

国际洋中脊研究的发展态势及热点分析

王琳¹, 张灿影¹, 朱立禄², 彭海青¹, 罗璇¹, 冯志纲¹, 张国良¹

(1. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 对洋中脊研究的国际研究战略与计划进行分析, 具体包括综合大洋钻探计划(IODP)、国际洋中脊协会(InterRidge)和国际海洋研究委员会(SCOR)的相关研究规划和资助项目。此外, 结合洋中脊研究论文的文献计量学研究, 使用社会网络分析法、VOSviewer 和 Histcite 软件综合分析了洋中脊研究的国际发展趋势及研究热点。美国的洋中脊研究实力最强。中国近 3 年的发文比例非常高, 表明越来越关注该领域的研究。中国洋中脊研究的主要合作对象是美国。热液生态系统与洋中脊岩石地球化学研究目前是该领域的研究热点。本分析结果可以为我国的洋中脊研究和相关决策提供参考依据。

关键词: 洋中脊; 研究计划; 研究热点; 趋势

中图分类号: P67 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2017)03-0151-10

DOI: 10.11759/hyxx20160918002

洋中脊是盘踞世界各大洋中心、且相互连接的一个隆起带, 由一系列连续的海底火山山脉组成, 全球伸延总长度超过 6 万 km, 因此也是地球上最长的山脉^[1], 其中心地形在不同大洋表现有所不同。太平洋洋脊的中心表现为宽 500~1 000 m 的地堑, 两侧地形逐渐变浅; 而大西洋和印度洋洋中脊中心则表现为由一系列正断层组成的几十公里宽的凹陷带, 向两侧地形也逐渐变浅。除地形上表现为隆起带以外, 洋中脊还具有一系列独特的地形特征, 如洋中脊的分段性、各段洋中脊之间的转换断层以及两侧 5~15 km 内广泛发育的年轻海山等。

人类对洋中脊的最初认知, 开始于对海底地形的测量。19 世纪以来声呐技术的运用, 使得人类重新开始认识海底面貌。尽管最初的调查出于军事目的, 却使得人类发现了大西洋中部地形相对两侧较浅的特征, 并存在一条南北走向的海底巨形脊状山脉, 定名为“大西洋洋中脊”。第二次世界大战后, 科学家陆续对太平洋、印度洋、北冰洋的海底地形进行了调查, 在各个洋盆都发现了脊状山脉, 这些山脉相连且纵横世界大洋。洋中脊地形的持续调查, 使得全球洋中脊的全貌构成了人类对固体地球表面的基本认知之一^[2-3], 洋中脊的全球分布如图 1 所示。

随着对洋中脊形貌认识的逐渐完善, 人们不断思考和研究洋中脊独特的地质背景和环境在地球演化过程中的作用。洋中脊在地球科学研究中具有极为重要的地位, 是地球上的扩张性板块边缘(大洋扩

张中心), 也是新生洋壳形成的地方^[4]。火山作用形成的玄武岩层, 随着洋中脊向两侧扩张而构成了大洋洋壳层^[5]。世界大洋海盆的基岩都是由通过海底扩张引起的洋中脊火山作用形成^[6], 洋壳最终会在岛弧俯冲带进入地幔, 因此洋壳物质的生成和消亡是地球上最大规模的物质循环, 对地球内外物质交换起到至关重要的作用^[7], 逐渐吸引着更多科学家的关注和研究。从 20 世纪 70 年代中期红海区域发现热液金属软泥开始, 到近年来证明洋中脊存在着活跃的流体活动和成矿过程, 并且伴有独特的极端生态资源, 迅速开启了洋中脊的全球资源调查和研究。

洋中脊具有独特的环境和资源, 是认识固体地球内部圈层的窗口。洋中脊的火山物质是来自深部地幔的直接产物, 可以帮助了解深部固体地球。此外, 大洋地壳最薄, 是最接近地幔层的地方, 对探索地球深部信息尤为重要, 目前已经成为国际上一些重大地球探索计划的核心区域。总之, 洋中脊系统独特的地质结构以及特殊的物理、化学环境蕴藏了很多

收稿日期: 2016-09-18; 修回日期: 2017-02-24

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA11020306)

[Foundation: Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No.XDA11020306]

作者简介: 王琳(1982-), 女, 副研究馆员, 博士, 主要从事文献情报研究, 电话: 0532-82898758, E-mail: wanglin@qdio.ac.cn; 张国良(1981-), 通信作者, 男, 研究员, 博士, 主要从事海洋岩石学与地幔地球化学研究, 电话: 0532-82898987, E-mail: zhangguoliang@qdio.ac.cn

奥秘和潜在资源,解开这些奥秘对人类有着重要的意义^[8-9]。世界洋中脊主要位于国际海底区域,而揭秘洋中脊是分享和有效利用其资源的前提。近年来,世界各国对洋中脊研究越来越重视,制定了与洋中脊研究相关的战略方案并资助了很多洋中脊研究项

目,发表了大量与洋中脊研究相关的论文。本文通过分析洋中脊研究的国际战略部署情况,结合对科研论文产出的文献计量分析,探讨了洋中脊研究的发展趋势与研究热点,目的是为我国的洋中脊相关研究与战略制定提供参考。

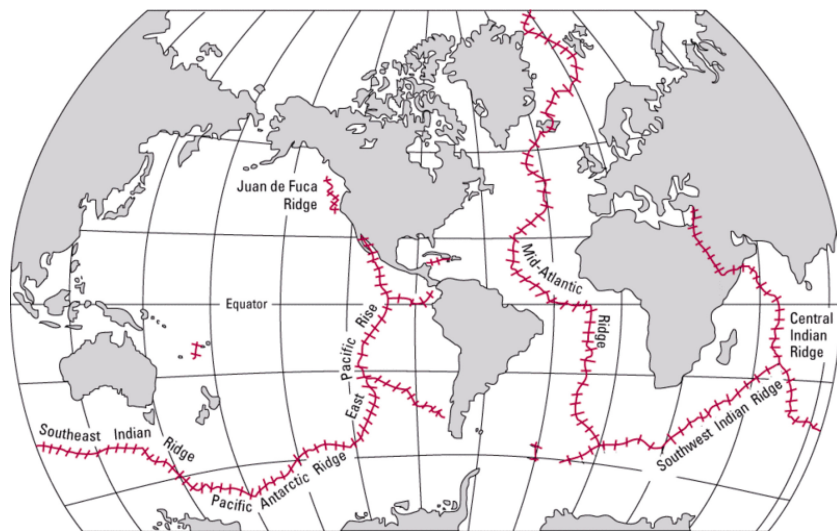


图1 全球主要洋中脊分布

Fig. 1 Global distribution of main mid-ocean ridges

图片来自 USGS; Juan de fuca Ridge 为胡安·德富卡洋脊; Southeast Indian Ridge 为东南印度洋中脊; Pacific Antarctic Ridge 为太平洋南极洋中脊; East Pacific Rise 为东太平洋海隆; Mid-Atlantic Ridge 为大西洋中脊; Southwest Indian Ridge 为西南印度洋中脊; Central Indian Ridge 为中印度洋中脊

1 研究方法与数据来源

本文对洋中脊研究的战略和研究计划情况进行了深入解读,并使用文献计量学方法对洋中脊研究论文进行综合分析,探讨国际洋中脊研究的研究热点,帮助理解洋中脊研究的国际发展趋势。数据收集自科学引文索引(Science Citation Index Expanded, SCIE)数据库,检索策略是 ts=((“oceanic ridge”) or (“mid-ocean ridge”) or (“Atlantic Ridge”) or (“East Pacific Rise”) or (“Gakkel Ridge”) or (“Indian Ridge”) or (“Gorda Ridge”) or (“American-Antarctic Ridge”) or (“Pacific-Antarctic Ridge”) or (“Juan de Fuca Ridge”) or (“Explorer Ridge”) or (“Chile Rise” or “Chile Ridge”))). 重点对洋中脊研究在 2000~2014 年近 15 年发表的 article、proceedings paper 和 review 进行分析,共检索到 6 984 条数据。通过使用社会网络分析法^[10]对洋中脊研究的国家和地区间合作情况进行了分析。采用 Nees Jan van Eck 和 Ludo Waltman 开发的 VOSviewer 软件^[11]对洋中脊研究论文进行关键词分析,论文的关键词可以提供学科发展趋势等很多有用的信息,VOSviewer 主要根据关键词的共现

及相互联系的紧密性对关键词进行聚类分析,将联系紧密的关键词以相同颜色划分为同一区块。此外,还使用 Eugene Garfield 开发的 Histcite 软件^[12]进行引文分析, Histcite 可以以图谱方式展示某一领域不同文献之间的关系,帮助分析领域的发展趋势并定位出该领域的重要文献和热点。

2 洋中脊研究的战略部署及计划分析

2.1 综合大洋发现计划

综合大洋发现计划(IODP)是深海大洋钻探计划(DSDP)—大洋钻探计划(ODP)—综合大洋钻探计划(IODP)的延续,也是地球科学研究时间最长、最成功的大型国际合作研究计划。IODP 以美国、日本和欧洲为主,由 26 个国家以会费形式共同资助,钻井平台包括美国的“决心号”和日本的“地球号”科学钻探船,以及欧洲主导的钻井平台,在大洋探索中发挥过、并正在持续发挥巨大作用。

目前,IODP 在洋中脊研究方面已经取得了很多技术性进步和新发现。例如, CORK(circulation observation retrofit kit)仪器的广泛应用使其在洋壳水文

地质学和深海生物圈研究(如, IODP329 航次)中发挥了重要作用, 并通过海底岩芯的污染检测技术探索海底极低生物量环境下的生物圈极限深度; 钻孔取芯技术的改进, 使得大洋沉积物的取芯率逐渐达到或接近 100%, 尤其是日本“地球号”钻探船采用立管钻探技术(Riser)可以克服井壁滑塌对钻井深度的影响, 有望在未来 10 年内钻透地球的壳-幔边界层(莫霍面)。此外, 在洋中脊热液系统中的海底海水-岩石相互作用以及海底块状硫化物矿床形成方面的研究也取得了新进展^[13]; 进一步发展了岩石圈冷却驱动的离轴对流系统上的转换反应概念模型; 验证了由磁异常推断的海底年龄与大洋钻探取样得到的上覆沉积物年龄的密切对应; 探索了大火成岩省的固体地球过程及其形成对地球环境的作用等。

2011 年 6 月 IODP 公布的《2013~2023 年国际大洋发现计划》中, 与洋中脊研究相关的部署主要包括: (1)了解地幔变化, 采用多种深海钻探方法研究地幔, 对深海地质进行分析并研究地球深海碳循环; (2)利用海洋科学钻探与海底测绘、地球物理实验和模型模拟, 解释洋中脊和大洋地壳的形成; (3)通过钻探数据定量、持续地计算流体的变化程度, 分析大洋地壳在地球重要化学元素循环中所起到的作用; (4)俯冲带如何产生周期性的不稳定状态及如何生成大陆地壳^[14]。

2.2 国际洋中脊协会

国际洋中脊协会(InterRidge)是洋中脊研究领域唯一的国际科学组织, 该组织有包括中国、法国、德国、日本、英国、美国等国的 30 个成员国家和超过 2 500 名研究学者成员^[15]。全球大洋中脊研究十年科学规划(2004~2013)中总结了 InterRidge 过去 10 年里在洋中脊方面的研究进展, 主要包括西南印度洋中脊(SWIR)的考察研究、北极加克(Gakkel)海岭的第一次海底地形测量和取样、以及洋中脊全球取样^[16]等。

2012 年, 国际洋中脊协会(InterRidge)公布了《国际洋中脊第三个十年科学规划(2014~2023)》(A plan for the third decade of InterRidge science), 该计划对未来十年研究的重点方向进行了阐述, 其主要科学研究方向包括洋中脊构造与岩浆作用过程、海床与海底资源、地幔的控制作用、洋脊-大洋相互作用及通量、洋中脊的轴外过程研究, 以及海底热液生态系统研究等^[17]。

2.3 国际海洋研究委员会

国际海洋研究委员会(Scientific Committee on Oceanic Research, SCOR)于 1957 年成立于美国的伍

兹霍尔海洋研究所, 旨在促进海洋学领域的多学科合作。国际海洋研究委员会是当今国际海洋界中历史最长、规模最大、影响也最大的非政府学术组织, 多年来, SCOR 在发起和组织大型海洋研究计划、推动海洋前沿领域研究等方面起到了重要作用^[18]。

SCOR 正在筹划的第二次国际印度洋探索计划(2015~2020) (IIOE2)中, 已经开始和计划开展的与洋中脊研究相关的各国研究计划和课题包括: (1)荷兰的深海热液口生态学研究计划; (2)法国 MAD ridge 研究计划, 主要针对漩涡-地形交互作用、海山生态系统和生物生产力、马达加斯加岭等研究; (3)法国 FFEM-SWIO 研究计划, 主要针对漩涡-地形交互作用和海山生态系统等研究; (4)德国 RHUM-RUM 项目和 SPACES 项目; (5)南非 ACEP III 项目; (6)英国 SEASEARCH 项目, 主要针对海山和生物多样性研究; (7)美国 Lighthouse 计划/ LORI 1 & 2 Cabled Observatory; (8)美国伍兹霍尔研究所对西南印度洋脊马里安隆起的相关研究项目^[19]。

3 洋中脊研究的发展趋势与研究热点

3.1 洋中脊研究论文发文量年度变化

根据对洋中脊研究论文每年的变化情况进行分析, 可以明显看出, 洋中脊研究论文整体呈现递增趋势, 有些年份论文量会有小的波动, 2008 年以后每年发文量基本超过 500 篇, 2013 年达到顶峰, 有 553 篇洋中脊研究论文被 SCIE 数据库收录, 见图 2。

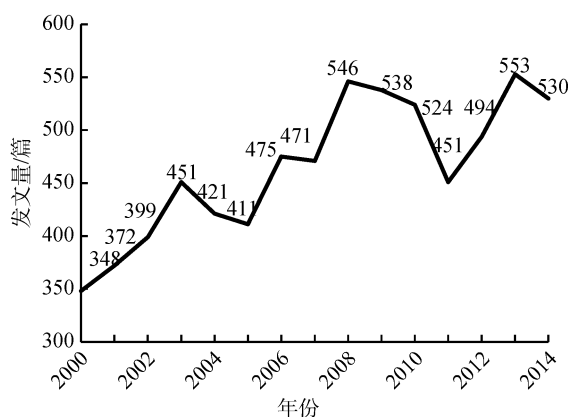


图 2 2000~2014 年国际洋中脊研究论文发文量变化
Fig. 2 Annual publication output of mid-ocean ridge research from 2000~2014

3.2 世界各国洋中脊研究的发文量分析

洋中脊研究论文发文量最多的前 20 个国家具体见图 3, 可以看出, 美国发表的研究论文最多, 数量

远远超过其他国家,在其他国家中,法国、英国、德国、日本和俄罗斯的发文量较多,均超过 500 篇。中国发文量为 471 篇,排在第 7 位。

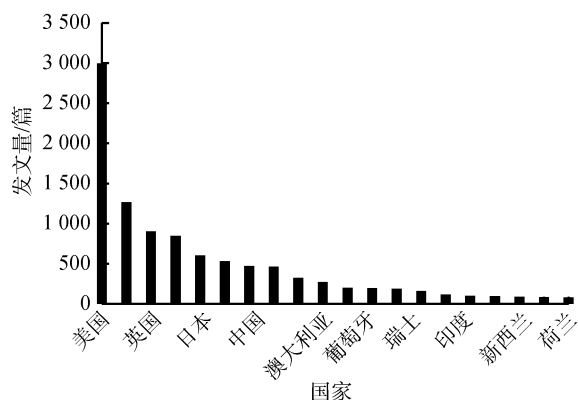


图 3 洋中脊研究发文量最多的前 20 个国家

Fig. 3 Top 20 countries involved in publication output of mid-ocean ridge research

详细数据参见表 1,经分析发现,总被引频次基本与发文量成正比,美国、法国、英国和德国的总被引频次最高,均超过 20 000 次,美国总被引频次 89 364 次,显示了其在洋中脊研究方面的绝对优势。此外,法国、英国、德国和日本等国的总被引频次均超过 10 000 次,篇均被引频次最高的国家是瑞士和冰岛、澳大利亚,篇均被引频次均超过 30 次/篇。通过对近 3 年的发文情况进行分析,可以发现,中国、意大利和西班牙近 3 年的发文量所占比例最高,中国近 3 年发文量占近 15 年的约 40%,说明中国近几年来越来越重视洋中脊方面的研究。在高被引论文方面,被引频次 ≥ 50 次的论文数占比最高的国家是瑞士和澳大利亚,这两个国家均有超过 20% 的论文被引次数达到或超过 50 次,而被引频次 ≥ 100 次的论文占比较高的国家是美国、澳大利亚和英国,比例接近 5%。

表 1 洋中脊研究发文量最多的前 20 个国家的影响力分析

Tab.1 Analysis of the influence of the top 20 countries on the publication output of mid-ocean ridge research

排序	国家	发文量 (篇)	论文总被引 频次(次)	论文篇均被引 频次(次/篇)	近 3 年发文占总 发文量比例(%)	被引论文占总 发文量比例(%)	被引频次 ≥ 50 的论文比例(%)	被引频次 ≥ 100 的论文比例(%)
1	美国	2994	89364	29.85	20.81	95.49	16.53	4.91
2	法国	1269	31474	24.80	20.88	94.80	12.69	3.39
3	英国	905	25158	27.80	25.64	96.24	15.03	4.86
4	德国	848	21464	25.31	23.35	94.58	13.21	4.01
5	日本	605	13668	22.59	22.64	95.87	10.41	3.47
6	俄罗斯	532	5761	10.83	18.80	83.27	4.70	0.56
7	中国	471	7284	15.46	40.34	87.26	7.01	2.34
8	加拿大	464	10732	23.13	22.20	98.06	11.21	2.59
9	澳大利亚	327	10216	31.24	26.61	98.17	20.80	4.89
10	意大利	274	5370	19.60	32.48	95.26	9.12	1.82
11	葡萄牙	201	3792	18.87	22.89	97.01	7.96	2.99
12	挪威	194	3936	20.29	28.87	95.88	6.70	2.58
13	瑞士	189	6596	34.90	25.93	95.77	21.16	4.76
14	西班牙	158	3309	20.94	30.38	94.30	12.03	1.90
15	印度	120	1050	8.75	27.50	90.00	3.33	0.00
16	丹麦	101	2425	24.01	18.81	91.09	16.83	3.96
17	新西兰	97	2209	22.77	28.87	96.91	12.37	1.03
18	瑞典	90	2165	24.06	24.44	95.56	11.11	4.44
19	荷兰	84	2359	28.08	29.76	96.43	17.86	3.57
20	冰岛	80	2526	31.58	18.75	96.25	18.75	1.25
	平均值	500.15	12542.9	25.08	24.00	94.52	13.31	3.72

综合各项指标来看,美国洋中脊研究实力最强,这也与其强大的科研资金支持和先进的技术设备相匹配;英国在研究论文数量和高被引论文比例上具

有优势;澳大利亚、瑞士和冰岛虽然发表的研究论文数量不算很多,冰岛仅发表了 80 篇洋中脊研究方面的文章,但文章影响力很高。中国近 3 年发文占比很

高,显示出中国对该研究方向的人力和资金投入在不断增加。

中国论文数量排第7位,总被引频次处于第7位,篇均被引排名第15位,近3年论文占比排在第1位,被引论文比例排在第19位,被引频次 ≥ 50 的论文占比排17位,被引频次 ≥ 100 的论文占比排14位。综合看来,我国洋中脊研究相关研究论文数量近些年来增量明显,近3年的发文比例非常高,体现了该研究领域的关注度在不断增加。

我国一直非常重视发展海洋科技,并将海洋科技创新作为基本战略,2012年也提出了打造海洋强国的国家战略,近些年来,我国设立了多个与洋中脊研究相关的国内研究组织和国际组织分部并资助了不同层面的多种研究计划与项目。国际大洋中脊协会中国分会(InterRidge China)组织国内的洋中脊研究机构和专家积极参与了国际大洋中脊协会的各种科考和洋中脊研究活动,为中国洋中脊研究的发展和国际交流合作作出了重要努力。中国大洋矿产资源研究开发协会(简称“中国大洋协会”)于2001年正式成为国际海底资源勘探的承包者,拥有以“蛟龙”号、“海龙”号和“潜龙一号”为代表的高水平深海设备,已完成并筹备开展多项与洋中脊相关的研究计划^[20]。此外,中国也是IODP的成员国,设有办公室并积极参与相关的国际计划。中国自1984年开始赴南极进行考察,中国南极南大洋研究计划已成功

完成了31次南极考察任务并取得了丰硕成果,对深海及洋中脊研究意义重大。而自1999年中国首次组织开展北极考察以来,中国科学家考察研究了包括加拿大海盆、阿蒙森海盆、马克洛夫海盆、罗姆诺索夫海岭、门捷列夫海岭、阿尔法海脊和弗莱彻深海平原海域等区域,对国际洋中脊研究也有重要意义^[21]。2015年,筹建15年之久的海洋国家实验室正式启动,深远海和极地极端环境与战略资源、海底过程与油气资源是实验室的两大重点研究方向,而西太平洋洋陆过渡带深部过程与资源环境效应则是实验室未来3~5a的重大科研任务之一^[22]。这些都是我国对深海的重点研究部署,与洋中脊研究也密切相关,我国洋中脊论文数量近几年的显著增加也归因于这些研究计划与项目的支持。目前这些论文的整体影响力较低,高被引论文数量较少,有部分原因也是因为大部分论文发表时间不长,从而影响了引用率。

图4是对世界各国在洋中脊研究的论文合作方面进行的分析,可以看出,美国处于合作的中心位置,是其他国家的主要合作伙伴,美国强大的科研设备能力与坚实的研究基础是其成为全球合作中心的主要因素。此外,法国在国际合作中也很活跃,与美国、俄罗斯、西班牙等有广泛的合作。英国、日本、中国和意大利等国家在洋中脊研究方面也具有重要的地位。中国在洋中脊研究方面的主要合作对象是美国。

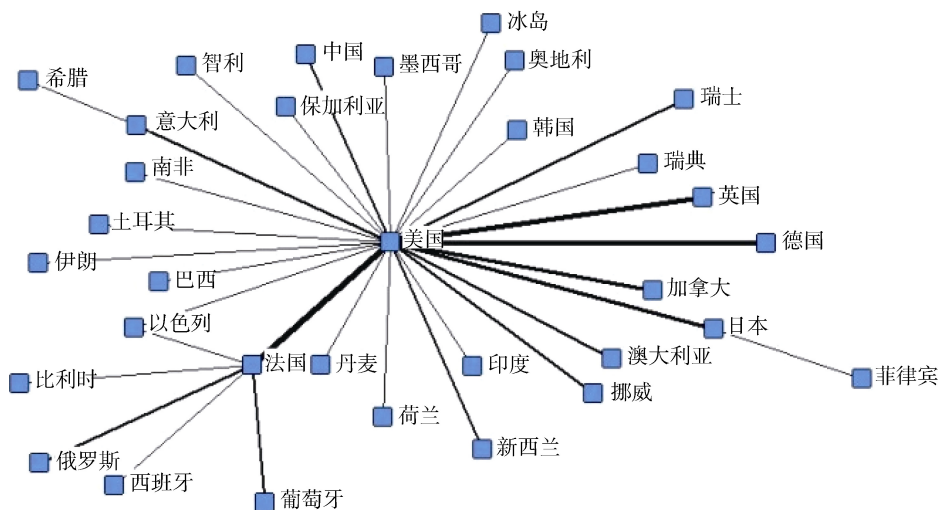


图4 洋中脊研究的国际合作情况

Fig. 4 International collaboration in mid-ocean ridge research

连线表示合作关系,线条越粗合作越紧密

lines represent cooperation relationships: thicker lines show closer cooperation

3.3 洋中脊研究机构分析

在机构发文量方面, 发文量最多的前三个机构分别是俄罗斯科学院、美国伍兹霍尔海洋研究所和中国科学院, 美国的研究机构在洋中脊研究发面发表论文较多, 除了伍兹霍尔海洋研究所, 加州大学、哥伦比亚大学、夏威夷大学和华盛顿大学都在洋中脊研究发文量前 15 个的机构中(详见图 5)。

3.4 洋中脊研究学科分布

按 web of science 学科分类看, 洋中脊研究所涉及的相关研究学科有: 地球化学与地球物理学、综合地球科学、地质学、海洋学、矿物学、海洋与淡水生物学和微生物学等, 见表 2。其中地球化学与地球物理学所占比重最大, 有 3 355 篇相关论文, 其次是综合地球科学, 有 1 267 篇论文, 海洋学论文有 686 篇。

表 2 国际洋中脊研究主要涉及的 web of science 学科领域
Tab.2 Distribution of subject categories in web of science

序号	学科领域	发文量(篇)	序号	学科领域	发文量(篇)
1	地球化学与地球物理学	3 355	11	生物学	104
2	综合地球科学	1 267	12	动物学	100
3	海洋学	686	13	生物化学与分子生物学	78
4	地质学	507	14	生物技术与应用微生物学	66
5	矿物学	484	15	古生物学	48
6	海洋与淡水生物学	411	16	进化生物学	47
7	微生物学	302	17	地理与物理学	44
8	多学科交叉科学	289	18	气象学与大气科学	42
9	生态学	193	19	天文学与天体物理学	41
10	环境科学	126	20	渔业	41

3.5 洋中脊研究关键词分析

从图 6 中可以明显看出, 洋中脊研究主要分为 3 个研究版块, 分别是: (1)大西洋洋中脊和东太平洋洋隆的生态与生物学研究, 关键词包括多样性、环境、种群、细菌、碳和有机体等; (2)地幔研究, 关键词包括俯冲、上地幔、边缘、岩浆作用和同位素组成等; (3)地质结构研究, 关键词包括断层、板块、轴和裂缝等等。

图 7 显示了洋中脊研究领域发表论文的前 30 个关键词近 15 年来的变化趋势。其中, 在研究区域方面, 东太平洋海隆、胡安·德富卡洋脊和大西洋中脊一直都是研究的重点; 近些年来对大西洋中脊的研究越来越多, 关于大西洋中脊的研究论文数量明显高于对其他洋脊的研究论文。此外, 热液系统研究近

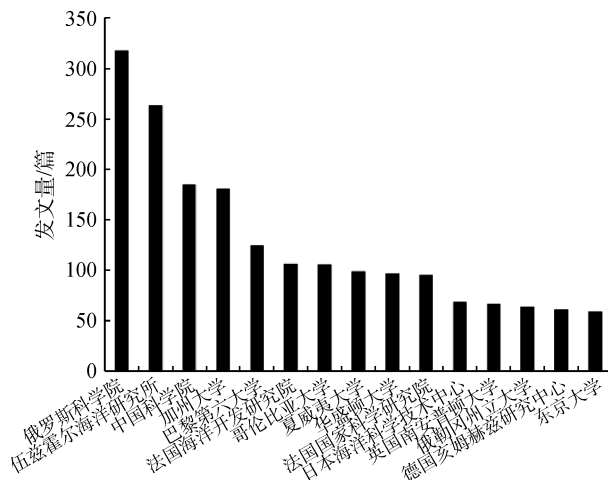


图 5 洋中脊研究论文发文量最多的 15 个研究机构
Fig. 5 Top 15 institutes involved in mid-ocean ridge research

几十年来一直得到较多关注, 是洋中脊研究的热点之一。洋中脊岩石学也是该领域的研究重点, 玄武岩、辉长岩、蛇纹岩、蛇纹石化都是相关的重点关键词, 洋中脊玄武岩(MORB)近些年来出现频次越来越高。洋中脊岩石地球化学研究近些年来越来越热, 同位素、追踪同位素在关键词中的出现频率也越来越高。

3.6 洋中脊研究的研究热点与热点文献

根据图 8, 可以将洋中脊研究的研究热点分为 5 个方面: I. 洋中脊热液喷口研究, 包括热液喷口的形成与结构、热液喷口流体的物理化学性质研究等。II. 洋中脊岩石学研究, 包括洋中脊岩石组成、岩石成因、地幔熔融和洋脊下的熔体提取过程以及元素地球化学研究等。III. 洋中脊的慢速、超慢速扩张, 例

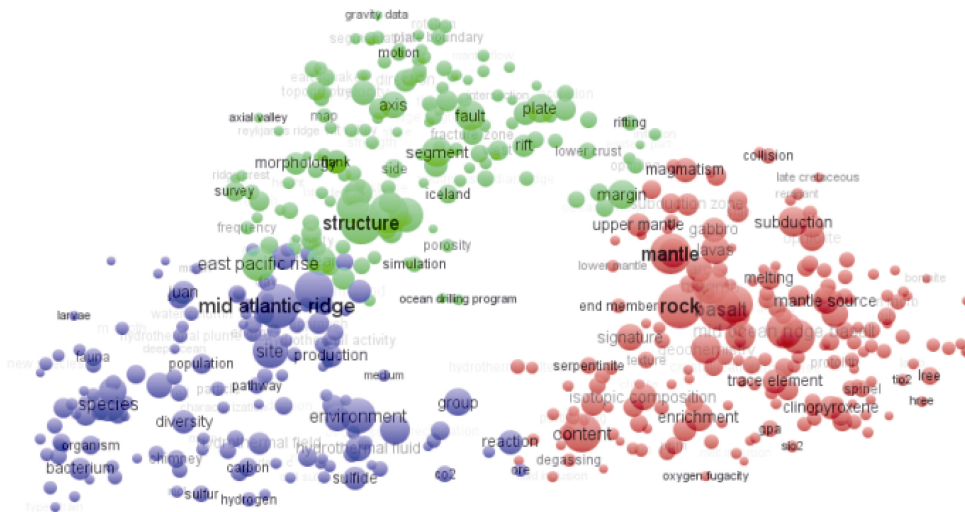


图 6 洋中脊研究关键词热点分析

Fig. 6 Keyword analysis of mid-ocean ridge research

联系紧密的关键词划分为同一区块;字体越大表示该关键词出现频次越高

keywords are divided into the same block: a larger font indicates a higher frequency of keyword use

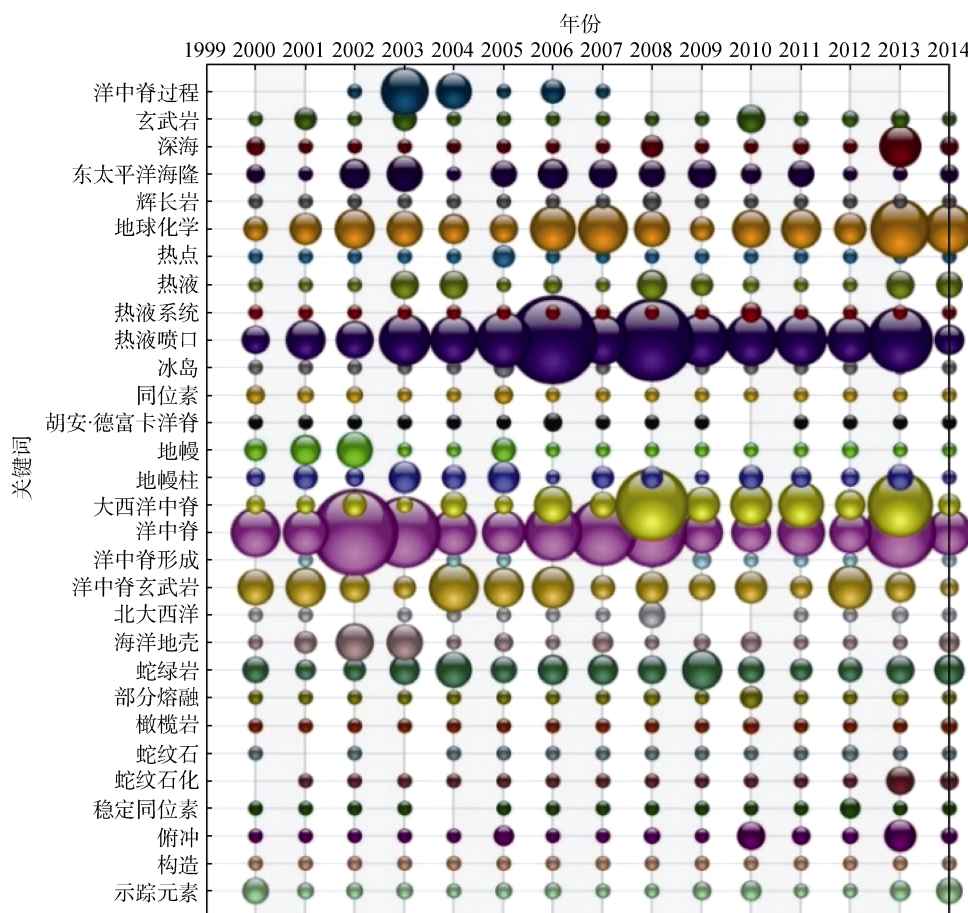


图 7 洋中脊研究关键词变化趋势

Fig.7 Change of keywords of mid-ocean ridge research

圆圈越大关键词出现频次越高

Larger circles indicate higher frequency

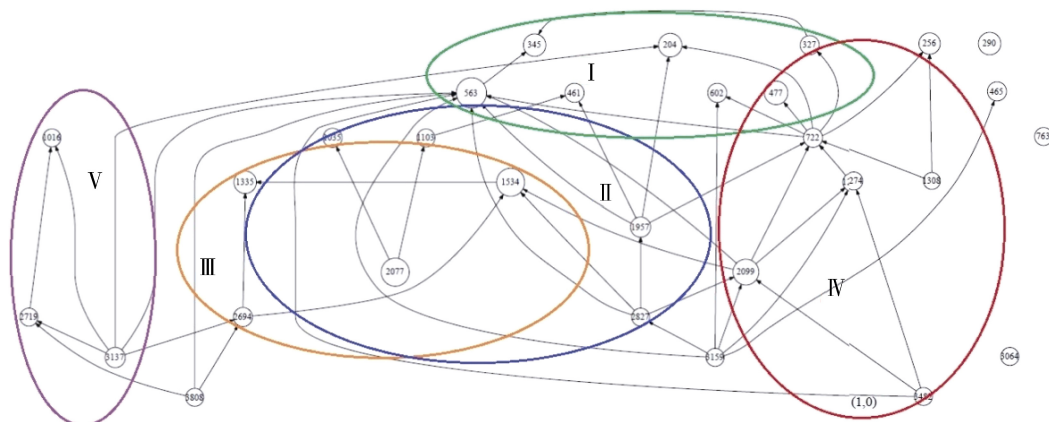


图8 洋中脊研究 Histcite 分析图谱

Fig. 8 Histcite map of mid-ocean ridge research

圆圈中的数字编号是文献在 Histcite 程序中的编号; 箭头指向的是被引文献

Number in the circle represents that of the research paper in the Histcite program: arrow points to cited literature

如西南印度洋和北极加克洋脊的超慢速扩张与影响等。IV. 热液区域生态系统研究, 包括热液系统地质、化学和生物过程之间的相互联系与相互作用、火山活动对热液系统的影响以及热液系统的能量来源研究等。V. 大洋核杂岩与拆离断层研究等。

这些洋中脊研究的热点文献反映了洋中脊研究 2000~2014 年的发展趋势。第 I 部分的文献主要与大西洋洋中脊的热液系统研究有关, 其中 Kelley 等^[23]在大西洋洋中脊和亚特兰蒂斯断裂带的东部交汇点发现了一个广泛的热液区域, 并探讨了其形成原因与物理、化学和生物特性。Charlou 等^[24]和 Schmidt 等^[25]分别对大西洋中脊亚速尔群岛南部的热液区域热液流体等物理化学性质进行分析并探讨流体与玄武岩的关系。第 II 部分的文献主要针对洋中脊岩石学研究, 包括关于橄榄岩的地球化学研究及其对洋中脊系统的作用, 还有关于洋中脊玄武岩的化学性质研究与地幔地球化学研究。第 III 部分里, Michael 等^[26]研究了北极加克洋脊的超慢速扩张与其岩浆及海底形成的原因, 还有对西南印度洋脊的超慢速扩张及影响等研究。第 IV 部分中, 热点文献主要研究了热液区的生态系统, 探讨了热液系统物理化学性质对其生态系统的作用与影响。第 V 部分的两篇文献主要是对大洋核杂岩与拆离断层构造以及洋脊变化过程等方面的研究。

4 结论

通过对洋中脊研究的国际战略部署与论文产出情况进行分析, 可以看出洋中脊地质过程和海底热液系统研究是近年来研究的重点。国际上对大西洋

中脊的研究越来越多, 热液生态系统与洋中脊岩石地球化学研究也是该领域的研究热点。从论文发表情况来看, 美国的洋中脊研究实力最强, 中国洋中脊研究论文数量近些年来明显增加, 近 3 年的发文比例非常高, 显示出中国越来越关注该领域的研究。希望本文对洋中脊研究国际发展趋势和热点的分析可以为我国将来的研究和决策提供参考。

参考文献:

- [1] WHOI. Mid-ocean Ridges[EB/OL]. [2016-01-22]. <http://www.whoi.edu/main/topic/mid-ocean-ridges>.
- [2] 中华人民共和国科技部. 发现洋中脊[EB/OL]. [2000-12-26]. http://www.most.gov.cn/kxjspj/gzgp/200702/t20070201_40656.htm.
Ministry of Science and Technology of People's Republic of China[EB/OL]. Exploring of the Mid-ocean Ridge [2000-12-26]. http://www.most.gov.cn/kxjspj/gzgp/200702/t20070201_40656.htm.
- [3] Chen Yongshun, Morgan W J. A nonlinear-rheology model for mid-ocean ridge axis topography [J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 1990, 951(B11): 17571-17581.
- [4] 鄢全树, 石学法. 洋中脊与地幔柱热点相互作用研究进展[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(5): 131-138.
Yan Quanshu, Shi Xuefa. Mantle plume (hotspot)-ridge interaction[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2006, 26(5): 131-138.
- [5] Wilkinson J F G, 王奎仁. 洋中脊玄武岩的成因(上)[J]. 地球与环境, 1983, 6: 15-22.
Wilkinson J F G, Wang kuiren. Origin of mid ocean ridge basalts[J]. Geology-Geochemistry, 1983, 6: 15-22.

- [6] 刘仲衡, 吴锦秀. 关于海底火山作用的初步探讨[J]. 海洋湖沼通报, 1982, 2: 63-68.
Liu Zhongheng, Wu Jinxiu. Preliminary discussion on the volcanism of sea-floor[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 1982, 2: 63-68.
- [7] 牛耀龄. 板内洋岛玄武岩(OIB)成因的一些基本概念和存在的问题[J]. 科学通报, 2010, 2: 103-114.
Niu Yaoling. Some basic concepts and problems of Inouchi Hiroshimaxuantakeiwa (OIB)[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 2: 103-114.
- [8] UCGS. Ocean floor mapping [EB/OL]. [1999-05-05]. <https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/developing.html#anchor10564457>.
- [9] NOAA. What is the mid-ocean ridge? [EB/OL]. [2016-01-27]. http://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/05galapagos/background/mid_ocean_ridge/mid_ocean_ridge.html.
- [10] Scott J, Tallia A, Crosson J C, et al. Social network analysis as an analytic tool for interaction patterns in primary care practices[J]. Annals of Family Medicine, 2005, 3(5): 443-448.
- [11] van Eck N J, Waltman L, Dekker R, et al. A comparison of two techniques for bibliometric mapping: Multidimensional scaling and VOS[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2010, 61(12): 2405-2416.
- [12] Garfield E. Historiographic mapping of knowledge domains literature[J]. Journal of Information Science, 2004, 30(2): 119-145.
- [13] National Academy of Sciences. Scientific Ocean Drilling: Accomplishments and Challenges [M]. USA: National research council, 2011: 41-42.
- [14] IODP. The Science plan for the international ocean discovery program 2013—2023[EB/OL]. [2016-01-22]. <http://www.iodp.org/about-iodp/iodp-science-plan-2013-2023>.
- [15] InterRidge. A plan for the third decade of InterRidge science [EB/OL]. [2016-01-29]. http://interridge.org/files/interridge/Third_Decadal_Plan_website_0.pdf.
- [16] 田丽艳, 林间. 全球大洋中脊研究十年科学规划(2004~2013)[J]. 海洋地质动态, 2004, 20(3): 10-15.
Tian Liyan, Lin Jian. Next decade plan of InterRidge (2004—2013)[J]. Marine Geology Letters, 2004, 20(3): 10-15.
- [17] 马乐天, 李家彪, 陈永顺, 等. 国际大洋中脊第三个十年科学计划介绍(2014~2023)[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2015, 5: 1-10.
Ma Letian, Li Jiabiao, Chen Yongshun, et al. The third decade plan of InterRidge (2014—2023)[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2015, 5: 1-10.
- [18] SCOR. About SCOR [EB/OL]. [2016-03-31]. http://www.scor-int.org/SCOR_History.htm.
- [19] SCOR. Second International Indian Ocean Expedition (2015—2020) [EB/OL]. [2016-01-29]. <http://www.iioe-2.incois.gov.in/IIOE-2/index.jsp>.
- [20] 中国大洋协会. 协会简介[EB/OL]. [2013-09-23]. http://www.comra.org/2013-09/23/content_6322477.htm.
China Ocean Mineral Resources R&D Association. Introduction[EB/OL]. [2013-09-23]. http://www.comra.org/2013-09/23/content_6322477.htm.
- [21] 王立明, 胡毅, 张涛, 等. 北大西洋 Mohs 洋中脊扩张地壳构造特征的研究[J]. 海洋学报, 2014, 36 (10): 56-60.
Wang Liming, Hu Yi, Zhang Tao, et al. Study of the structural characteristics of the Mid -ocean Ridge expansion of the North Atlantic Mohs [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2014, 36(10): 56-60.
- [22] 新华网. 海洋国家实验室正式启动[EB/OL]. [2015-08-19]. http://news.xinhuanet.com/2015-08/19/c_128146034.htm.
XinhuaNet. Qingdao national laboratory of marine science of technonogy officially launched. [EB/OL]. [2015-08-19]. http://news.xinhuanet.com/2015-08/19/c_128146034.htm.
- [23] Kelley D S, Karson J A, Blackman D K, et al. An off-axis hydrothermal vent field near the Mid-Atlantic Ridge at 30°N [J]. Nature, 2001, 412(6843): 145-149.
- [24] Charlou J L, Donval J P, Douville E, et al. Compared geochemical signatures and the evolution of Menez Gwen (37 degrees 50'N) and Lucky Strike (37 degrees 17'N) hydrothermal fluids, south of the Azores Triple Junction on the Mid-Atlantic Ridge[J]. Chemical Geology, 2000, 171(1): 49-75.
- [25] Schmidt K, Koschinsky A, Garbe-Schönberg D, et al. Geochemistry of hydrothermal fluids from the ultramafic-hosted Logatchev hydrothermal field, 15 degrees N on the Mid-Atlantic Ridge: Temporal and spatial investigation [J]. Chemical Geology, 2007, 242(s 1-2): 1-21.
- [26] Michael P J, Langmuir C H, Dick H J B, et al. Magmatic and amagmatic seafloor generation at the ultra-slow-spreading Gakkel ridge, Arctic Ocean [J]. Nature, 2003, 423(6943): 956-961.

Trends and hotspots in international Mid-ocean Ridge research

WANG Lin¹, ZHANG Can-ying¹, ZHU Li-lu², PENG Hai-qing¹, LUO Xuan¹,
FENG Zhi-gang¹, ZHANG Guo-liang¹

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Received: Sep. 18, 2016

Key words: mid-ocean ridge; strategy; hotspots; trend

Abstract: This paper analyzes international strategies and projects about mid-ocean ridge research, including the research plans and funded projects of the Integrated Ocean Drilling Program and InterRidge and Scientific Committee on Oceanic Research. In addition, the publication output of mid-ocean ridge research is studied using bibliometric methods. The research trend and hotspots are comprehensively analyzed by social network method, VOS-viewer and Histcite softwares. The United States has the strongest research competitiveness. The proportion of papers issued in China is very high in the past 3 years, which indicates that more and more attention has been paid to the research in this field. The main cooperative partner of China in mid-ocean ridge research is the United States. The study of hydrothermal ecosystem and lithogeochemistry of mid-ocean ridge are hotspots. It is considered that the results reported in this paper may be of use for further research and for the formation of policies within China.

(本文编辑: 刘珊珊)