

刘娅楠, 刘森, 贾超, 等. 基于文献计量学的深远海地质研究分析与展望[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(12): 88-95.

基于文献计量学的深远海地质研究分析与展望

刘娅楠¹, 刘森^{1*}, 贾超¹, 胡邦琦², 宋维宇², 杨帆¹

(1 山东大学海洋研究院, 青岛 266237; 2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266237)

摘要: 深远海海洋地质的研究具有重要的科研和社会价值, 是当今国际发展的一大趋势。运用 CiteSpace 软件对 Web of Science 核心数据库中相关文献进行分析, 探究当前国际研究现状、研究热点和前沿。结果表明, 该领域目前仍处于发展阶段并具有广阔的研究和应用前景, 90 年代前后为其迅速发展阶段; 欧美等发达国家在该领域成果突出, 而我国近年来呈现上升势头, 但仍有较大的发展空间; 深远海地质的文献联系不够紧密, 各学科方向有待完善。其中, 构造地质学和沉积学是该领域的热点研究方向, 地球化学物理方法是常用的研究手段, 海底峡谷是热点研究区域, 全新世是研究的主要时期。

关键词: CiteSpace; 海洋地质; 深远海; 文献计量学

中图分类号: P736

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2020.123

0 引言

海洋地质学是研究地壳被海水淹没部分的物质组成、地质构造和演化规律的学科, 是地质学与海洋学的边缘科学^[1]。随着社会的发展, 海洋对于人类生存和发展的影响越来越突出, 在经济发展中的作用和地位也越来越显著^[2]。以往调查和研究受限于科学技术和经济条件, 对于海洋地质研究主要集中在海岸带及近海。近年来, 得益于科技进步和全球化的趋势, 国际上对于海洋地质研究正逐渐由近海向深远海迈进。深远海作为尚未开发的领域, 蕴藏着大量宝贵的自然资源, 在海洋矿产资源开发、海洋工程建设等方面具有重要意义。中国虽然是海洋大国, 但在海洋地质学领域起步较晚, 国家抓住机遇推进深远海海洋地质的研究势在必行。

文献计量学是集数学、统计学、文献学为一体的一门交叉科学, 是进行文献统计及其可视化分析的一种重要手段^[3]。近年来, 运用文献计量学对某一科学领域进行定量分析, 逐渐成为科研量化评价

的重要方法, 受到科学界的广泛重视。利用 CiteSpace 软件对文献进行可视化分析, 能够实现对研究领域演化趋势、前沿热点的把握, 探究知识基础之间的关系, 是目前较为有效的科研数据应用软件^[4]。本文基于文献计量学方法, 利用 CiteSpace 软件, 以深远海海洋地质研究成果为研究对象, 对 Web of Science 核心数据库 1950 年 1 月—2020 年 12 月间收录文献进行可视化分析。最终梳理了该领域的研究进展、热点及前沿, 对深远海海洋地质领域进步具有一定的促进意义。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

Web of Science (WoS) 数据库收录了大量深远海海洋地质领域的研究数据, 是研究国际上深远海海洋地质学科现状的重要数据库。海洋地质学研究方向包括海底构造、海洋沉积、海岸与海底地形地貌、洋底岩石、大洋地质历史和海底矿产资源^[5]。为尽可能全面的获取深远海海洋地质领域文献, 本文选取 Web of Science 核心数据库作为数据检索平台, 以海洋地质的 6 大主要研究方向和深远海共同作为主题词, 搜索 1950 年 1 月—2020 年 12 月发表的科学文献。筛选剔除后共得到 25 865 篇文献, 导出目标文献的“全记录与引用的参考文献”,

收稿日期: 2020-08-13

资助项目: 中国地质调查局项目(DD20191010, DD20191003)

作者简介: 刘娅楠(1997—), 女, 在读硕士, 主要从事海洋地质方面的研究工作。E-mail: yanan_liu@mail.sdu.edu.cn

* 通讯作者: 刘森(1989—), 男, 博士, 助理研究员, 主要从事海岸带环境、海洋地质方面的研究工作。E-mail: sen_liu@sdu.edu.cn

保存为.txt 格式文件, 并命名为“download.data”。获取的文献虽不能完全覆盖深远海海洋地质领域, 但集合了该领域主要研究内容, 能够较好的实现分析与展望。

1.2 研究方法

CiteSpace 是一款基于 JAVA 平台的可视化文献分析软件, 可以对文献的作者、机构、关键词等数据进行分析, 绘制特定科学和技术领域的知识图谱。在短时间内实现对大量文献的筛选、归纳, 更为直观的展示研究领域的关键信息, 有效地提高了学科研究速率和发展进程。已有多位学者对 CiteSpace 软件运行结果进行了验证, 证实了其结果的可靠性^[6]。

本文通过 Web of Science 自带的分析检索功能对目标文献的发文量及学科类型进行分析。利用 CiteSpace 软件分析 Web of Science 中获取的 1950 年 1 月—2020 年 12 月的科学文献, 设置时间切片为 5 年, 从国家和地区、共被引、关键词等几个方面分别进行研究。在国家和地区共现图谱中, 选择“Country”作为节点类型, Top20 作为节点阈值, 探讨研究领域中的国际发展与合作情况; 在共被引演进图谱中, 以“Reference”为节点, Top50 为节点阈值, 生成时区图, 研究深远海海洋地质学科的演进情况; 在关键词共现图谱中, 以“Keyword”为节点类型, 选择 Top20% 为节点阈值, 揭示领域研究热点和前沿。

2 结果与分析

2.1 发文量及学科类型

Web of Science 核心数据库检索结果表明, 1950 年 1 月—2020 年 12 月国际上共发表深远海海洋地质文献 25 865 篇。由图 1 可以看出, 该领域的发文量虽然存在一定波动, 但总体呈现上升趋势, 这主要与学科发展和科学技术的进步有关。海洋地质是一个新兴学科, 尤其是深远海, 过去很大程度上受制于技术条件, 研究资料难以获取, 成果相对较少。随着科学技术的不断发展, 针对该领域的研究逐渐成为可能。1991 年为深远海海洋地质文献发文量的第 1 个增长阶段, 相关研究开始得到认可。自 2013 年起, 发文量再次呈现显著上升趋势, 这可能与近年来各国积极致力于深远海海洋资源

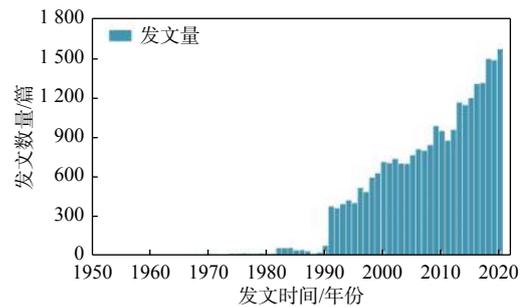


图 1 1950—2020 年深远海海洋地质文献发文量

Fig.1 The number of papers published on deep ocean geology from 1949 to 2020

的开发与利用有关。

从学科类型上来看(图 2), 深远海海洋地质的研究主要是围绕着地质学、海洋学展开的, 在此基础上对自然地理、生态环境科学、工程学等学科进行了一些研究。从研究方法上来看, 主要借助地球化学物理方法进行研究, 这是由深远海海洋地质自身特点决定的。地球化学物理方法是海洋地质研究过程中广泛应用的技术手段, 极大的促进了海洋地质学科的发展和进步^[7-8]。此外, 水资源、矿物学、能源燃料等学科的研究表明, 人们正在逐渐尝试利用海洋资源, 实现海洋经济化。

关于深远海海洋地质的研究最早源于 1952 年美国学者 KULP^[9], 他用气体吸附法测定了一组具有代表性的深海沉积物的表面积。Web of Science 中被引频次最高的是 MILLIMAN^[10] 关于地貌构造控制沉积物流入海洋的研究, 通过对 280 条入海河流进行分析, 提出小山区河流对沉积物流入海洋存在重要影响, 被引次数达 2221 次。引用较高的文献大多与构造和沉积相关, 作为地质学的基础学科, 构造和沉积地质是深远海海洋地质的重要研究内容, 因而呈现出较高的引用量。

2.2 发文分析

Web of Science 核心数据库收录情况表明, 1950 年 1 月—2020 年 12 月, 深远海海洋地质的研究人员分布在世界多个国家和地区, 图 3 是国际上发表文章总数排在前 10 的国家。美国是该领域发文量最多的国家, 共计 6 539 篇, 遥遥领先其余各国; 排名第 2 的是德国, 共发文 3 177 篇; 第 3 名是英国, 总共发文 3 110 篇; 中国以 2 891 篇位居第 4, 之后依次为法国、加拿大、意大利、日本、挪威和澳大利亚。这些国家都拥有较强的科研实力和丰富的海洋资源, 相对来说要更加重视深远海海洋地质领域的研究。除中国外, 排名前 10 的国家皆为发达国



图 2 深远海海洋地质各相关研究方向文献数量及占比

Fig.2 Number and proportion of literatures in related research directions of deep ocean geology

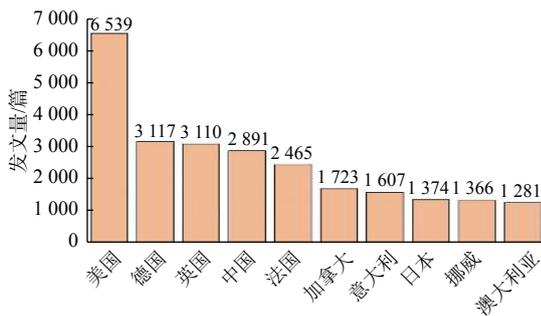


图 3 深远海海洋地质领域发文章量前 10 的国家

Fig.3 Top 10 countries of published papers in the field of deep ocean geology

家,拥有雄厚的经济实力,这可能与深远海海洋地质研究过程中巨大的财力、物力消耗有关。

利用 CiteSpace 对发文前 20 的国家合作关系进行了可视化分析(图 4),将时间跨度设置为 1950 年 1 月—2020 年 12 月,时间切片设置为 5 年,分析节点设置为“Country”,数据选取标准为 Top 20,即对每个时间切片内发表文章数量前 20 的国家或地区进行分析。结果表明,深远海海洋地质领域国际合作较为紧密,欧美国家在该领域研究成果显著、交流密切,美国位居世界领先地位。非洲国家在深远海海洋地质领域的研究相对匮乏,亚洲国家只有中国、日本、韩国和印度成果较为突出,中国虽然和欧美国家有较多合作关系,但是仍然存在发展空间。

通过 Web of Science 的分析检索功能,对目标文献中排名前 10 的发文章刊、机构和作者进行整理(表 1)。国际上深远海海洋地质领域的文章主要

发表在 Marine Geology 上,共计 2 035 篇;排名第 2 的是 Marine and Petroleum Geology,共 1 044 篇;排名第 3 的是 Quaternary Science Reviews,共 1 001 篇。国际上深远海海洋地质领域发文章量排名前 3 的研究机构分别是国家科学研究中心(Centre National De La Recherche Scientifique Cnrs)、德国亥姆霍兹联合会(Helmholtz Association)和中国科学院(Chinese Academy of Sciences)。虽然我国的中国科学院(Chinese Academy of Sciences)在深远海领域发文章量较高,但其余科研机构发展较为落后,缺乏具有国际影响力的期刊,在深远海海洋地质方面的研究还存在较多不足,还有很长的路要走。

目前该领域的成果主要由 CANALS M、SHI X F 和 PIPER D J W 等人贡献,中国学者相对较少,位居前 10 的仅有 SHI X F 和 ZHANG J 2 人。我国学者发表的第 1 篇文章是由吉林大学的 HE 等^[11]在 1984 年撰写的,他们基于大西洋南部海角盆地第 524 号深海钻探项目,测定了区域上白垩统一古近系沉积物的稳定同位素和碳酸盐百分比数据。

尽管中国对于深远海海洋地质的研究起步较晚,研究成果尚不丰硕,但是中国对于该领域的重视程度正在提高,发展速度较快。世界基金资助机构资助的深远海海洋地质相关文章数目表明,受中国国家自然科学基金委员会(National Natural Science Foundation of China, NSFC)资助发表的文章数目排名第 1 位,共计 1 656 篇。这体现了中国政府对该领域研究的重视以及中国在深远海海洋地质

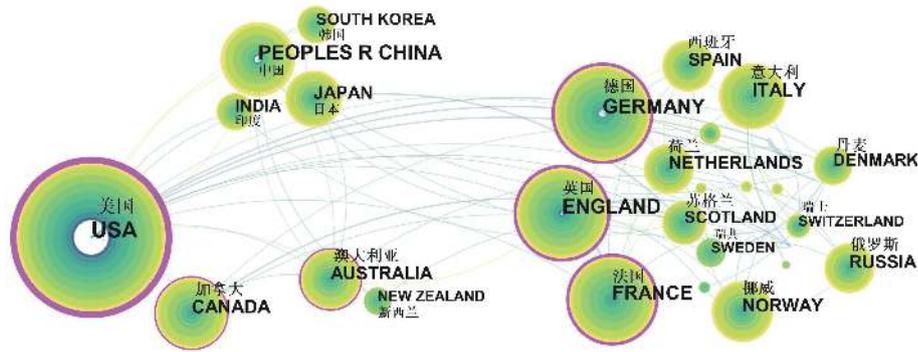


图 4 深远海海洋地质发文国际合作关系

Fig.4 International cooperation in papers on the deep ocean geology

表 1 1950—2020 年国际深远海海洋地质学领域发文机构、作者和期刊

Table 1 Publishers, authors and periodicals in the field of deep ocean geology from 1950 to 2020

排名	期刊	机构	作者
1	Marine Geology	Centre National De La Recherche Scientifique Cnrs	CANALS M
2	Marine and Petroleum Geology	Helmholtz Association	SHI X F
3	Quaternary Science Reviews	Chinese Academy of Sciences	PIPER D J W
4	Deep Sea Research Part II Topical Studies in Oceanography	Russian Academy of Sciences	DOWDESWELL J A
5	Sedimentary Geology	University of California System	ZHANG J
6	Deep Sea Research Part I Oceanographic Research Papers	Cnrs National Institute for Earth Sciences Astronomy Insu	MULDER T
7	Continental Shelf Research	University of Bremen	ANDREWS J T
8	Journal of Coastal Research	United States Department of the Interior	STEEL R J
9	Sedimentology	United States Geological Survey	VORREN T O
10	Quaternary International	Utrecht University	LABERG J S

领域科研能力的提升。

2.3 核心文献分析

目标文献的被引频次是指论文在 Web of Science 数据库中的总被引次数, 但是被引频次高的文献不一定属于深远海海洋地质研究领域, 还可能被其他相关研究领域引用, 从而形成高引用频次^[12]。分析文献的共被引频次可以很好地避免这一问题。文献共被引是指目标文献中不同作者发表的文献同时被其他论文作者引用的频次, 能够反映出研究领域作者间的相互联系, 揭示他们各自或共同代表的研究领域及前沿^[13-15]。利用 CiteSpace 对获取的 25 865 篇文献进行共被引分析, 设置时间切片为 5 年, 分析节点为“Reference”, 数据选取标准为 Top 50, 即对每个时间切片内发表文章共被引频次前 50 的文献进行分析。导出共被引频次排名前 10 的文献, 得到深远海海洋地质文献共被引分析表(表 2)。

从表 2 中可以看出, 深远海海洋地质领域的文献共被引频次相差较大, 最高频次为 570 次, 排名第 2 的文献仅为 237 次, 不足第 1 名的一半, 表明

该研究领域的文献质量存在出入, 联系不够紧密, 可能与该学科起步较晚, 还处于发展阶段, 各方面的研究还有待完善有关。放射性碳定年是探测地质年代的重要手段, 被广泛应用于深远海海洋地质学的领域, 共被引排名较为靠前。REIMER 等^[16]利用¹⁴C 测量数据, 对 IntCal13 和 Marine13 放射性碳年龄曲线进行了校准。STUIVER 等^[17]将放射性碳年龄转换为 24 000-0 cal BP 的校准年龄, 发现 Int-Cal98 的 $\Delta^{14}\text{C}$ 值反映了海洋深水环流的变化, 特别是 16 000~11 000 cal BP 层段。HUGHEN 等^[18]构建了 Marine04 放射性碳校准曲线, 提高分辨率并将校准数据集延长为 0~26 cal ka BP。海平面变化影响着全球经济、气候等多个方面, 同样具有较高的共被引频次。LAMBECK 等^[19]通过对海平面约 1 000 次观测结果的反演, 量化了过去 3.5 万年里全球海洋和冰量的升降。HAQ 等^[20]利用层序地层学和沉积模型构建了一个自三叠纪以来海平面波动的年代地层学模型, 为认识世界海平面事件提供了参考和借鉴。MILLER 等^[21]回顾了显生宙海平面在不同时间尺度上的变化, 提出了过去 1 亿年海平面的新记录。此外, 层序地层、海洋沉积等方面的

表 2 深远海海洋地质文献共被引分析

Table 2 Co-citation analysis of deep ocean geology papers

频次/次	年份	作者	题目	期刊
570	2013	REIMER P J	IntCal13 and Marine13 Radiocarbon age calibration curves 0~50 000 years cal BP	Radiocarbon
237	1998	STUIVER M	IntCal98 radiocarbon age calibration, 24 000~0 cal BP	Radiocarbon
147	2014	LAMBECK K	Sea level and global ice volumes from the Last Glacial Maximum to the Holocene	Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America
140	2009	CATUNEANU O	Towards the standardization of sequence stratigraphy	Earth-Science Reviews
139	2004	HUGHEN K A	Marine 04 marine radiocarbon age calibration, 0~26 cal ka BP	Radiocarbon
128	1987	HAQ B U	Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic	Science
121	2014	REBESCO M	Contourites and associated sediments controlled by deep-water circulation processes: State-of-the-art and future considerations	Marine Geology
101	1989	FAIRABANKS R G	A 17 000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation	Nature
101	2012	TALLING P J	Subaqueous sediment density flows: Depositional processes and deposit types	Sedimentology
95	2005	MILLER K G	The phanerozoic record of global sea-level change	Science

研究也具有很高的共被引频次。CATUNEANU 等^[22]提议通过定义基本的模型独立概念、单元、边界面和工作流,实现层序地层学的标准化。REBESCO 等^[23]对受深水循环过程控制的轮廓岩和相关沉积物研究情况进行分析,期望实现轮廓岩研究的协同作用,从而证明底流在大陆边缘沉积和演化中的重要性。FAIRABANKS 等^[24]根据珊瑚礁提供的冰川消退期间海平面变化记录,研究了冰川融化速率对新仙女木事件和深海环流的影响。TALLING 等^[25]总结了海底沉积物密度流的沉积过程,并提出了一种新的沉积类型分类方法。

在 CiteSpace 软件中将文献共被引结果进行可视化,按照关键词提取标签对该网络结构进行聚类,并将其转换为时区图(图 5)。文献共被引时区图可以展示文献在不同时间段分布和变化,从而分析研究领域发展和演进情况。从图 5 可以看出,深远海海洋地质共被引文献主要分布在 1969—2020 年间,1985—1999 年是该学科高速发展的阶段,高共被引文献大多出现在这一时期;2009—2014 年高共被引文献再次呈现上升趋势,表明近年来深远海海洋地质发展迅速,可能是该领域又一发展阶段。总的来看,深远海海洋地质的研究呈现螺旋式上升的状态。

2.4 研究热点及前沿

关键词是学术论文内容的高度精炼和概况,对学科领域的研究热点具有指示性作用^[26]。利用 CiteSpace 绘制关键词共现网络图谱可以形象地反映出当前学科领域的研究热点,保持时间跨度及切片不变,将“Keyword”作为分析节点,数据选择标准为 Top20%,即筛选出每个时间切片内出现频次

前 20% 的关键词。导出出现频次较高的前 20 个关键词,得到深远海海洋地质领域高频关键词(表 3)。

除海洋(sea & ocean)外,演化(evolution)是排名第 1 的高频关键词,表明该领域学者对于深远海海洋地质现象的形成过程进行了较为深入的研究,另外,与其相关的关键词还有历史(history)、记录(record)等。海洋地质学的最大学科分支的海洋沉积学(sediment)是另一高频关键词,海洋沉积学不仅是 20 世纪地学革命的支柱,更是 21 世纪发展地球系统科学的重要依靠^[27]。此外,地球化学(geochemistry)、地层学(stratigraphy)、层序地层学(sequence stratigraphy)等学科的研究也是深远海海洋地质的研究热点。深海盆地(basin)、大陆架(continental shelf)、大陆边缘(continental margin)等是较为热门的研究区域。

在 CiteSpace 软件中对关键词以时间线图的形式进行可视化(图 6),可以观察聚类的历史发展,研究的活跃程度以及聚类之间的时间关系^[26]。由图 6 可知,共形成 8 个关键词聚类,包括全新世(holocene)、构造学(tectonics)、沉积物运移(sediment transport)、沉积(sediment)、起源(provenance)、海底峡谷(submarine canyon)、有机碳(organic carbon)、末次盛冰期(last glacial maximum)。全新世是深远海海洋地质研究的主要时期。其中,地质史上最后一次极寒冷时期即末次盛冰期,对深远海海洋地质产生了很大影响,是研究热点时期之一^[28]。构造地质学和沉积学作为海洋地质各分支学科的基础,研究时间最持久。海洋是巨大的碳储库,有机碳的研究对深远海海洋资源开发利用和全球气候变化具有重要影响^[29-30]。海底峡谷是海洋中物

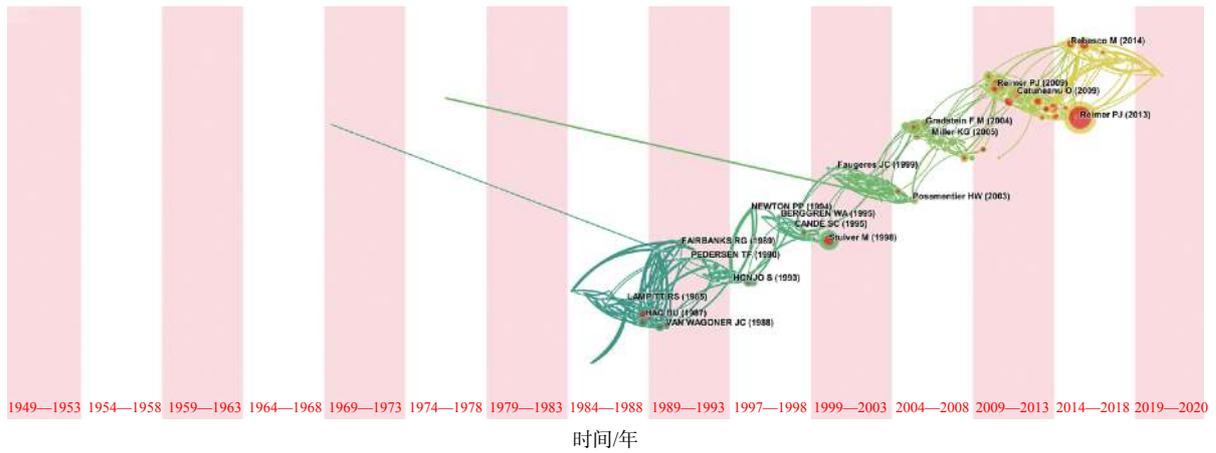


图 5 深远海海洋地质核心文献共被引演进图谱

Fig.5 Co-cited evolution map of core papers deep ocean geology

表 3 深远海海洋地质领域高频关键词

Table 3 High-frequency keywords in the field of deep ocean geology

序号	关键词	频次	序号	关键词	频次/次
1	evolution	2 916	11	continental margin	1 003
2	sediment	2 764	12	geochemistry	972
3	sea	2 122	13	model	967
4	basin	1 514	14	climate	960
5	stratigraphy	1 168	15	margin sediment	924
6	holocene	1 158	16	organic matter	884
7	history	1 125	17	continental shelf	875
8	ocean	1 116	18	sequence stratigraphy	859
9	sea level	1 092	19	water	851
10	record	1 070	20	variability	831

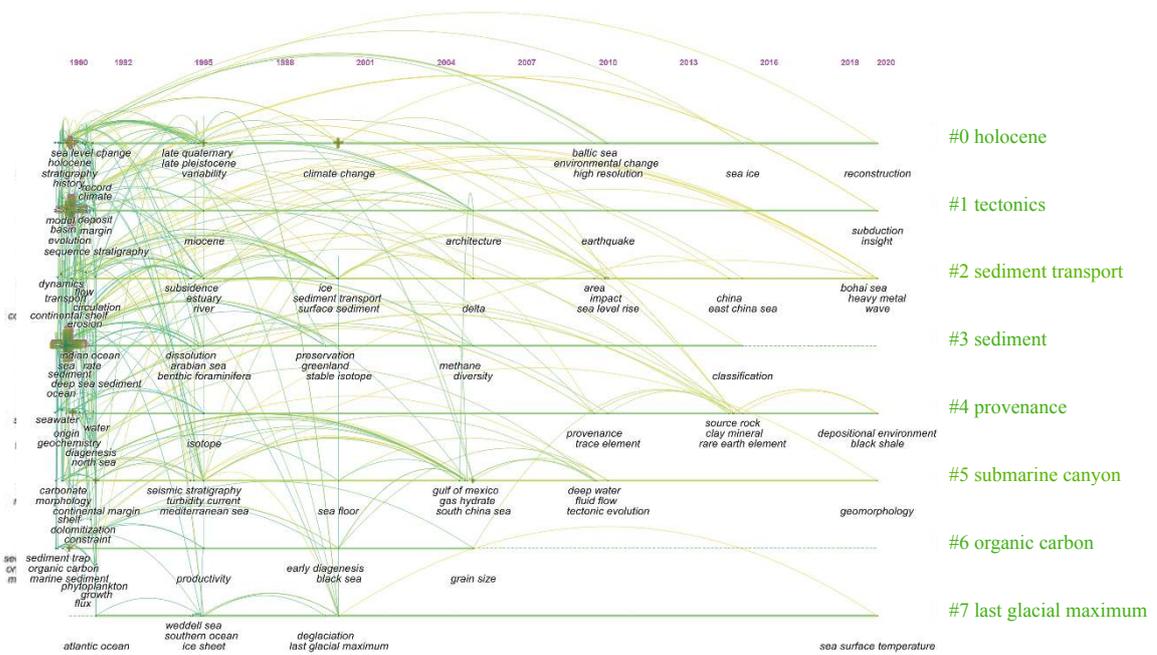


图 6 关键词共现时间

Fig.6 Keywords co-occurrence time diagram

质运移的重要通道,海洋地质学家围绕着其形成、运移机理、类型等方面展开了大量研究^[31-32]。

利用 CiteSpace 还可以对关键词进行聚类分析,深入了解研究领域的方向、方法和典型对象。聚类结果表明,除上述研究内容外,深远海海洋地质学的研究方向还包括地震地层学(seismic stratigraphy)、古地理学(paleogeography)、地质年代学(geochronology)等;研究方法包括地球化学(geochemistry)、地磁勘探(magnetic exploration)、数值模拟(numerical modelling)等;典型研究对象主要包括海湾(gulf)、有孔虫(foraminifera)、海底滑坡(submarine landslides)等。聚类节点主要集中在 20 世纪 90 年代,1992 年和 1995 年节点较多,这可能与 1991 年该领域文献发文量增加有关。沉积(sediment)、南海(South China Sea)、全新世(Holocene)等词在多个聚类中均有出现,是深远海海洋地质学的长期、热点研究内容。

3 结论与展望

本文以 Web of Science 核心数据库为数据来源,借助 CiteSpace 软件对 1950 年 1 月—2020 年 12 月深远海海洋地质相关文献信息进行了统计和可视化分析。从文献的发文量、学科类型、核心发文国家等多个方面进行研究,反映了深远海海洋地质领域的研究现状、热点和前沿。由此得出以下主要结论:

(1)该领域的发文量和引文量总体呈现上升趋势,1991 年为发文量的第 1 个增长起点,1985—1999 年为高共被引文章分布期,表明深远海海洋地质领域在 20 世纪 90 年代前后处于迅速发展阶段。自 2013 年起,发文量又呈现上升趋势,2009—2014 年为高共被引文章又一活跃时期,说明该领域近些年处于发展阶段,具有广阔的研究前景。

(2)深远海海洋地质领域的国际合作较密切,欧美国家进行了大量研究,尤其是美国,位居世界领先地位。研究成果突出的国家大多为发达国家,拥有丰富的海洋资源和雄厚的经济实力,能够为深远海海洋地质研究提供有力支撑。中国在该领域的研究起步较晚,尽管近年来呈现上升势头,但在国际影响力和国家间交流合作方面还有待加强。

(3)深远海海洋地质领域文献质量存在差异,文献间关联度不够紧密。放射性碳作为确定地质年代的重要途径,对深远海海洋地质研究具有积极促进作用,该类文献具有很高的共被引率。多位专

家、学者致力于海平面变化的研究,通过古纪录推测海平面未来变化趋势的同时,积极开展环境保护或许是更为可行的措施。

(4)构造地质学和沉积学是深远海海洋地质领域的研究热点,作为基础性学科,研究时间最为持久。全新世是该领域研究的主要时期,尤其是末次盛冰期,是热点研究时期之一。地球化学物理方法是深远海海洋地质研究过程中使用的主要方法。海底峡谷是研究热点区域,典型研究对象还包括海湾、海底滑坡等。

参考文献:

- [1] 左书华. 现代海洋地质学及其发展[J]. *海洋地质动态*, 2004, 20(12): 14-18,37-38.
- [2] 周华. 海洋地质学成就与发展前景[C]//2008—2009年地质学学科发展报告: 中国地质学会, 2008.
- [3] 李强. 基于文献计量学分析2016年度岩溶学研究热点[J]. *地球科学进展*, 2017, 32(5): 535-545.
- [4] 张灿灿, 孙才志. 基于CiteSpace的水足迹文献计量分析[J]. *生态学报*, 2018, 38(11): 4064-4076.
- [5] 袁世全, 李修松, 萧钧, 等. 中国百科大辞典[M]. 北京: 华夏出版社, 1990.
- [6] CHEN C. CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature[J]. *Journal of the Association for Information ence & Technology*, 2014, 57(3): 359-377.
- [7] 段晓勇, 孔祥淮, 印萍, 等. 全球海洋地球化学调查进展[J]. *海洋地质前沿*, 2020, 36(7): 1-10.
- [8] 杨慧良, 陆凯, 褚宏宪. 海洋地质地球物理调查技术发展趋势探讨[J]. *海洋地质前沿*, 2019, 35(9): 1-5.
- [9] KULP J L, CARR D R. Surface area of deep-sea sediments[J]. *Journal of Geology*, 1952, 60(2): 148-159.
- [10] MILLIMAN J D, SYVITSKI J P M. Geomorphic tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers[J]. *Journal of Geology*, 1992, 100(5): 525-544.
- [11] HE Q, MCKENZIE J A, OBERHANSLI H. Stable-isotope and percentage of carbonate data for upper cretaceous lower tertiary sediments from Deep-Sea Drilling Project Site-524, Cape Basin, South-Atlantic[J]. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, 1984, 73: 749-754.
- [12] 丁陆彬, 何思源, 闵庆文. 应用CiteSpace对生态学科meta分析的文献计量学和可视化分析[J]. *生态学报*, 2019, 39(24): 9416-9423.
- [13] WHITE H D, MCCAIN K W. Visualizing a discipline: an author co-citation analysis of information science, 1972—1995[J]. *Journal of the American Society for Information Science*, 1998, 49(4): 327-355.
- [14] MCCAIN K W. Mapping authors in intellectual space: a technical overview[J]. *Journal of the Association for Information ence & Technology*, 2010, 41(6): 433-443.

- [15] 魏瑞斌. 基于关键词的情报学研究主题分析[J]. *情报科学*, 2006, 24(9): 1400-1404.
- [16] REIMER P J, BARD E, BAYLISS A, et al. IntCal13 and marine 13 radiocarbon age calibration curves 0–50 000 years cal BP[J]. *Radiocarbon*, 2013, 55(4): 1869-1887.
- [17] STUIVER M, REIMER P J, BARD E, et al. IntCal98 radiocarbon age calibration, 24 000–0 cal BP[J]. *Radiocarbon*, 1998, 40(3): 1041-1083.
- [18] HUGHEN K A, BAILLIE M G L, BARD E, et al. Marine radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP[J]. *Radiocarbon*, 2004, 46(3): 1059-1086.
- [19] LAMBECK K, ROUBY H, PURCELL A, et al. Sea level and global ice volumes from the Last Glacial Maximum to the Holocene[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2014, 11(43): 15296-15303.
- [20] HAQ B U, HARDENBOL J, VAIL P R. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic[J]. *Science*, 1987, 235(4793): 1156-1167.
- [21] MILLER K G, KOMINZ M A, BROWNING J V, et al. The Phanerozoic record of global sea-level change[J]. *Science*, 2005, 310(5752): 1293-1298.
- [22] CATUNEANU O, ABREUB V, BHATTACHARYA J P, et al. Towards the standardization of sequence stratigraphy[J]. *Earth-Science Reviews*, 2009, 92(1-2): 1-33.
- [23] REBESCO M, HERNANDEZ-MOLINA F J, VAN ROOIJ D, et al. Contourites and associated sediments controlled by deep-water circulation processes: state of the art and future considerations[J]. *Marine Geology*, 2014, 352(SI): 111-154.
- [24] FAIRBANKS R G. A 17 000-Year Glacio-Eustatic sea-level record-influence of Glacial melting rates on the Younger Dryas Event and deep-ocean circulation[J]. *Nature*, 1989, 342(6250): 637-42.
- [25] TALLING P J, MASSON D G, SUMNER E J. Subaqueous sediment density flows: depositional processes and deposit types[J]. *Sedimentology*, 2012, 59(7): 1937-2003.
- [26] 李杰, 陈超美. CiteSpace科技文本挖掘及可视化[M]. 北京: 首都经济贸易大学出版社, 2016.
- [27] 汪品先. 深海沉积与地球系统[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2009, 29(4): 1-11.
- [28] 王绍武, 闻新宇. 末次冰期冰盛期[J]. *气候变化研究进展*, 2011, 7(5): 381-382.
- [29] FALKOWSKI P, SCHOLERS R J, BOYLE E, et al. The global carbon cycle: a test of our knowledge of earth as a system[J]. *Science*, 2000, 290(5490): 291-296.
- [30] REGNIER P, FRIEDLINGSTEIN P, CIAIS P, et al. Anthropogenic perturbation of the carbon fluxes from land to ocean[J]. *Nature Geoscience*, 2013, 6(8): 597-607.
- [31] POSAMENTIER H W, JERVEY M T, VAIL P R. Eustatic controls on clastic depositional-conceptual framework[M]. 1988: 109-124.
- [32] 韩喜彬, 李家彪, 龙江平, 等. 我国海底峡谷研究进展[J]. *海洋地质动态*, 2010, 26(2): 41-48.

A PERSPECTIVE OF DEEP OCEAN GEOLOGICAL RESEARCH BASED ON BIBLIOMETRICS

LIU Yanan¹, LIU Sen^{1*}, JIA Chao¹, HU Bangqi², SONG Weiyu², YANG Fan¹

(1 Institute of Marine Science and Technology, Shandong University, Qingdao 266237, China;

2 Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266237, China)

Abstract: The study of deep ocean geology, as one of the major trends of world scientific research, is critical important in both the scientific research and social development. In order to explore the research status of deep ocean geology of the world, their research hotspots and frontiers, the software of CiteSpace was selected by the authors to analyze the papers in the Web of Science Databases. The results suggest that this approach is still in the stage of development and has broad research and application potentials. It entered a rapid development stage in the years around 1990s. Developed countries such as some European countries and the United States have made outstanding achievements in the field. Although China has made great progress in recent years, there is still a long way to go. Papers on deep ocean geology are still not closely linked and improvement is required. Tectonics and sedimentology remain the hot disciplines. Geochemistry and geophysics have become the popular research methods. Submarine canyons are the hot research areas and the Holocene is the main era for research.

Key words: CiteSpace; marine geology; deep ocean; bibliometrics