体呈现下降趋势，说明中国参与国际合作研究活动的范围已经加强，对国际合著的依赖性逐步降低，科研实力也越来越强。

一、基于科学结构图谱观察世界国际合作

图 6-1 基于科学结构图谱，在各个研究领域上叠加世界国际合著率，显示了全世界所有国家在科学结构图谱中国际合著率的分布情况。

从两期的演变中可以明显看出，世界范围内的国际合作整体呈上升趋势，合作力度越来越强。科学结构 2012~2017 中，国际合著率最高区域集中在“生态学”和“地质学”两个大类；从学科角度来看“空间科学”

合著率最高，合著率接近 80%，达到 79.8%，最低的学科为“化学”，合著率 32.4%。除“空间科学”外，还有五个学科的国际合著率超过 50%，依次是“交叉学科”（62.4%）、“地球科学与环境”（57.3%）、“物理学”（55.1%）、“计算机科学”（52.1%）、“医学”（51.2%）。除“化学”外，国际合著率低于 40% 的学科还有“材料科学”（37.3%）和“社会科学”（38.0%）。

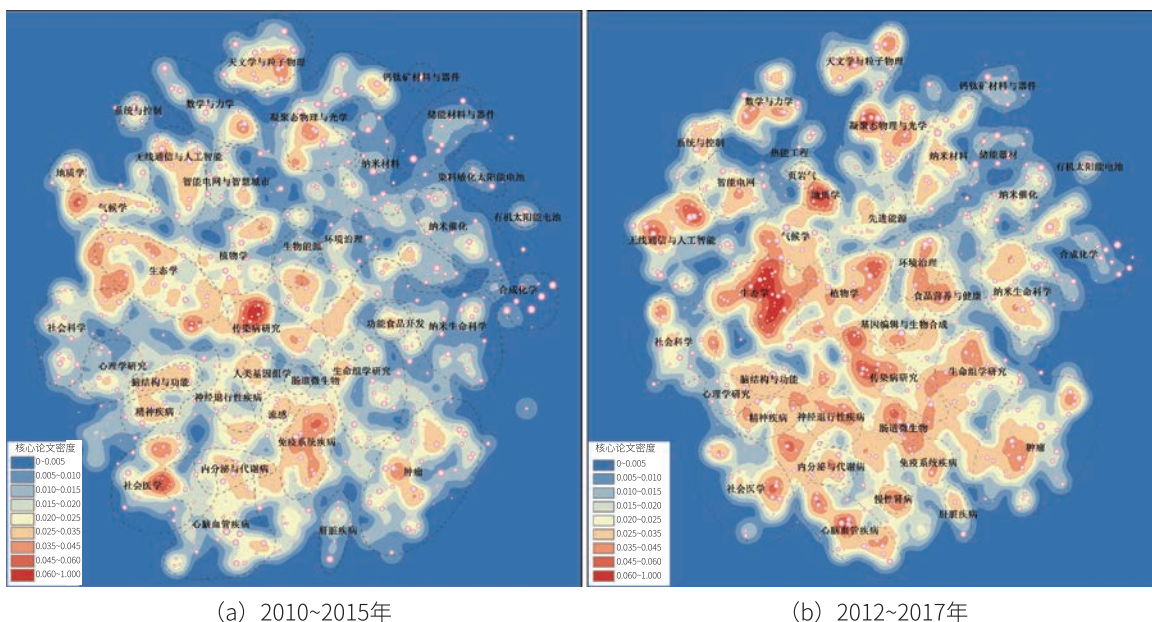


图 6-1 基于科学结构图谱的国际合著率对比

二、中国及代表性国家国际合作时序变化

图 6-3 使用象限图显示全部研究领域中中国及代表性国家核心论文数与国际合著率的关系（不包括美国）。两期内，核心论文数排名前 30 位的国家及地区的国际合著率平均值逐期增加，从 80.4% 增长到 83.6%，说明世界范围内的国际合著呈持续上升趋势。12

个代表性国家的国际合著率均有一定幅度的上升，发达国家上升的幅度略大，上升幅度最大的国家为日本，上升变化率超过 10%，达到 10.5%。美国（7.8%）升幅率高于中国（7.5%），分列 12 个代表性国家中的第二位和第三位。

象限图说明：

本章采用图 6-2 所示的象限图形式描述核心论文数（整数计数）及国际合著率的关系，并以各大类中按核心论文数排名前 30 位的国家及地区的核心论文数的平均值与国际合著率的平均值作为象限分割原点，将整个区域划分为 A、B、C、D 4 个区域。A 区域中

的国家，其核心论文数高于平均值但国际合著率低于平均值；B区域的国家，核心论文数及国际合著率均高于平均值。A、B区域的国家研究实力强；C区域的国家，核心论文数低于平均值但国际合著率高于平均值，说明比较依赖国际合作取得重要研究成果；D区域的国家，国际合著率及核心论文数均低于平均值，其研究实力虽不强，但有一定的自主研发性。

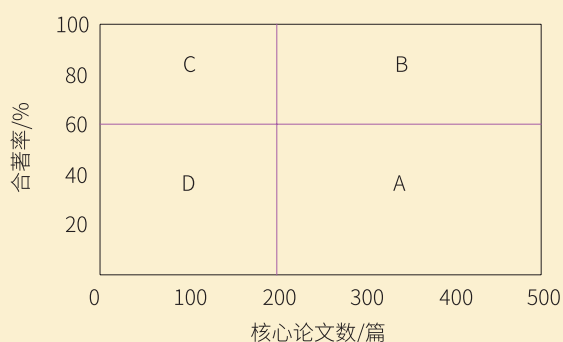


图 6-2 核心论文数与国际合著率的关系示意图

从象限图（图 6-3）中看出，中国及代表性国家中，除澳大利亚从 B 区进入到 A 区外，其他国家在四象限中的分布基本稳定，同时稍有变化。中国两期都处于 A 区核心论文数量（整数计数）显著增长，世界排名上升到第二位，且随着核心论文数量的增加，中国国际合著的核心论文数量也在显著上升，从 2010~2015 年的 3 572 篇增长到 2012~2017 年的 5 121 篇。中国的国际合著率保持在 50.1%~53.9%，是代表性国家中合著率最低的国家，虽然中国的国际合著率基本稳定，但稳中有升。澳大利亚的国际合著率从 2010~2015 年的 81.6% 增长到 2012~2017 年的 83.2%，增幅不大，仅为 1.9%，就是这相对较小的增幅导致澳大利

亚由 B 区域下边界移至 A 区域上边界。两期中，同处于 A 区位置的还有德国和英国，且两国的国际合著率均接近国际合著率均值线，与前期相比英国核心论文数量虽有明显增长，但依旧被中国超越，世界排名下降到第三位。法国两期都处于 B 区域的下边界。巴西、俄罗斯、南非始终处于 C 区域，本期国际合著率均在 90% 以上，其中南非最高，达到 97.3%，在全部 660 篇核心论文中，仅有 18 篇为非国际合著论文。韩国、印度、日本两期都处于 D 区。

合著者在国际合作中有不同的角色，仅仅依赖国际合著率的高低并不能观察到一个国家在合作中的地位。通常，论文的通讯作者是一项科研工作的主要负责人，因此通

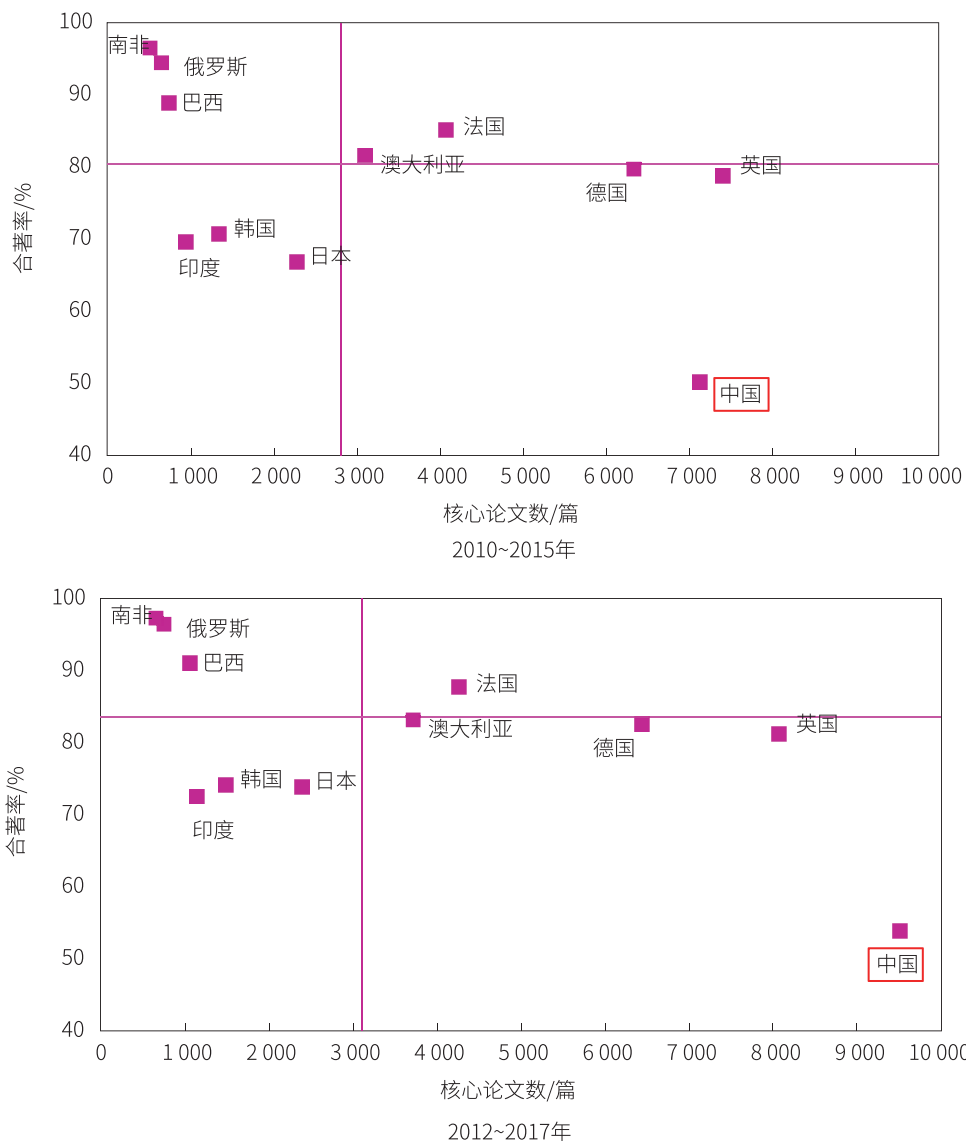


图 6-3 全部研究领域中国及代表性国家的核心论文数与国际合著率的关系

注：美国在各个时期都属于 A 区，由于美国的核心论文数远高于其他国家，不宜与其他国家在同一象限图中描述，因此，图中不包括美国

讯作者论文可以在一定程度上反映出科研的主导性，我们考察了合著论文中通讯作者所在国，以辅助分析在国际合作中起主导作用的国家。如图 6-4 所示，总体上，中国的国际合著论文通讯作者的比例大幅提升，在新一期中超过美国，跃居 12 个代表性国家的首

位，达到 53.6%，上升幅度高达 11.0%。尽管中国的国际合著率总体较低，但中国在高水平研究中的骨干作用在逐年增强。美、德、英、日、法、澳大利亚、韩国等发达国家合著论文通讯作者比例普遍呈现下降趋势，日本降幅最大，下降超过 3 个百分点，从

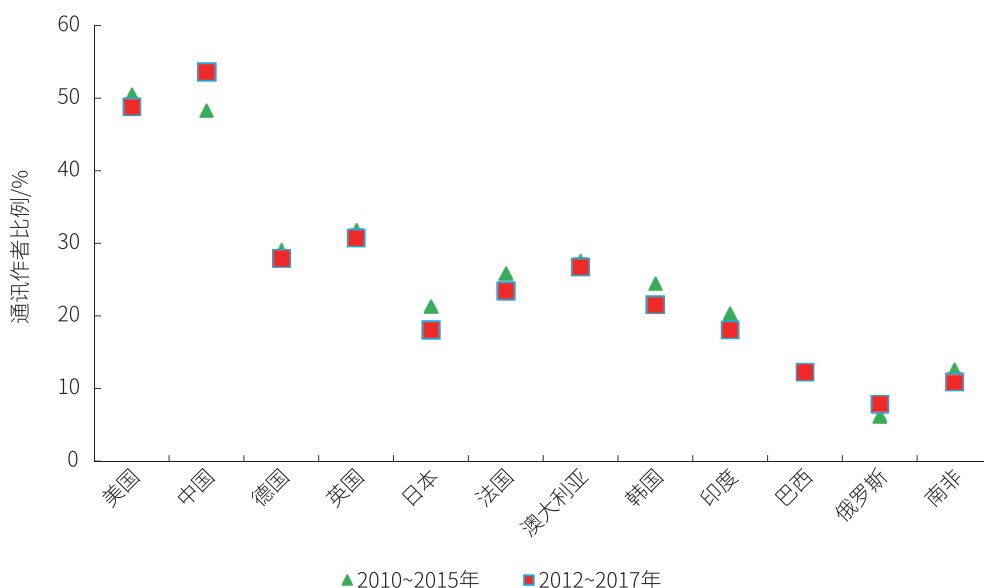


图 6-4 中国及代表性国家的合著论文中通讯作者比例变化

2010~2015 年的 21.3% 下降到 2012~2017 年的 18.1%。印度、南非合著论文通讯作者比例保持在 10% 以上，同时，降幅也比较明显，均超过 10%，其中南非降幅为 13.9%。

俄罗斯、巴西本期均有不同程度的增幅，俄罗斯增幅明显，高达 26.9%，从 2010~2015 年的 6.2% 提高到 2012~2017 年的 7.8%。

三、基于科学结构图谱观察中国及代表性国家国际合作的变化

本小节在科学结构图谱中展示各个国家在各研究领域中的国际合著率，以反映中国及代表性国家在各个研究领域中的合作研究情况。

首先观察中国及代表性国家拥有核心论文的研究领域及国际合著率分布情况

(表 6-1)。总体而言，中国在各个区间的比例与美国越来越接近，在 2012~2017 年，全研究领域的国际合著率（均值），中国为 53.9%，美国为 56.4%。发达国家完全依赖国际合作（国际合著率等于 100%）的研究领域比例和缺乏国际合作（国际合著率等

表 6-1 中国及代表性国家的国际合著率分布情况对比

分类	时期	美国	中国	德国	英国	日本	法国	澳大利亚	韩国	印度	巴西	俄罗斯	南非
全研究领域的国际合著率(均值) /%	2010~2015	52.3	50.1	79.7	78.8	66.8	85.1	81.6	70.7	69.6	88.8	94.5	96.5
	2012~2017	56.4	53.9	82.5	81.2	73.8	87.7	83.2	74.2	72.5	91.0	96.4	97.3
	年均变化率	7.8%	7.5%	3.5%	3.0%	10.5%	3.0%	1.9%	4.9%	4.1%	2.4%	2.1%	0.8%
等于 100% 的研究领域比例 /%	2010~2015	7.0	39.4	44.9	38.3	51.1	56.3	56.9	62.4	61.6	80.2	92.0	91.7
	2012~2017	11.7	39.2	48.7	38.7	58.4	62.1	61.6	64.0	62.5	83.4	92.1	91.5
	年均变化率	66.5%	-0.6%	8.4%	1.1%	14.3%	10.2%	8.2%	2.5%	1.5%	4.0%	0.1%	-0.2%
介于均值与 100% 间的研究领域比例 /%	2010~2015	41.3	21.9	16.2	19.4	10.5	7.9	7.1	5.3	2.0	0.0	0.0	0.6
	2012~2017	39.7	24.7	14.6	19.6	9.6	5.9	8.0	4.5	3.9	0.5	0.0	0.0
	年均变化率	-3.9%	13.0%	-9.9%	1.0%	-8.9%	-25.4%	11.6%	-15.0%	90.6%	-	-	-100.0%
介于 0 与均值间的研究领域比例 /%	2010~2015	47.5	28.4	32.2	36.3	21.5	29.2	26.9	15.4	15.0	11.4	5.3	2.8
	2012~2017	45.3	29.2	30.5	36.0	22.0	26.8	24.5	15.8	14.4	9.5	3.3	4.5
	年均变化率	-4.6%	3.0%	-5.3%	-0.7%	2.1%	-8.3%	-8.6%	2.2%	-4.2%	-16.2%	-37.2%	62.8%
等于 0 的研究领域比例 /%	2010~2015	4.2	10.4	6.7	6.0	16.9	6.6	9.1	16.9	21.4	8.4	2.7	5.0
	2012~2017	3.3	6.9	6.2	5.6	10.1	5.3	5.9	15.8	19.3	6.5	4.6	4.0
	年均变化率	-21.5%	-33.6%	-6.6%	-5.8%	-40.4%	-20.0%	-35.4%	-6.5%	-9.9%	-22.6%	72.6%	-19.6%

于 0) 的研究领域比例都较低, 尤其是美国, 完全依赖国际合作的研究领域比例虽然从 2010~2015 年的 7.0% 提升到 2012~2017 年的 11.7%, 但仍远低于其他代表性国家; 同时, 缺乏国际合作的比例从 4.2% 下降到 3.3%, 也普遍低于其他代表性国家。中国在这两个区间的研究领域比例均高于英国, 值得注意的是, 两期比较, 12 个代表性国家中仅中国完全依赖国际合作的研究领域比例出现下降, 从 39.4% 下降到 39.2%, 缺乏国际合作的比例从 10.4% 下降到 6.9%, 这两个区间总体呈现下降趋势, 说明中国参与国际合作研究活动的范围已经加强, 对国际合著的依赖性逐步降低, 科研实力也越来越强。英国、德国比较相似, 国际合著率发展比较均衡。法国、日本在各个区间的比例在本期中和澳大利亚、韩国比较接近, 完全依赖国际合作的研究领域占比均相对较大。

总体上, 国际合著率为 100% 的研究领域比例呈现增长趋势, 增长率最高的是美国, 增幅为 66.5%; 其他增幅超过 10% 的国家为日本 14.3% 和法国 10.2%; 中国是 12 个代表性国家中仅有的呈现下降趋势的国家, 降幅

为 0.6%。

图 6-5 至图 6-6 显示了中国及代表性国家按研究领域在科学结构图谱上的国际合著率情况。基于两个时期的科学结构图谱, 叠加主要国家在不同研究领域中合著论文份额, 观察这些国家在不同研究领域的分布变化, 颜色越暖的区域份额越高。

从两期的演变来看, 世界范围内的国际合作整体呈上升趋势, 合作力度越来越强。对比两个时期看出, 6 个代表性国家在 2012~2017 年期间合作研究活动增长迅速, 均出现大量深红色、红色区域。其中, 美国合著率相对较高的研究领域集中在“生态学”“地质学”和“心脑血管疾病”等领域。中国在“生态学”“凝聚态物理与光学”和“无线通信与人工智能”等领域有相对较高的国际合著率。日本合著率相对较高的研究领域集中在“慢性肾病”和“凝聚态物理与光学”等领域。而德国、法国和英国在全领域中, 均表现出较强的合著态势, 仅在“合成化学”“数学与力学”和“系统与控制”等少数领域国际合著率相对较低。

第七章

科学结构图谱上的 科学资助情况分析

本章将科学资助和科学产出进行关联分析。通过研究科学基金对 SCI 论文资助情况，可视化展现中国及代表性国家科学资助的论文产出在科学结构图谱上的分布，对比分析不同国家科学资助或同一国家不同资助机构在科学结构图谱上的资助布局及资助力度的不同，以期辅助了解各国政府资助机构的分工特点、科技实力和关注的未来科学发展的方向。

本研究关注政府竞争性资助项目，即经费来自政府的基金类计划、国家重大研发计划及部委级别竞争性科技计划资助的项目，不包括政府给予大学和科研机构的运行经费和政府投入给非营利机构的少量经费的项目。因此，没有统计以大学名义资助的论文和以社团形式资助的论文。

对于中国的统计，主要包括国家自然科

学基金委员会（NSFC）、科技部的 973 计划、863 计划，以及一些国家部委层面计划资助的项目；美国的统计主要包括国家科学基金会、国立卫生研究院及部委的计划。其他代表性国家政府竞争性资助论文的统计都采取了上述原则。本章采用“整体计数法”计算国家的核心论文和资助论文数量。

观察中国：

2012 ~ 2017 年期间，中国政府资助的核心论文数与中国的核心论文世界份额一样世界排位第二，为 7 733 篇，是德、英的 2-3 倍，日、法、澳的 5-6 倍，仅低于美国（13 178 篇），远高于其他代表性国家，这与中国科研的进步、政府科研经费高投入有密不可分的关系。

中国政府资助论文占发表核心论文的比例最高，达到 81.4%；其次是韩国，为 62.7%；再次是美国，资助比例 57.0%。中国政府资助研究领域占本国发文研究领域的比例从 75.9% 上升到 80.3%，增幅 5.7%，仅次于美国，两期均排名第二。同时，中国在新增研究领域中的资助覆盖率排名第一，达到 78.4%，但与上一期相比，略有下降，降幅为 5.9%。

中国政府资资产出的核心论文在各领域不均衡。传统科技强国资资产出的核心论文整体上覆盖全面，分布比较均匀。中国政府资资产出的核心论文主要集中在“纳米科技”“无线通信与人工智能”“系统控制”等方向，其他资助方向发文量较少，尤其是“医学”和“社会科学”方面较弱。不过纵观科学结构图谱近两期的演变，中国在“环境治理”“数学”“先进能源”“生命组学研究”“植物学”等方向资资产出的份额和覆盖率都有显著提高，且在“神经退行性疾病”和“肠道微生物”等领域也有所提升。

2012~2017 年，中国 NSFC 资助的论文占整个中国政府资助论文的 85.2%，NSFC 资助与中国政府资助覆盖的领域布局比较接近，说明 NSFC 在基础研究领域的重要作用。但 973 计划资助产生的 1 819 篇核心论文中有 1 626 篇同时受到 NSFC 的资助，占比接近 90%，资助重复率很大。

一、中国及代表性国家政府资助核心论文在科学结构图谱上的分布

从政府资助的核心论文覆盖研究领域占本国有核心论文研究领域的比例上来看(表7-1),两个时期,中国、欧美发达国家(美国、英国、德国、法国)、日本、澳大利亚、韩国8个国家,其政府资助的研究领域数占本国有核心论文的研究领域的比例几乎都接近或超过60%。美国政府资助研究领域占本国有核心论文的研究领域的比例最高,但本期略有下降,从90.6%下降到88.9%,降幅1.9%,是12个代表性国家中唯一占比下降的国家。中国占比从75.9%上升到80.3%,增幅5.7%,仅次于美国,两期均排名第二。在发达国家中,德国增幅最大,达到13.1%,占比从65.8%上升到74.5%,在2012~2017年,以微弱优势领先英国。英国两期资助比例分别是72.7%和74.3%,排名第三。法国资助比例相对较低,两期均低于60%,分别为56.2%和58.2%。其次是澳大利亚,资助比例分别为59.6%和65.8%,增幅超过10个百分点,达到10.4%。2012~2017年期间,日本资助比例接近70%,达到69.5%,增幅4.7%。韩国资助比例分别是69.2%和74.3%,增幅超过中国,达到7.5%。2012~2017年,印度、巴西、俄罗斯和南非四个代表性国家中,巴西资助比例最高,为53.5%;南非资助比例最低,仅为28.1%;俄罗斯资助比例46%,增幅最大,达到43.8%;印度资助比例仅为

44.5%,在12个代表性国家中排名倒数第二。

2012~2017年期间,中国政府资助的核心论文数与中国的核心论文世界份额一样世界排位第二,为7733篇,是德、英的2~3倍,日、法、澳的5~6倍,仅低于美国(13178篇),远高于其他代表性国家,这与中国科研的进步、政府科研经费高投入有密不可分的关系。中国政府资助论文占发表核心论文的比例最高,达到81.4%;其次是韩国,为62.7%;再次是美国,占比为57.0%;南非占比最低,仅为19.1%;第二低的是印度,占比33.3%;其他国家占比均在40%~50%左右。

值得注意的是,2012~2017年期间,国家资助研究领域,每个国家的领域平均资助论文量和领域平均发文量两个指标来看,中国为11.4和14.0;美国为13.2和22.9;德国为4.3和9.3;英国为4.5和10.4;法国为2.9和7.5。对比上述两个指标可以发现,中国两个指标差距较小,比值为0.8,说明中国政府资助研究领域,受资助产出的核心论文占比很高,超过80%。而欧美发达国家两个指标比值均在0.4~0.6之间,说明欧美发达国家资助研究领域,受资助产出的核心论文占比要少的多,其中,以美国占比最高,接近60%;法国占比最低,低于40%。

从2012~2017新增研究领域(与前一期研究领域没有重叠论文)的覆盖来看,中

表 7-1 中国及代表性国家政府资助核心论文覆盖的研究领域 (整数计数)

2010~2015 年													
范围 (数量)	统计 类型	美国	中国	德国	英国	日本	法国	澳大利 亚	韩国	印度	巴西	俄罗斯	南非
全研究 领域 (1 084 个)	发表论文研究 领域 (A)	1 051	723	857	901	562	746	715	415	346	273	225	180
	政府资助研究 领域 (B)	952	549	564	655	373	419	426	287	135	127	72	38
	B/A(%)	90.6%	75.9%	65.8%	72.7%	66.4%	56.2%	59.6%	69.2%	39.0%	46.5%	32.0%	21.1%
	发文总数	22 696	7 124	6 333	7 401	2 281	4 071	3 103	1 345	942	744	652	516
	政府资助核心 论文总数	13 274	5 389	2 518	2 759	1 224	1 144	1 173	761	318	295	206	98
新增研究 领域 (87 个)	发表论文研究 领域 (C)	71	42	40	47	18	27	26	11	13	7	6	4
	资助研究 领域 (D)	51	35	18	19	9	8	11	11	4	4	2	1
	D/C(%)	71.8%	83.3%	45.0%	40.4%	50.0%	29.6%	42.3%	100.0%	30.8%	57.1%	33.3%	25.0%
2012~2017 年													
范围 (数量)	统计 类型	美国	中国	德国	英国	日本	法国	澳大利 亚	韩国	印度	巴西	俄罗斯	南非
全研究 领域 (1 169 个)	发表论文研究 领域 (A)	1 126	842	869	974	596	780	766	444	389	368	239	199
	政府资助研究 领域 (B)	1 001	676	647	724	414	454	504	330	173	197	110	56
	B/A(%)	88.9%	80.3%	74.5%	74.3%	69.5%	58.2%	65.8%	74.3%	44.5%	53.5%	46.0%	28.1%
	发文总数	23 113	9 504	6 438	8 066	2 400	4 260	3 719	1 487	1 143	1 067	755	660
	政府资助核心 论文总数	13 178	7 733	2 800	3 231	1 315	1 298	1 553	933	381	428	323	126
新增研究 领域 (103 个)	发表论文研究 领域 (C)	87	51	44	60	19	34	38	11	17	19	7	12
	资助研究 领域 (D)	59	40	20	31	14	13	22	8	3	7	3	2
	D/C(%)	67.8%	78.4%	45.5%	51.7%	73.7%	38.2%	57.9%	72.7%	17.6%	36.8%	42.9%	16.7%

注: B/A、D/C 为政府资助研究领域 / 有发文的研究领域

国在新增研究领域中的资助覆盖率排名第一, 达到 78.4%, 但与上一期相比, 略有下降, 降幅为 5.9%。本期 12 个代表性国家中, 仅

日本的新增研究领域中的资助覆盖率高高于在全部研究领域中的资助覆盖率, 分别为 73.7% 和 69.5%, 但其体量相对较小, 在新增研究

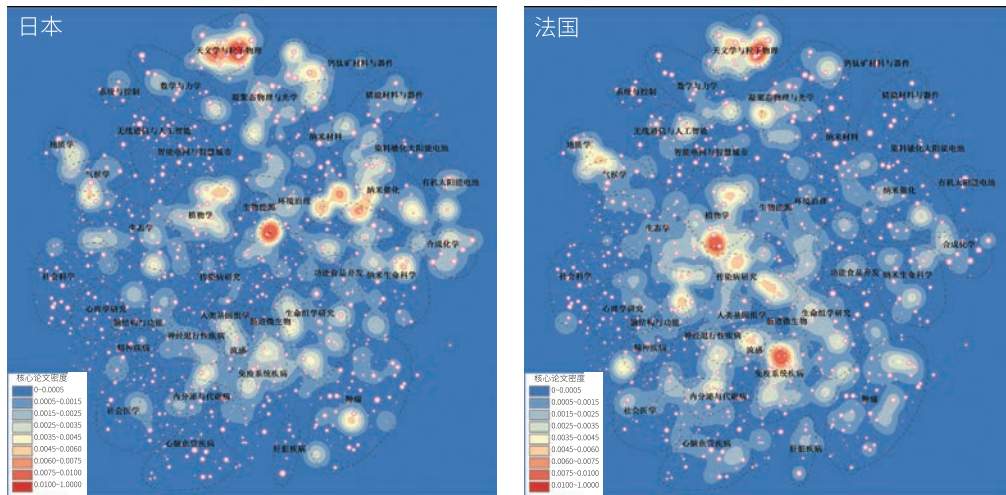


图 7-1 政府资助核心论文在科学结构图谱 2010~2015 上的分布 (续)

(中国、美国核心论文密度范围相同,其他国家相同)

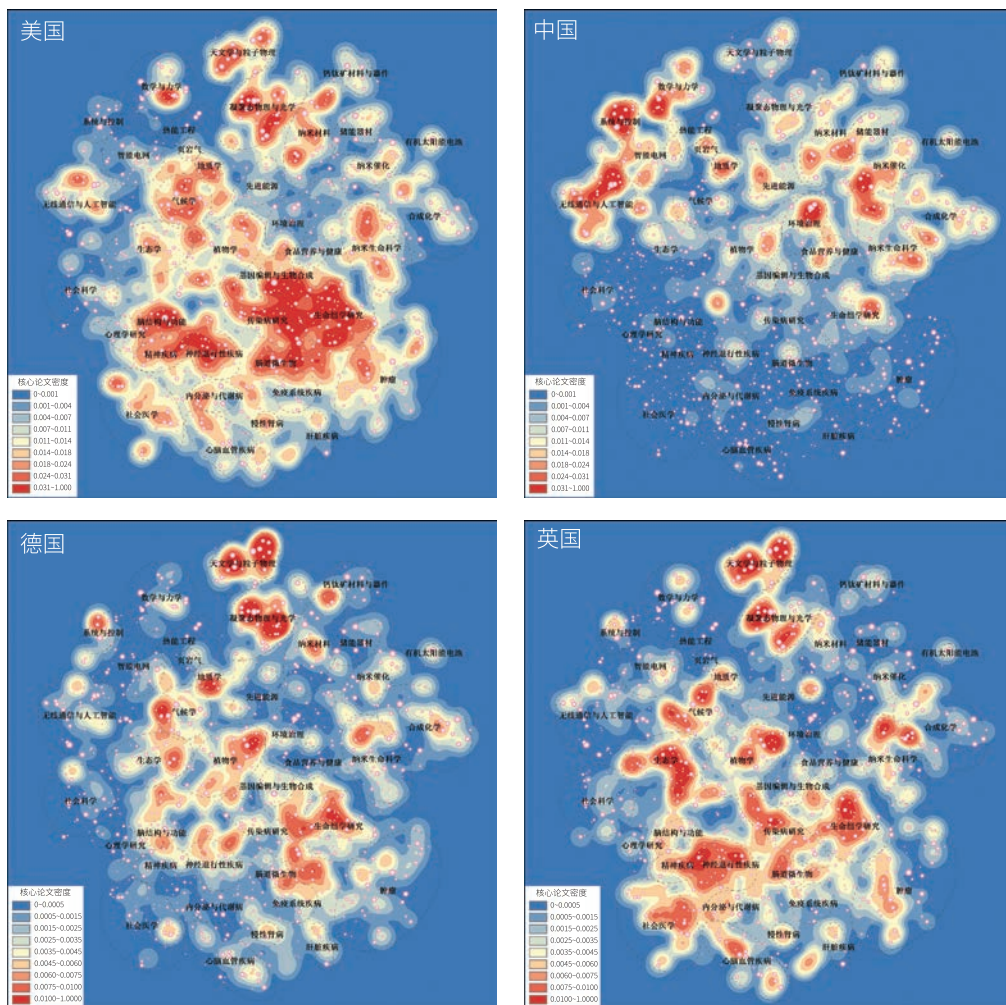


图 7-2 政府资助核心论文在科学结构图谱 2012~2017 上的分布

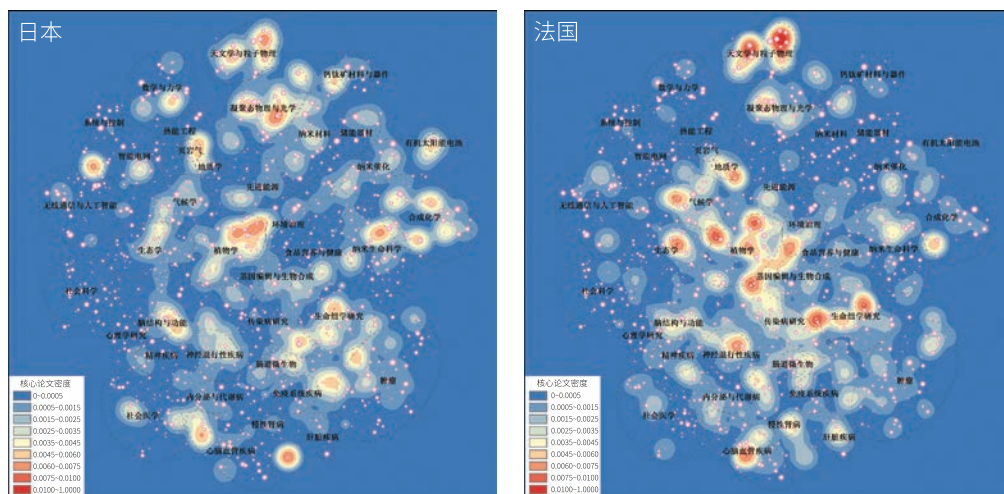


图 7-2 政府资助核心论文在科学结构图谱 2012~2017 上的分布 (续)
(中国、美国核心论文密度范围相同, 其他国家相同)

二、重要国家政府资助机构资助核心论文分析

中国国家自然科学基金委 (NSFC) 与 973 计划、美国国家科学基金会 (NSF) 与美国国立卫生研究院 (NIH)、德国科学基金会 (DFG)、英国研究理事会 (RCUK)、日本学术振兴会 (JSPS) 与日本科学技术振兴机构 (JST) 是这些重要国家的主要资助机构。表 7-2 显示了这些重要国家中主要政府资助机构设立的科研项目资助发表核心论文情况。五国主要机构资助有发文的研究领域数占该国发文研究领域比例相对较高, 均达 60% 以上, 其中, 美国占比最高, 两期分

别为 90.6% 和 88.9%; 中国次之, 为 75.9% 和 80.3%; 英国为 72.7% 和 74.3%; 德国为 65.5% 和 74.5%; 日本相对较少, 占比为 66.4% 和 69.5%。2012~2017 年, 中、德、英、日四国主要机构资助有发文的研究领域数占该国发文研究领域比例均出现了不同程度的提高, 其中, 德国增幅超过十个百分点, 达到 13.1%; 中国次之, 增幅为 5.7%; 日本和英国增幅分别为 4.7% 和 2.2%; 五国中仅美国出现小幅下降, 降幅为 1.9%。

表 7-2 中国及代表性国家资助项目的核心论文产出统计 (整数计数)

2010~2015 年			2012~2017 年		
中国	研究领域数	论文数	中国	研究领域数	论文数
发表论文	723	7 124	发表论文	842	9 504
资助	549	5 389	资助	676	7 733
NSFC	486	4 635	NSFC	602	6 586
973 计划	325	1 641	973 计划	364	1 819
NSFC 与 973 同时资助	291	1 442	NSFC 与 973 同时资助	333	1 626
美国	研究领域数	论文数	美国	研究领域数	论文数
发表论文	1 051	22 696	发表论文	1 126	23 113
资助	952	13 274	资助	1 001	13 178
NSF	602	4 817	NSF	651	4 733
NIH	634	6 715	NIH	643	6 520
NSF 与 NIH 同时资助	262	765	NSF 与 NIH 同时资助	265	743
德国	研究领域数	论文数	德国	研究领域数	论文数
发表论文	857	6 333	发表论文	869	6 438
资助	564	2 518	资助	647	2 800
DFG	440	1 647	DFG	456	1 640
英国	研究领域数	论文数	英国	研究领域数	论文数
发表论文	901	7 401	发表论文	974	8 066
资助	655	2 759	资助	724	3 231
RUCK	621	2 346	RUCK	643	2 504
日本	研究领域数	论文数	日本	研究领域数	论文数
发表论文	562	2 281	发表论文	596	2 400
资助	373	1 224	资助	414	1 315
JSPS	234	577	JSPS	254	654
JST	108	198	JST	111	205
JSPS 与 JST 同时资助	45	59	JSPS 与 JST 同时资助	60	80

附 录

附录 1 中国、美国高科研活跃度研究领域

附表 1-1 中国科研活跃度排名前 20 的研究领域 (含至少 10 个研究前沿)

研究领域 id	研究大类	关键词 (部分)	论文份额	总论文数
751	基因组学研究	胃癌; 结直肠癌; 鼻咽癌; 长链非编码 RNA; Wnt/ β -catenin 途径; MALAT1 促进细胞增殖; MALAT1 高表达预测	89%	88
645	纳米催化	光催化活性; BiOCl 单晶纳米片; 碳量子点; 可见光稳定性; 高效光催化应用; 超薄氧化铋纳米片; 高效光催化析氢	87%	56
392		微波吸收; 电磁干扰; 碳纳米管 / 聚苯胺 / 铁氧体; 柔性石墨烯泡沫复合材料; 氧化石墨烯; 宽带微波吸收	86%	40
740	系统与amp;控制	自适应最优控制; 自适应模糊控制; 自适应动态规划; 自适应神经网络控制; 自适应滑模控制; 自适应神经跟踪控制	76%	193
487	纳米生命科学	利用纳米结构标记的免疫分析; 无酶比色检测; 杂交链反应; 内源性过氧化物酶活性; 下一代人工酶; 酶的专一性	72%	37
197	系统与amp;控制	全局指数稳定性; 神经网络; 循环神经网络; 复杂动态网络; 分数阶 Hopfield 神经; 有限时间稳定性分析	71%	71
296	纳米催化	石墨相氮化碳; 光催化活性; 二氧化碳; 光催化转化; 光催化制氢; 光催化水氧化; 简易合成法; 静电自组装结构	70%	112
573	纳米生命科学	活细胞; 荧光探针; 可逆荧光探针; 硫化氢荧光探针成像; 选择性检测; 帕金森病基因敲除; 氧化还原循环	68%	64
521	纳米催化	光催化活性; 石墨烯光催化剂; 半导体 ZO; 电化学传感; 可见光光活性; bi2wo6 纳米结构; iO-i2O3/TiO2 催化剂	66%	42
726	纳米生命科学	介孔二氧化硅纳米颗粒; 逐层组装; 一氧化氮释放; 生物医学应用; 磁性纳米颗粒; 体内生物安全性评估	65%	113
43	气候学	源解析; 气溶胶成分; 极端冬季霾事件; 冬季区域性霾事件; 高酸性环境颗粒; 严重城市霾形成; 高二次气溶胶贡献	65%	58
288		简易合成法; 绿色合成; 高光致发光碳点; 生物显像剂; 生物成像应用; 生物相容性荧光油墨; 双功能荧光碳纳米点	62%	36

续表

研究领域 id	研究大类	关键词 (部分)	论文份额	总论文数
374	系统与amp;控制	时变编队控制; 多智能体系统; 无人驾驶飞行器; 卫星姿态跟踪策略; 固定时间同步; 有限时间跟踪控制	61%	30
114	无线通信与amp;人工智能	多属性决策; 群体决策; 群体决策问题决策; 信息技术应用; 失效模式; 犹豫模糊语言信息; 双犹豫模糊集; 多准则决策	60%	174
776	储能材料与amp;器件	高性能非对称超级电容器; 混合超级电容器; 高性能伪电容器; 无粘结剂电极; 超级电容器电极材料	60%	48
12	数学与amp;力学	非线性薛定谔方程; Hitot - SaSuna 样方程; 非局部非线性薛定谔方程; 流体力学; 可积湍流; 幂律非线性	59%	158
635	纳米生命科学	活体光声成像; 有机光热纳米剂; 白蛋白 / 纳米二氧化锰; 粒子间能级对准; 聚合物纳米粒子; 生物相容的聚乙二醇	59%	60
264	无线通信与amp;人工智能	面向社会的自适应传输; 一种新的隐私保护方法; 物理层网络编码; 异构 Ad Hoc 网络; 基于网格的联合路由	59%	34
523	储能材料与amp;器件	高性能超级电容器; 高性能超级电容器电极; 锂离子电池; 无粘结剂超级电容器电极; 石墨烯量子点; 增强钠储存	59%	183
1094	纳米催化	光催化去除; 光催化性能; 树脂吸附染料; 一锅法水热合成; 可见光驱动的光催化剂; 光催化剂 ag3po4/gc34	59%	34

附表 1-2 中国科研活跃度排名前 10 的研究领域 (含少于 10 个研究前沿)

研究领域 id	研究大类	关键词 (部分)	论文份额	总论文数
1095		芙蓉多糖; 细胞内抗氧化解毒作用; 活性氧生成; 巨噬细胞免疫调节活性; 免疫增强活性; 草药成分; 中医药	100%	5
765		人类健康相关风险; 污染的健康风险; 地下水水质; 污水灌溉林; 浅层地下水污染; 水化学评价; 水文地球化学特征	96%	8
1179	低碳经济	区域分配; 中国碳排放交易; 碳强度降低目标; 基于多 Agent 的模型; 经济绩效建模; 碳排放配额; 二氧化碳减排	89%	11
592		微型圆筒燃烧室; 四旋翼无人机浸没式无人机; 模糊灰关联分析; 钝体形状; 吹脱极限; 平面微型燃烧器; 渐缩墙	89%	9

续表

研究领域 id	研究大类	关键词 (部分)	论文份额	总论文数
587	无线通信与人工智能	决策理论粗糙集; 犹豫模糊集; 简化中性集; 三路决策; 多粒度粗糙集; 决策理论粗糙集; 多准则决策; 多准则决策	87%	84
571		非易失性低电压存储器; 有机-无机杂化铁电体; 高温多轴铁电体; 可切换客体分子动力学; 共振量子磁电效应	86%	11
209	系统与控制	参数估计算法; 图像噪声平滑; 多变量 Hammerstein-CARMA 系统; 非线性 IIR 滤波器; 耦合最小二乘辨识	83%	34
1116	生命组学研究	miRNA 疾病关联预测; 癌症标志网络框架; 长非编码 RNA; II 期结肠直肠癌; 微小 RNA 功能; ; 基于序列的预测	82%	59
621	数学与力学	随机 SIRS 传染病模型; 随机 Lotka-Volterra 系统; 种群动态行为; 病毒感染动态模型; 随机时滞竞争模型	78%	81
1173	环境治理	虚拟分子印迹; 水介质中四环素; 高效去除氯霉素; 选择性固相萃取; 功能化二氧化硅纳米颗粒; 分子印迹纳米颗粒	78%	50

附表 1-3 美国科研活跃度排名前 20 的研究领域 (含至少 10 个研究前沿)

研究领域 id	研究大类	关键词 (部分)	论文份额	总论文数
347	社会医学	新生儿戒断综合征; 临床实践指南; 腰痛; 非处方阿片类药物使用; 阿片类药物相关死亡率; 处方药监测计划	87%	37
539	社会医学	可支付医疗法案; 医疗保险覆盖面; 居家初级护理; 心力衰竭; 医师职业倦怠; 地方保健; 急性心肌梗死	86%	127
145		急症护理医院; 预防医疗保健相关感染; 预防手术部感染; 病人个人数据; 阿米卡星磷霉素吸入系统; 临床实践指南	83%	27
594	肿瘤	B 细胞恶性肿瘤; 先导性临床试验结果; 复发难治性慢性淋巴细胞性白血病; B 细胞急性淋巴瘤细胞瘤	82%	60
622	传染病研究	CD4 结合位点; 人源化小鼠; 结合的人类抗体; 爱滋病毒; 单克隆抗体治疗; HIV 1 感染细胞; 疫苗接种	81%	61
763	脑结构与功能	抑郁相关行为; 神经元型特异信号; 5-羟色胺神经元信号奖励; 中缝神经元信号奖赏; 神经元对神经编码的调制	76%	60
492	社会医学	癌症相关危险行为; 青少年危险行为调查; 同性婚姻法; 同性合法婚姻; 性别、少数民族健康差异; 精神健康污名化	75%	34

续表

研究领域 id	研究大类	关键词 (部分)	论文份额	总论文数
74	社会医学	女性性工作者; 性风险行为; HIV 感染; 预暴露预防; 艾滋病发病率; 全球性流行病学; 抗逆转录病毒预防; 艾滋病预防	75%	59
110	心理学研究	元分析; 积极情绪; 成长智力心理定势; 偏见习惯干预; 反应时间反向推理; 跨时间干预效果; 减少社会阶层的平等	73%	81
504	生态学	美国西部干旱区; 火灾易发森林景观; 全球森林火灾危险源; 森林死亡率; 挪威云杉山地森林; 雀麦入侵	73%	50
319		先天性心脏病; 快速全基因组测序; 人类基因组; 药物靶基因测序; 全外显子测序; 综合变型分析套件; 剪接位点 SNV	72%	38
213	植物学	深水地平线石油泄漏; 微生物共生关系; 生物可利用多环芳烃; 深水珊瑚群落; 大型捕食性远洋鱼类; 海洋蓝藻	71%	57
425		高维协方差矩阵; 折叠凹惩罚估计; 稀疏降秩回归; 高维时间序列; 稀疏主成分分析; 高维异构数据; 渐近最优置信域	70%	36
473		冠状动脉心肌细胞衍生细胞; 诱导心肌再生的 miRNA; 组织工程心脏贴片; 缺血性心肌病; 基于细胞的心脏研究	69%	50
151	社会科学	社交媒体使用; 社会化媒体; 开放式调查响应; 自动内容分析方法; 数字记录可预测性; 网络政治传播; 报纸网站评论	68%	57
478		血液 DNA 序列; 骨髓增生异常综合征; 年龄相关突变; 克隆进化; TET2 突变预测; 白血病体细胞突变; 血癌危险性	68%	35
65	脑结构与功能	视网膜神经节细胞; 前额叶皮质; 视皮层; 听觉闭环刺激; 功能不同的神经元群; 睡眠依赖记忆分类法; 海马锐波纹波	66%	195
944	肿瘤	小细胞肺癌; 乳腺癌; 异种移植瘤; 肌层浸润性膀胱癌; 体细胞点突变; 肿瘤浸润淋巴细胞; 体细胞突变	66%	119
89	心理学研究	社会隔离; 同情训练改变利他主义; 满意度测量; 青春期的种族认同; 积极情绪拓宽; 社会关系; 积极心理干预	66%	34
192	基因编辑与生物合成	人细胞; 哺乳动物细胞; CRISPR/Cas9 介导的基因编辑; CRISPR/Cas9 系统; 靶向 DNA 脱甲基	66%	160

附表 1-4 美国科研活跃度排名前 10 的研究领域 (含少于 10 个研究前沿)

研究领域 id	研究大类	关键词 (部分)	论文份额	总论文数
647		枪支立法; 减少枪支相关伤害; 暴力死亡率; 枪械暴力; 美国; 筛查实践; 枪支相关损伤	100%	6
664	社会医学	支付得起的医疗法改变; 国民卫生支出预测; 性别差异; 医药工业用餐; 品牌他汀; 病人交往; 老龄化推动部门	100%	11
766		有效的无创基因传递; 单细胞谱系; 人脑类器官; 周围神经系统; 显示长时间的有丝分裂; 单细胞路线图	98%	11
1041		心理保健; 合作性慢性护理模式; 多条件协作护理干预; 青年心理治疗; 基于远程医疗协作护理; 青少年行为健康	97%	12
813	气候学	天然气业务; 大气甲烷排放量; 总甲烷排放量; 高分辨率大气反演; 碳氢化合物排放特征; 巴内特页岩区; 人为排放	96%	14
1119		孢子结构蛋白; 枯草芽孢杆菌芽孢形成; 枯草芽孢杆菌内生孢子; 多层涂层	94%	4
51	社会医学	电子健康档案; 健康信息交流; 学习型医疗保健系统; 数字药物安全监测; 临床决策支持系统; 大数据; 药物相互作用	94%	38
1089		ACS NQIP 建模优化; 术后再入院; 手术结果监测; 结直肠手术后死亡率; 临床注册与管理; 30 天手术并发症	92%	16
641	社会科学	影响公众支持因素; 成本效益分析; 移民法; 第四修正案; 行政治理; 宪政建设; 合理性审查; 行政法; 非常规规则制定	91%	36
1031		共享自主车辆; 高度自动化车辆; 政策建议; 破坏性变化; 出租车业务; 碳的影响; 出租车; 旧金山	90%	5

附录 2 中国、美国论文份额排名前 10 的学科交叉研究领域

附表 2-1 中国论文份额排名前 10 的学科交叉研究领域

研究领域 id	研究大类	关键词 (部分)	论文份额	总论文数
645	纳米催化	光催化活性; BiOCl 单晶纳米片; 碳量子点; 可见光稳定性; 高效光催化应用; 超薄氧化铋纳米片; 高效光催化析氢	87%	56
197	系统与amp;控制	全局指数稳定性; 神经网络; 循环神经网络; 复杂动态网络; 分数阶 Hopfield 神经; 有限时间稳定性分析	71%	71
296	纳米催化	石墨相氮化碳; 光催化活性; 二氧化碳; 光催化转化; 光催化制氢; 光催化水氧化; 简易合成法; 静电自组装结构	7%	112
521	纳米催化	光催化活性; 石墨烯光催化剂; 半导体 ZO; 电化学传感; 可见光光活性; bi2wo6 纳米结构; iO-i2O3/TiO2 催化剂	66%	42
726	纳米药物	介孔二氧化硅纳米颗粒; 逐层组装; 一氧化氮释放; 生物医学应用; 磁性纳米颗粒; 体内生物安全性评估	65%	113
282	无线通信与人工智能	基于极限学习机; 自适应目标获取; john von neumanns 难题; 鲁棒样本提取; 最大熵熵 Kalman 滤波器; 交通标志识别	63%	38
389		GLAS 中的图案化荧光粉; 无 HF 水热法; 实现白光 / 可调排放; 阳离子纳米颗粒的光致发光; 氟化荧光体合成	62%	34
114	智能决策及应用	多属性决策; 群体决策; 群体决策问题决策; 信息技术应用; 失效模式; 犹豫模糊语言信息; 双犹豫模糊集; 多准则决策	6%	174
635	纳米生命科学	活体光声成像; 有机光热纳米剂; 白蛋白 / 纳米二氧化锰; 粒子间能级对准; 聚合物纳米粒子	59%	60
523	储能材料与器件	高性能超级电容器; 高性能超级电容器电极; 锂离子电池; 无粘结剂超级电容器电极; 石墨烯量子点; 增强钠储存	59%	183

附表 2-2 美国论文份额排名前 10 的学科交叉研究领域

研究领域 id	研究大类	关键词 (部分)	论文份额	总论文数
539	社会医学	可支付医疗法案; 系统评价; 医疗保险覆盖面; 以病人为中心的医疗家庭; 居家初级护理; 心力衰竭; 医院再住院减少计划	86%	127
143	心理学研究	测试开发框架; 支持新手教师学习; 有效的师生互动; 早期语言; 低收入儿童; 父母导向语言干预; 随机对照试验研究	77%	34
504	生态学	美国西部干旱区; 火灾易发森林景观; 全球森林火灾危险源; 森林死亡率; 挪威云杉山地森林; 雀麦入侵; 树木干旱死亡率	73%	50
319		先天性心脏病; 新生突变; 快速全基因组测序; 人类基因组; 基因检测; 临床实验室标准; 药物靶基因测序; 基因组识别个体弹性	72%	38
213	植物学	深水地平线石油泄漏; 微生物共生关系; 生物可利用多环芳烃; 深水珊瑚群落; 大型捕食性远洋鱼类; 天然丰度放射性碳	71%	57
944	肿瘤	小细胞肺癌; 乳腺癌; 异种移植瘤; 肌层浸润性膀胱癌; 体细胞点突变; 肿瘤浸润淋巴细胞; 人癌; 拷贝数变更发现	66%	119
307	纳米生命科学	肿瘤穿透; 细胞内化; 给药; 葡萄糖介导的胰岛素递送; 实验性自身免疫性脑脊髓炎; 环境触发药物释放; 磁共振信号	65%	49
107	内分泌与代谢病	系统评价; 饮食炎症指数; 超加工食品; 膳食模式方法项目; 从结果; 饮食自我报告仪; 营养流行病学; 国民健康; 膳食质量	64%	86
454	社会医学	电子烟; 电子烟使用; 电子尼古丁递送系统; 电子烟使用; 横断面研究; 青年人; 中烟利用; 戒烟; 损害室内空气质量	64%	72
646	传染病研究	慢性 HIV 感染; HIV 感染者; 抑制性抗逆转录病毒疗法; 深度比较; SAMHD1 限制; 人类免疫缺陷病毒型	63%	45

附录 3 中国、美国论文份额排名前 10 的新兴热点研究领域

附表 3-1 中国论文份额排名前 10 的新兴热点研究领域

研究领域 id	研究大类	关键词 (部分)	论文份额	总论文数
765	水污染	人类健康相关风险; 污染的健康风险; 地下水水质; 污水灌溉林; 浅层地下水污染; 水化学评价; 水文地球化学特征	96%	8
592		微型圆筒燃烧室; 四旋翼无人机浸没式无人机; 模糊灰关联分析; 钝体形状; 吹脱极限; 平面微型燃烧器; 渐缩墙	89%	9
571		非易失性低电压存储器; 有机-无机杂化铁电体; 高温多轴铁电体; 可切换客体分子动力学; 共振量子磁电效应	85%	11
1116	生命组学研究	miRNA 疾病关联预测; 癌症标志网络框架; 长非编码 RNA; II 期结直肠癌; 微小 RNA 功能; 基于序列的预测	82%	10
870	页岩气	求解不确定微分方程; 自发吸吮; 裂隙岩体; 岩石断裂; 纤维多孔介质; 压裂水平井; 受激储层体积; 非常规气藏	76%	18
389		GLAS 中的图案化荧光粉; 无 HF 水热法; 新无机固态; 实现白光 / 可调排放; 阳离子纳米颗粒的光致发光	62%	34
434	纳米催化	金属配位聚合物; 可见光光催化还原; 密度泛函理论研究; 金属有机框架; 气溶胶喷雾技术; 羟基改性二氧化钛	58%	17
303	生命组学研究	胃癌; 结直肠癌; 非编码环状 RNA; sepallata3 的 circrna 调节; 新生物标志物; 上调的环状 RNA; 肠上皮细胞	56%	16
555		通过合并人类微观; 高质量底片; 小说特征排名指标; DNA 结合蛋白; 统统统治他们; 生物信息学数据分类	55%	8
980	环境治理	工业纺织废水处理; 混凝顺序; 光化学氧化法; 跌落冲击动力学; 增强光催化降解; 声纳辅助吸附; 增强吸附容量	44%	8

附表 3-2 美国论文份额排名前 10 的新兴热点研究领域

研究领域 id	研究大类	关键词 (部分)	论文份额	总论文数
664	社会医学	支付得起的医疗法改变; 国民卫生支出预测; 性别差异; 医药工业用餐; 品牌他汀; 病人交往; 老龄化推动部门	100%	11
766		有效的无创基因传递; 单细胞谱系; 人脑类器官; 周围神经系统; 显示长时间的有丝分裂; 单细胞路线图	98%	11
274	基因编辑与生物合成	免疫活性造血干细胞; 神经发育障碍危险基因; 非遗传决定簇; 发育性残疾; 神经系统疾病研究	74%	8
461	凝聚态物理与光学	稀有区域效应; 玻璃态量子动力学; 平移不变分形; 亚维粒子结构; 量子 Floquet 物质; 周期性驱动; 临界性质	71%	12
816		蛋白质 - 蛋白质相互作用; BAF 多梳复合反对称; 保持关闭状态; 变构性 PRC2 抑制剂靶向性; 驱动结肠癌	70%	19
1081	合成化学	金属有机框架; 电子给体材料性质; 铱配合物; 乙烯转化催化剂; 分子层沉积; 原子层沉积; 分子催化剂	68%	8
812	社会科学	农民集体行动; 家庭收入来源; 农业要素市场; 食品价格季节性; 农业生产率; 城市化; 订单农业; 劳动生产率	65%	10
320	肿瘤	晚期黑色素瘤; 一线治疗; 抗 PD 1 治疗; 免疫检查点封锁; 标枪实体瘤; 1B 期试验; 转移性黑色素瘤	60%	64
576	数学与力学	两相不可压缩流动; 能量稳定方案; 快速直接求解器; 水动力 Q 张量模型; 块低秩表示; 能量稳定数值格式	59%	21
309	肠道微生物	全身炎症; 慢性迷走神经刺激; 减轻疾病严重程度; 神经免疫相互作用; 先天性淋巴样细胞; C1 神经元介导	55%	15

科学结构图谱 2021

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/>