

# 冷泉系统研究国际发展态势分析

张灿影<sup>1</sup>, 王琳<sup>1</sup>, 於维樱<sup>1</sup>, 冯志纲<sup>1</sup>, 孔秀<sup>2</sup>, 张晓琨<sup>3</sup>

(1. 中国科学院海洋研究所 文献信息中心, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院深海科学与工程研究所, 海南 三亚 572000; 3. 自然资源部第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

**摘要:** 以 Web of Science 信息平台的 SCIE 数据库为数据源, 利用文献计量方法, 分析国际冷泉系统研究的年度变化、期刊分布、主要研究国家、机构的影响力及合作情况以及国际研究热点领域。研究发现: 国际冷泉系统研究论文产量一直呈增长趋势; 美国论文产出数量最多、合作中心性最强。德国亥姆霍兹国家研究中心联合会发文最多。中国近三年发文比例和第一国家发文比例均排名第一, 其中发文最多的机构为中国科学院。微生物甲烷厌氧氧化、冷泉区生物多样性以及冷泉碳酸盐岩的矿物学和地球化学是研究热点。

**关键词:** 冷泉; 深海; 文献计量; 研究热点

**中图分类号:** P67 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2018)10-0082-12

**DOI:** 10.11759/hyxx20180827002

1983 年美国阿尔文号第一次在墨西哥湾佛罗里达陡崖 3 200 m 深发现海底冷泉<sup>[1]</sup>, 这是继海底热液之后又一项重要深海发现。冷泉通常是指以硫化氢、甲烷或其他碳氢化合物的气体在重力或压力的作用下发生泄漏或涌出海底沉积界面的流体渗漏活动, 并与周围海水的温度相近<sup>[2]</sup>, 呈线性群产出, 普遍发育于主动大陆边缘和被动大陆边缘<sup>[3]</sup>, 并伴随大量自生碳酸盐岩、泥火山和麻坑等较为宏观的地质现象<sup>[4]</sup>。与海底热液喷口类似, 冷泉处的群落也是生物量异常丰富, 且通常存在着独特的物种和特有种<sup>[5]</sup>, 对研究地球及地球外生命起源与演化具有重要意义, 也是宝贵的生命基因和医药资源<sup>[6]</sup>, 这些都使得冷泉活动迅速成为研究热点。

科学文献反应了其所在学科的科学活动, 学科的计量研究是科学学重要研究方向之一, 具有很强的方法论意义和政策价值<sup>[7]</sup>。文献计量分析的结果可以为科技发展态势的预测、科技发展的宏观决策提供有价值的定量参考依据<sup>[8]</sup>。国内外许多学者将文献计量方法用于评价期刊、国家和机构竞争力和领域研究态势等方面。比如, Bornmann 等<sup>[9]</sup>利用一个多层次模型对高被引论文高产大学进行排名和可视化分析。Laengle 等<sup>[10]</sup>从期刊发表论文数量、被引频次、发文作者和机构及其合作情况等文献计量指标对期刊《European Journal of Operational Research》进行了综述与评价。王琳等<sup>[11]</sup>利用计量工具将洋中脊研究文献的关键词进行聚类, 对洋中脊的研究内容和

研究现状进行总结与分析。白思均和李晓军<sup>[12]</sup>使用文献计量学对于我国 2009 年国家自然科学基金管理类项目进行了分析, 探究了国内管理学的热点问题。本文拟通过文献计量方法对全球冷泉系统研究的年度变化、主要力量布局、主要研究机构及其合作关系、研究的热点方向等做简要分析, 以期能为我国冷泉系统研究和规划方面提供有益借鉴和参考。

## 1 数据来源与分析工具

本文以科学引文索引 (Science Citation Index Expanded, SCIE) 数据库为基础, 以 ["cold-seep\*" or "cold seep\*" or "cold vent\*" or "cold-vent\*" or "hydrocarbonseep\*" or "gas vent\*" or "gasseep\*" or "methaneseep\*" or "methane-seep\*") and ("deep-sea" or "deepsea" or "deep sea" or Submarine or seafloor or "sea floor" or "sea-floor" or seabed or "sea bed" or "sea-bed" or undersea or benthal or benthic or Abyssal or trench\* or seamount\* or "subduction zone\*" or "passive margin" or "passive plate boundary" or pacific

收稿日期: 2018-08-27; 修回日期: 2018-09-14

基金项目: 青岛海洋科学与技术国家实验室鳌山科技创新计划子项目 (2016ASKJ11-ZRW03); 海南省重点研发计划 (ZDYF2018189)

[Foundation: Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao) Aoshan Technology innovation programme, No. 2016ASKJ11-ZRW03; Key Research and Development Plan of Hainan Province, No. ZDYF2018189]

作者简介: 张灿影 (1989-), 女, 安徽人, 汉族, 研究馆员, 硕士, 从事海洋战略情报研究, 电话: 82898758, E-mail: zhangcanying@qdio.ac.cn; 冯志纲, 通信作者, 研究馆员, 从事图书馆管理与情报研究, 电话: 82898763, E-mail: zhi@qdio.ac.cn

or Atlantic or "Indian Ocean" or "Arctic Ocean" or Nankai or "South China Sea" or "South Sea" or "East China Sea" or "Donghai Sea" or "Gulf of Mexico")]为主题进行检索,选取的文献类型为 Article、Proceeding paper 和 Review,检索日期截止至 2017 年 12 月 31 日。在得到初步检索结果后,将数据进行合并、去重和清洗处理,最终得到 2 259 条数据,从文献计量角度分析全球冷泉系统研究的发展态势。

数据分析主要采用汤森路透集团开发的专利信息分析工具 Thomson Data Analyzer(TDA) 软件、网络关系分析工具 Ucinet 和 NetDraw、Nees Jan van Eck 和 LudoWaltman 开发的 VOSviewer 软件和办公软件 Excel。利用 TDA 软件对文献数据进行基本的处理和清理。利用 Ucinet 和 NetDraw 工具绘制国家合作网络,利用 VOSviewer 软件对文章题名、摘要和关键词进行聚类分析。利用 Excel 软件对该领域文献进行统计分析以及图表绘制的可视化分析。利用 Garfield<sup>[13]</sup>开发的引文图谱分析软件 Histcite,定位出冷泉系统研究的重要文献[11],并选取被检索数据集中文献

引用次数最多的 30 篇文献,以图谱方式展示国际冷泉系统研究重要文献之间的引用关系,从高影响力论文方面分析冷泉系统领域的研究热点。

## 2 国际冷泉研究主要概况

### 2.1 研究论文变化情况

从世界各国或地区在冷泉系统研究方面发表的 SCIE 论文的年际变化来看,2000 年以前处于发展缓慢状态,从 21 世纪初开始,世界上许多国家和地区纷纷加强了对科考船、深海潜器和采样设备等海洋基础设施建设的投入,使得近距离研究深海成为可能,对深海特殊生境有了更深入的了解,对于整个国际冷泉系统研究起到了至关重要的作用,刺激了研究论文的增长。由图 1 可以明显看出,冷泉系统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,2007 年以后每年发文量基本超过 100 篇,2010 年达到最高值,有 178 篇冷泉系统研究论文被 SCIE 数据库收录(图 1)。

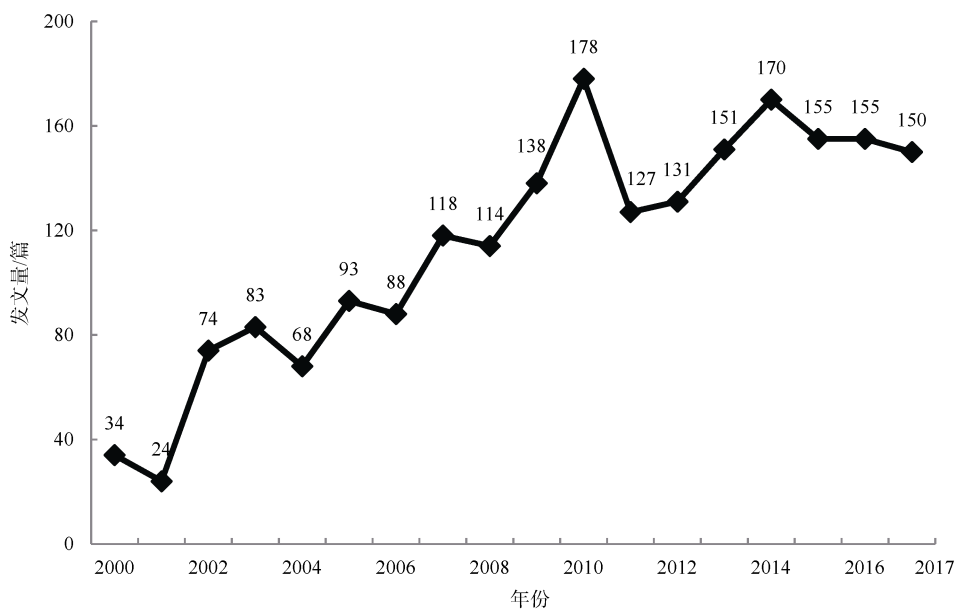


图 1 2000~2017 年国际冷泉系统研究论文发文量变化

Fig. 1 Annual publication output of cold seep research from 2000~2017

### 2.2 研究论文期刊分布

自 20 世纪 70 年代以来,国际冷泉相关研究论文分布于 369 种海洋学、地质学和地球物理方面的期刊和论文集,收录数量排名前 10 的期刊情况如表 1 所列。期刊的出版国家主要集中在荷兰和英国(表 1)。

### 2.3 冷泉系统国际研究力量分析

#### 2.3.1 主要国家或地区发文及其影响力

为了更深入了解各国在冷泉系统研究方面的影响力,我们从主要国家所发表的研究论文的篇均被引频次和高被引论文比例等方面进行了分析(表 2)。结果发现,荷兰、德国和美国的篇均被引频次较高,

均超过 36 次/篇; 中国篇均被引频次最低, 为 13.70 次/篇, 但中国第一作者发文数量占全部发文总量比例最高, 达 84.98%(图 2)。通过对近三年的发文情况进行分析, 发现中国和挪威近三年的发文量所占比例最高, 遥遥领先于其他国家, 正处于快速上升期。在所有发表论文中被引用的论文所占比例最高的是挪威, 为 99.08%, 被引频次  $\geq 50$  以及被引频次  $\geq 100$

的论文所占比例最高的分别是荷兰和西班牙。从图 3 可以看出, 美国论文在数量和篇均被引频次均处于领先地位, 德国因为论文数量增长有限, 但篇均被引频次较高, 法国和英国论文数量和篇均被引频次都略高于前 15 位国家平均值, 处于第一象限; 中国发文量齐于平均水平, 但论文篇均被引频次远远低于发达国家。

表 1 国际冷泉系统研究发文主要期刊  
Tab. 1 International journal of cold seep research

排名	期刊名称	出版国家或地区	发文量/篇	影响因子
1	《海洋地质》(Marine Geology)	荷兰	124	2.364
2	《海洋和石油地质学》(Marine and Petroleum Geology)	英国	121	3.281
3	《深海研究, 第二辑: 海洋学专题研究》(Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography)	英国	77	2.451
4	《深海研究, 第一辑: 海洋学研究论文》(Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers)	英国	75	2.384
5	《地质海洋快报》(Geo-Marine Letters)	美国	72	1.733
6	《化学地质学》(Chemical Geology)	荷兰	56	3.570
7	《海洋生态学进展》(Marine Ecology Progress Series)	德国	55	2.276
8	《地球与行星科学通讯》(Earth and Planetary Science Letters)	荷兰	54	4.581
9	《古地理学、古气候学、古生态学》(Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology)	荷兰	48	2.375
10	《地球化学、地球物理学、地球系统学》(Geochemistry Geophysics Geosystems)	美国	47	2.981

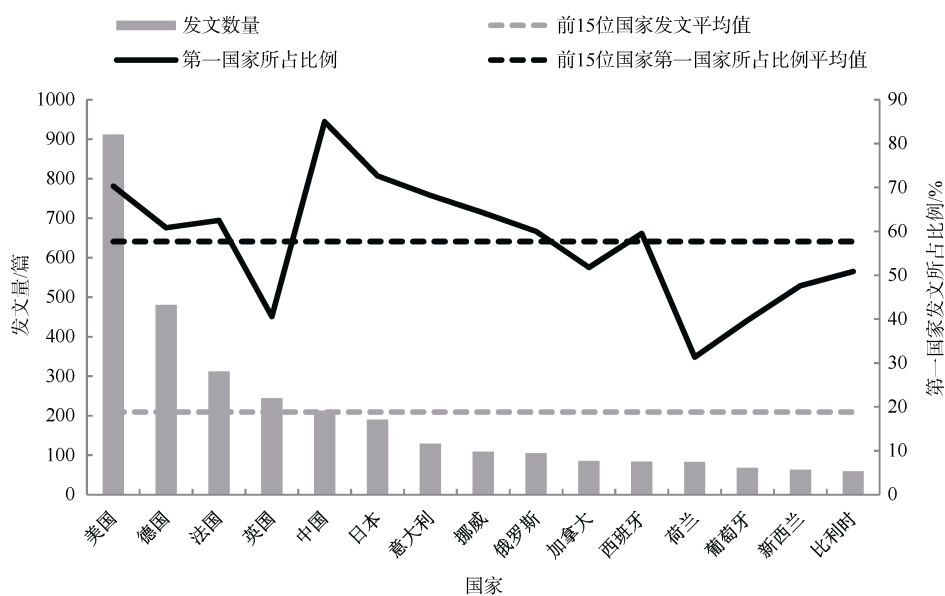


图 2 冷泉系统研究论文发文量前 15 国家及其第一国家所占比例  
Fig. 2 Top 15 countries and first author country percentage of cold seep research

表 2 冷泉系统研究发文量前 15 位的国家影响力分析

Tab. 2 Analysis of the influence of the top 15 countries on the publication output of cold seep research

排序	国家	发文量 /篇	篇均被引频 次/(次/篇)	第一国家所 占比例/%	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	912	36.01	70.29	17.87	97.37	22.48	7.79
2	德国	480	36.53	60.83	20.21	98.33	21.25	7.71
3	法国	312	31.50	62.50	16.35	98.08	18.59	6.09
4	英国	244	30.32	40.57	22.95	97.13	17.62	5.74
5	中国	213	13.70	<u>84.98</u>	<u>44.13</u>	89.67	6.10	1.41
6	日本	190	22.26	72.63	19.47	92.63	12.11	2.11
7	意大利	129	25.26	68.22	20.93	96.90	10.08	3.88
8	挪威	109	22.21	64.22	44.04	<u>99.08</u>	12.84	2.75
9	俄罗斯	105	28.21	60.00	18.10	89.52	21.90	6.67
10	加拿大	85	26.25	51.76	23.53	95.29	10.59	7.06
11	西班牙	84	31.32	59.52	11.90	98.81	15.48	<u>10.71</u>
12	荷兰	83	<u>38.61</u>	31.33	14.46	97.59	<u>25.30</u>	6.02
13	葡萄牙	68	27.25	39.71	20.59	98.53	17.65	5.88
14	新西兰	63	33.41	47.62	23.81	98.41	12.70	7.94
15	比利时	59	35.76	50.85	11.86	94.92	22.03	5.08

注：表中下划线数据为该列所统计指标中排名首位的国家分布情况

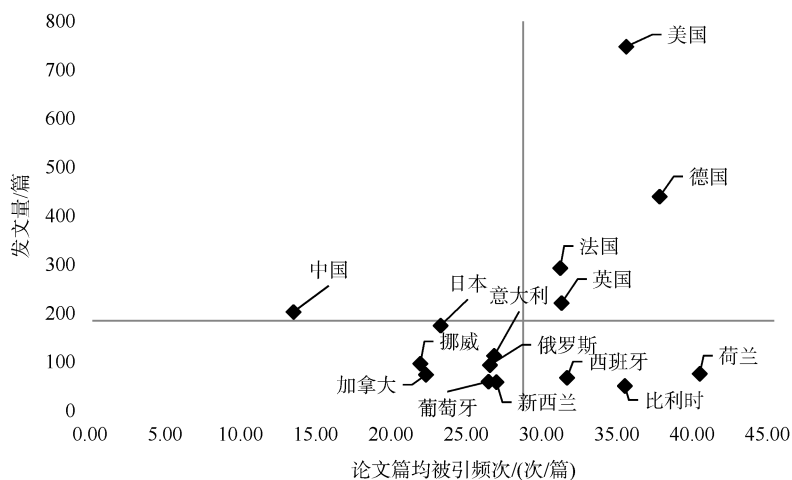


图 3 冷泉系统研究论文数量和篇均被引分布图

Fig. 3 Distribution of research papers number and average quoting rate

以发表冷泉系统论文数量的前 50 个国家和地区为主，得到各个国家和地区相互合作关系网络(图 4)。从图中可以看出，美国和德国是冷泉系统研究的中心国家，法国、意大利和英国形成第二中心。中国有 115 篇合作论文，最主要的合作国家是美国，合作论文为 70 篇，其次是与德国合作 28 篇，其中与中国台湾和沙特阿拉伯分别合作 6 篇和 7 篇。

全部论文中，以国家数量计为 3 683 篇，实际论文为 2 259 篇，论文篇均合作国家为 1.63 个。从表 3 可以看出，国家独立完成的论文有 1 273 篇，占全部

论文的 56.35%，其中前 5 位国家是美国(447 篇)、德国(142 篇)、法国(104 篇)、中国(98 篇)和日本(92 篇)，超过 3 国合作的论文数量为 108 篇，占全部论文的 4.78%，说明冷泉系统研究多国合作较少。

### 2.3.2 主要研究机构

在机构发文量方面，发文量最多的前 5 个机构分别是德国亥姆霍兹国家研究中心联合会、加州大学系统、法国海洋开发研究院、中国科学院和德国不来梅大学，美国和德国的研究机构在冷泉系统研究方面发表论文较多(图 5)。其中德国亥姆霍兹国家

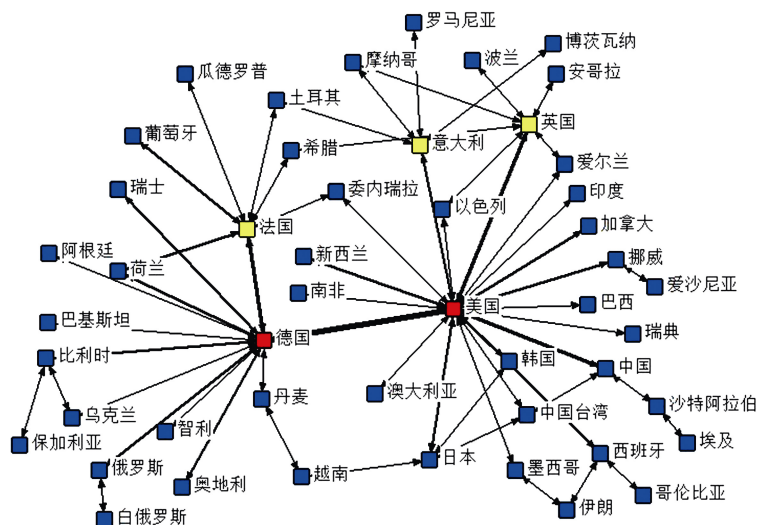


图 4 冷泉系统研究的国际合作情况

Fig. 4 International collaboration in cold seep research

注：连线表示合作关系，线条越粗合作越紧密

表 3 冷泉系统研究论文合作国家和地区数量  
Tab. 3 Number of cooperating countries and regions about cold seep research

序号	记录数量/篇	发文国家数量/篇
1	1 273	1
2	676	2
3	202	3
4	76	4
5	19	5
6	3	6
7	4	7
8	3	8
9	2	9
10	1	10

研究中心联合会、加州大学系统和中国科学院由众多分中心、分校和研究所组成，因此发文量会占一定优势。德国亥姆霍兹国家研究中心联合会关于冷泉系统研究的论文主要是由旗下阿尔弗里德·瓦格纳极地海洋研究所(The Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, AWI)、亥姆霍兹基尔海洋研究中心(GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel, GEOMAR)和亥姆霍兹波茨坦研究中心-德国地学研究中心(The Helmholtz Centre Potsdam - GFZ German Research Centre for Geosciences, GFZ)完成。加州大学系统冷泉系统研究发文较多的分支机构包括加州大学圣迭戈分校斯克瑞普斯海洋研究所和加州大学圣克鲁斯分校，中国科

学院下属研究所中冷泉系统研究发文较多机构的包括中国科学院海洋研究所、南海海洋研究所、广州地球化学研究所和广州能源研究所。

### 3 国际冷泉系统研究热点领域及方向

#### 3.1 主要研究学科领域

按 Web of Science(WOS)学科分类看，冷泉系统研究所涉及的相关研究学科有：地质学、海洋学、海洋与淡水生物学、地球化学和地球物理学、环境科学和生态学、微生物学、动物学和古生物学等(表 4)。其中地质学所占比重最大，有 729 篇相关论文，其次是海洋学，有 578 篇论文，海洋与淡水生物学有 371 篇。

#### 3.2 主要研究关键词分析

文中的数据集中只有 66%的论文数据拥有作者关键词字段，数据虽然不全但也可以作为主要内容分析的参考依据之一。通过对作者有效关键词的统计，可以发现除冷泉(cold seeps)、甲烷渗漏(methane seep)、天然气渗漏(hydrocarbon seeps)、渗漏(seeps)和甲烷渗漏(methane seepage)外，墨西哥湾(Gulf of Mexico)、自生碳酸盐岩(authigenic carbonate)、稳定同位素(stable isotopes)、泥火山(mud volcano)、甲烷厌氧氧化过程(anaerobic oxidation of methane)、南海(South China Sea)、共生(symbiosis)、碳酸盐岩(carbonates)、化能合成作用(chemosynthesis)和新物种(new species)是出现次数最多的前 10 关键词(表 5)。

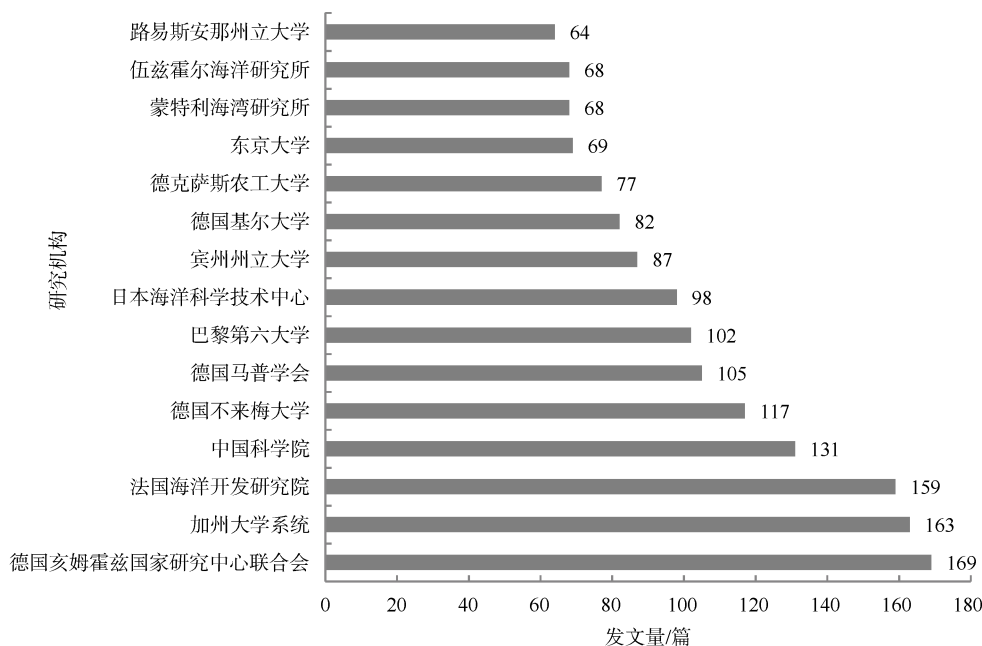


图 5 冷泉系统研究论文发文章量最多的 15 个研究机构  
Fig. 5 Top 15 institutes involved in cold seep research

表 4 国际冷泉系统研究主要涉及的 Web of Science 学科领域

Tab. 4 Distribution of subject categories in the Web of Science

序号	学科领域	文章篇数/篇	序号	学科领域	文章篇数/篇
1	地质学	729	6	微生物学	218
2	海洋学	578	7	动物学	138
3	海洋与淡水生物学	371	8	古生物学	132
4	地球化学和地球物理	299	9	科学与技术-其他主题	111
5	环境科学与生态学	268	10	生命科学和生物医学	77

表 5 冷泉系统研究高频关键词一览表(前 20)

Tab. 5 Top 20 key-words involved in cold seep research

序号	关键词	词频/次	序号	关键词	词频/次
1	Gulf of Mexico	104	11	archaea	30
2	authigenic carbonate	82	12	sediment	28
3	stable isotopes	77	13	Gulf of Cadiz	27
4	mud volcano	63	14	benthic foraminifera	26
5	anaerobic oxidation of methane	59	15	Black Sea	26
6	South China Sea	47	16	chemosynthetic communities	26
7	symbiosis	46	17	sulfate reduction	25
8	carbonates	42	18	taxonomy	25
9	chemosynthesis	38	19	bacteria	23
10	new species	36	20	biomarkers	23

除了作者关键词外, WOS 数据库根据论文研究内容拟定了附加关键词, 为了更全面地展示国际冷泉系统研究关键词的年代变化, 采用 TDA 对排名前 30 的附加关键词进行可视化分析(图 6)。分析结果显

示: 国际冷泉系统研究主要集中在墨西哥湾、黑海、东地中海、东太平洋、大西洋和南海, 而墨西哥湾区域的冷泉研究明显高于其他区域。冷泉生物群落、流体活动和沉积物一直是该领域研究重点, 甲烷缺

氧氧化、微生物群落、生物多样性和碳酸盐岩等关键词出现频次越来越高。

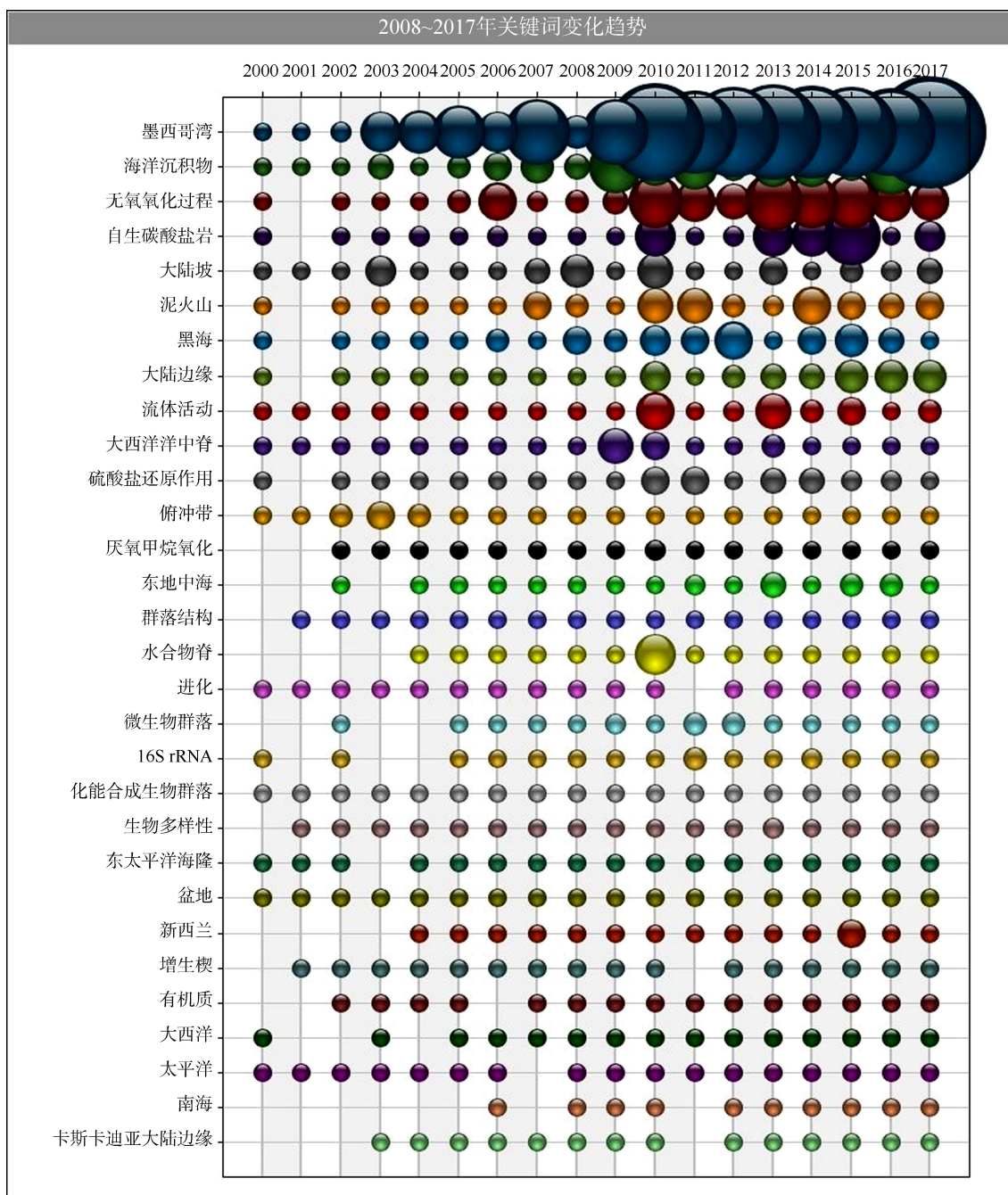


图 6 冷泉系统研究关键词变化趋势

Fig. 6 Change of keywords of mid-ocean ridge research

注：圆圈越大表示关键词出现频次越高

利用 VOSviewer 软件将数据集中的论文题目和摘要关键词进行领域聚类(图 7), 可以明显看出, 冷泉系统研究主要分为 3 个研究版块, 分别是: ①冷泉微生物研究(蓝色聚类), 关键词包括细菌、序列、古细菌、沉积物、厌氧氧化过程、群落和生物标记等;

②冷泉生命和生物多样性研究(绿色聚类), 关键词包括新物种、栖息地、分类、种群、动物群、基因、多样性、共生关系和系统发育分析等; ③冷泉流体活动和碳酸盐岩沉积研究(红色聚类), 关键词包括流体、碳酸盐岩、凹坑、同位素组成、碳源、断层、

岩石和生物地球化学过程等等。

### 3.3 冷泉系统研究热点和热点文献

选取被冷泉系统检索数据集中文献引用次数最多的 30 篇文献(表 6), 利用 Histcite 软件制作高被引论文之间的相互引用关系图, 见图 8, 据此可以将国际冷泉系统的研究热点分为 3 个方面。第 I 部分的文献主要与冷泉沉积物甲烷厌氧氧化和硫酸盐还原研究有关, 包括冷泉区甲烷厌氧氧化的影响因素、甲烷厌氧氧化和硫酸盐还原速率以及冷泉区甲烷通量等。其中 Joye 等<sup>[14]</sup>利用放射性同位素示踪技术(碳-14 和硫-35)对墨西哥湾冷泉区开展了系统研究, 研究了冷泉区沉积物的地球化学特征以及冷泉区与非渗漏区甲烷厌氧氧化速率。Aharon 和 Fu<sup>[15]</sup>分析了墨西

哥湾冷泉区硫酸盐还原速率及其与氧同位素含量的关系。第 II 部分的文献主要针对冷泉区生物多样性研究, 包括冷泉区生物群落组成、分布、生物能量来源和影响因素等。其中 Sibuet 和 Olu<sup>[5]</sup>基于全球 24 个冷泉区, 探讨了冷泉区生物群落分布和生物量的影响因素、生物多样性的地理分布并对比分析了冷泉区与热液喷口生物种类。Barry 等<sup>[16]</sup>研究了蒙特利湾冷泉区流体化学特性对蛤蚌的分布的影响。第 III 部分的几篇文献主要是对冷泉碳酸盐岩的矿物学和地球化学方面的研究, 包括冷泉碳酸盐岩的组成成分、形成过程及其控制因素等。其中 Peckmann 等<sup>[17]</sup>和 Stakes 等<sup>[18]</sup>分别研究了黑海西北部和蒙特利湾冷泉区碳酸盐岩的形成机理、形态特征并探讨了碳、氧、硫同位素组成等地球化学特征。

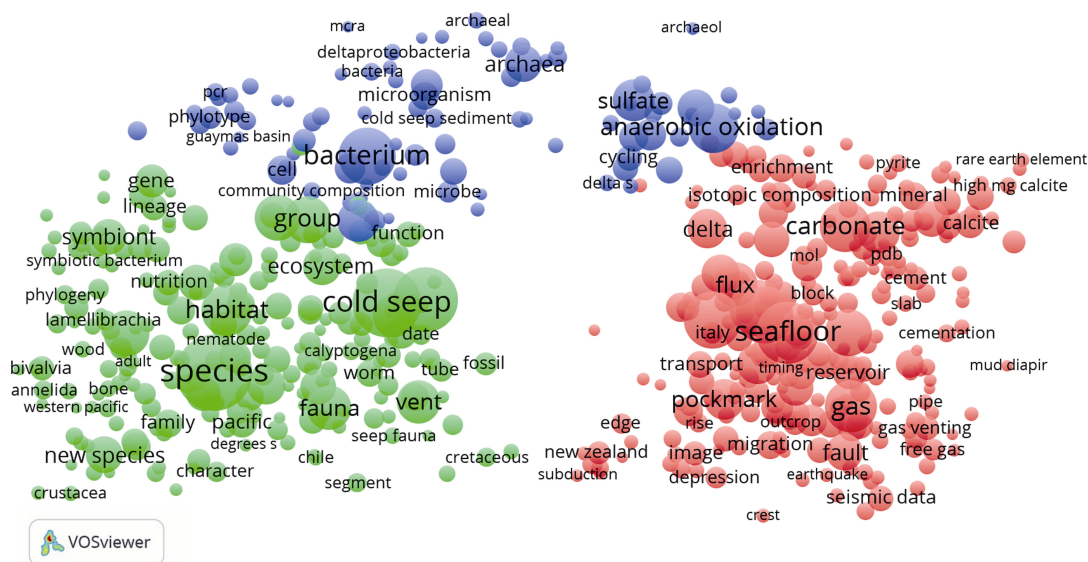


图 7 冷泉系统研究关键词聚类分析

Fig. 7 Keyword analysis of cold seep research

注: 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

表 6 冷泉系统研究的热点文献

Tab. 6 Hot literature of cold seep research

HistCite 序号	论文情况(作者、论文题目发表期刊、年和卷期页)	本地引 用次数
112	Sibuet M, Olu K. Biogeography, biodiversity and fluid dependence of deep-sea cold-seep communities at active and passive margins. Deep-Sea Research Part II -Topical Studies in Oceanography, 1998, 45 (1-3): 517-567.	311
408	Levin LA. Ecology of cold seep sediments: Interactions of fauna with flow, chemistry and microbes. Oceanography and Marine Biology, 2005, 43: 1-46.	212
357	Joye S B, Boetius A, Orcutt B N, et al. The anaerobic oxidation of methane and sulfate reduction in sediments from Gulf of Mexico cold seeps. Chemical Geology, 2004, 205 (3-4): 219-238.	174
214	Sahling H, Rickert D, Lee R W, et al. Macrofaunal community structure and sulfide flux at gas hydrate deposits from the Cascadia convergent margin, NE Pacific. Marine Ecology Progress Series, 2002, 231: 121-138.	149



续表

HistCite 序号	论文情况(作者、论文题目发表期刊、年和卷期页)	本地引 用次数
364	Peckmann J, Thiel V. Carbon cycling at ancient methane-seeps. <i>Chemical Geology</i> , 2004, 205 (3-4): 443-467.	148
197	Peckmann J, Reimer A, Luth U, et al. Methane-derived carbonates and authigenic pyrite from the northwestern Black Sea. <i>Marine Geology</i> , 2001, 177 (1-2): 129-150.	136
411	Knittel K, Losekann T, Boetius A, et al. Diversity and distribution of methanotrophic archaea at cold seeps. <i>Applied and Environmental Microbiology</i> , 2005, 71 (1): 467-479.	130
765	Knittel K, Boetius A. Anaerobic Oxidation of Methane: Progress with an Unknown Process. <i>Annual Review of Microbiology</i> , 2009, 63: 311-334.	116
275	Treude T, Boetius A, Knittel K, et al. Anaerobic oxidation of methane above gas hydrates at Hydrate Ridge, NE Pacific Ocean. <i>Marine Ecology Progress Series</i> , 2003, 264: 1-14.	115
313	Luff R, Wallmann K. Fluid flow, methane fluxes, carbonate precipitation and biogeochemical turnover in gas hydrate-bearing sediments at Hydrate Ridge, Cascadia Margin: Numerical modeling and mass balances. <i>Geochimica et Cosmochimica Acta</i> , 2003, 67 (18): 3403-3421.	114
611	Losekann T, Knittel K, Nadalig T, et al. Diversity and abundance of aerobic and anaerobic methane oxidizers at the Haakon Mosby mud volcano, Barents Sea. <i>Applied and Environmental Microbiology</i> , 2007, 73 (10): 3348-3362.	89
98	Olu K, Lance S, Sibuet M, et al. Cold seep communities as indicators of fluid expulsion patterns through mud volcanoes seaward of the Barbados accretionary prism. <i>Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers</i> , 1997, 44 (5): 811-841.	88
146	Stakes D S, Orange D, Paduan J B, et al. Cold-seeps and authigenic carbonate formation in Monterey Bay, California. <i>Marine Geology</i> , 1999, 159 (1-4): 93-109.	86
223	Teske A, Hinrichs K U, Edgcomb V, et al. Microbial diversity of hydrothermal sediments in the Guaymas Basin: Evidence for anaerobic methanotrophic communities. <i>Applied and Environmental Microbiology</i> , 2002, 68 (4): 1994-2007.	86
302	Knittel K, Boetius A, Lemke A, et al. Activity, distribution, and diversity of sulfate reducers and other bacteria in sediments above gas hydrate (Cascadia margin, Oregon) <i>Geomicrobiology Journal</i> , 2003, 20 (4): 269-294.	84
56	Carney R S. Consideration of the oasis analogy for chemosynthetic communities at gulf-of-mexico hydrocarbon vents. <i>Geo-Marine Letters</i> , 1994, 14 (2-3): 149-159.	83
276	Levin L A, Ziebis W, Mendoza G F, et al. Spatial heterogeneity of macrofauna at northern California methane seeps: influence of sulfide concentration and fluid flow. <i>Marine Ecology Progress Series</i> , 2003, 265: 123-139.	81
360	Boetius A, Suess E. Hydrate Ridge: a natural laboratory for the study of microbial life fueled by methane from near-surface gas hydrates. <i>Chemical Geology</i> , 2004, 205 (3-4): 291-310.	79
452	Orcutt B, Boetius A, Elvert M, et al. Molecular biogeochemistry of sulfate reduction, methanogenesis and the anaerobic oxidation of methane at Gulf of Mexico cold seeps. <i>Geochimica et Cosmochimica Acta</i> , 2005, 69 (17): 4267-4281.	79
107	Wallmann K, Linke P, Suess E, et al. Quantifying fluid flow, solute mixing, and biogeochemical turnover at cold vents of the eastern Aleutian subduction zone. <i>Geochimica et Cosmochimica Acta</i> , 1997, 61 (24): 5209-5219	78
167	Aharon P, Fu B S. Microbial sulfate reduction rates and sulfur and oxygen isotope fractionations at oil and gas seeps in deepwater Gulf of Mexico. <i>Geochimica et Cosmochimica Acta</i> , 2000, 64 (2): 233-246.	78
744	Dubilier N, Bergin C, Lott C. Symbiotic diversity in marine animals: the art of harnessing chemosynthesis. <i>Nature Reviews Microbiology</i> , 2008, 6 (10): 725-740.	78
245	Levin L A, Michener R H. Isotopic evidence for chemosynthesis-based nutrition of macrobenthos: The lightness of being at Pacific methane seeps. <i>Limnology and Oceanography</i> , 2002, 47 (5): 1336-1345.	76
277	Smith C R, Baco A R. Ecology of whale falls at the deep-sea floor. <i>Oceanography and Marine Biology</i> , 2003, 41: 311-354.	76
142	Peckmann J, Thiel V, Michaelis W, et al. Cold seep deposits of Beauvoisin (Oxfordian; southeastern France) and Marmorito (Miocene; northern Italy): microbially induced authigenic carbonates. <i>International Journal of Earth Sciences</i> , 1999, 88 (1): 60-75.	74

续表

HistCite 序号	论文情况(作者、论文题目发表期刊、年和卷期页)	本地引用次数
84	Barry J P, Greene H G, Orange D L, et al. Biologic and geologic characteristics of cold seeps in Monterey bay, California. Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers, 1996, 43 (11-12): 1739-1755.	73
239	Peckmann J, Goedert J L, Thiel V, et al. A comprehensive approach to the study of methane-seep deposits from the Lincoln Creek Formation, western Washington State, USA. Sedimentology, 2002, 49 (4): 855-873.	73
13	Dando P R, Austen M C, Burke R A, et al. Ecology of a north-sea pockmark with an active methane seep. Marine Ecology Progress Series, 1991, 70 (1): 49-63.	71
558	Naehr T H, Eichhubl P, Orphan V J, et al. Authigenic carbonate formation at hydrocarbon seeps in continental margin sediments: A comparative study. Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography, 2007, 54 (11-13): 1268-1291.	71
97	Barry J P, Kochevar R E, Baxter C H. The influence of pore-water chemistry and physiology on the distribution of vesicomyid clams at cold seeps in Monterey Bay: Implications for patterns of chemosynthetic community organization. Limnology and Oceanography, 1997, 42 (2): 318-328.	70

注: HistCite 序号是指论文在 HistCite 程序中的编号; 本地引用次数是指在当前检索数据集中被引用的次数

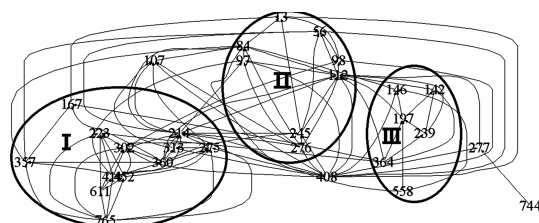


图 8 冷泉系统研究 Histcite 分析图谱

Fig. 8 Histcite map of cold seep research

注: 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

## 4 结论

利用文献计量方法对 SCIE 数据库中冷泉系统研究论文进行分析, 研究结果表明美国和德国研究实力较强, 中国研究论文数量近些年来明显增加, 且自主创新成果较多, 但影响力有限, 主要合作国家是美国。冷泉区微生物甲烷厌氧氧化、生物多样性和冷泉碳酸盐岩的矿物学和地球化学研究是研究热点。

海底冷泉是当今科学界研究的前沿和热点之一, 目前研究主要由美国、欧洲主导, 我国在此领域起步较晚, 研究基础较为薄弱, 直到 2002 年, 广州地球化学研究所陈多福研究员才首次将冷泉的概念引进中国, 并将“cold seep”翻译成“冷泉”<sup>[19]</sup>。冷泉系统作为深海研究的重要组成部分, 未来主要海洋国家将进一步加大对其考察研究力度, 成为各国进行科学考察的主要内容之一。但深海环境条件复杂, 取样非常困难, 需要借助特殊的仪器设备, 而我国近

年来一系列新型科学考察船和深潜器等基础设施不断问世, 深海探测考察能力的提升和研究力度的不断加大使得深海研究能力日益增强, 未来我国冷泉系统研究将会取得更大的突破。

### 参考文献:

- [1] Paull C K, Hecker B, Commeau R, et al. Biological communities at the Florida escarpment resemble hydrothermal vent taxa[J]. Science, 1984, 226(4677): 965-967.
- [2] 席世川, 张鑫, 王冰, 等. 海底冷泉标志与主要冷泉区的分布和比较[J]. 海洋地质前沿, 2017, 33(2): 7-18. Xi Shichuan, Zhang Xin, Wang Bing, et al, .The indicators of seabed cold seep and comparison among main distribution areas[J]. Marine Geology Frontiers, 2017, 33(2): 7-18.
- [3] 李灿苹, 刘学伟, 赵罗臣. 天然气水合物冷泉和气泡羽状流研究进展[J]. 地球物理学进展, 2013, 28(2): 1048-1056. Li Canping, Liu Xuewei, Zhao Luochen. Progress on cold seeps and bubble plumes produced by gas hydrate[J]. Progress in Geophysics, 2013, 28(2): 1048-1056.
- [4] 陈多福, 陈先沛, 陈光谦. 冷泉流体沉积碳酸盐岩的地质地球化学特征[J]. 沉积学报, 2002, 20(1): 34-40. Chen Duofu, Chen Xianpei, Chen Guangqian. Geology and geochemistry of cold seepage and venting-related carbonates[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(1): 34-40.
- [5] Sibuet M, Olu K. Biogeography, biodiversity and fluid dependence of deep-sea cold-seep communities at active and passive margins[J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 1998, 45(1-3): 517-567.
- [6] 陈忠, 杨华平, 黄奇瑜, 等. 海底甲烷冷泉特征与冷

- 泉生态系统的群落结构[J]. 热带海洋学报, 2007, 26(6): 73-82.
- Chen Zhong, Yang Huaping, Huang Qiyu, et al. Characteristics of cold seeps and structures of chemoauto-synthesis-based communities in seep sediments[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2007, 26(6): 73-82.
- [7] 汤澈. 基于知识图谱的国际管理学研究进展分析[D]. 南京: 南京大学, 2014.  
Tang Che. Research progress analysis of international management based on knowledge map[D]. Nan Jing: Nanjing University, 2014.
- [8] 季婉婧, 王金平. 基于文献计量的国际地震地质科学研究发展态势分析[J]. 世界科技研究与发展, 2017, 39(3): 275-283.  
Ji Wanjing, Wang Jinping. A bibliometric analysis of development status of international seismic geological science research[J]. World Sci-Tech R & D, 2017, 39(3): 275-283.
- [9] Bornmann L, Stefaner M, de Moya Anegón F, et al. Ranking and mapping of universities and research- focused institutions worldwide based on highly-cited papers[J]. Online Information Review, 2013, 38(1): 43-58.
- [10] Laengle S, Merigó J M, Miranda J, et al. Forty years of the European journal of operational research: a bibliometric overview[J]. European Journal of Operational Research, 2017, 262(3): 803-816.
- [11] 王琳, 张灿影, 朱立禄, 等. 国际洋中脊研究的发展态势及热点分析[J]. 海洋科学, 2017 41(3): 151-160.  
Wang Lin, Zhang Canying, Zhu Lilu, et al. Trends and hotspots in international Mid-ocean Ridge research[J]. Marine Science, 2017, 41(3): 151-160.
- [12] 白思俊, 李晓军. 2009 年我国管理学热点问题研究[J]. 管理学报, 2011, 24(2): 88-92.  
Bai Sijun, Li Xiaojun. Research on hot issues of management in China in 2009[J]. Journal of Management, 2011, 24(2): 88-92.
- [13] Garfield E. Historiographic mapping of knowledge domains literature[J]. Journal of Information Science, 2004, 30(2): 119-145.
- [14] Joye S B, Boetius A, Orcutt B N, et al. The anaerobic oxidation of methane and sulfate reduction in sediments from Gulf of Mexico cold seeps[J]. Chemical Geology, 2004, 205(3-4): 219-238.
- [15] Aharon P, Fu B S. Microbial sulfate reduction rates and sulfur and oxygen isotope fractionations at oil and gas seeps in deepwater Gulf of Mexico[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2000, 64(2): 233-246.
- [16] Barry J P, Kochevar R E, Baxter C H. The influence of pore-water chemistry and physiology on the distribution of vesicomyid clams at cold seeps in Monterey Bay: Implications for patterns of chemosynthetic community organization[J]. Limnology and Oceanography, 1997, 42(2): 318-328.
- [17] Peckmann J, Reimer A, Luth U, et al. Methane-derived carbonates and authigenic pyrite from the northwestern Black Sea[J]. Marine Geology, 2001, 177(1-2): 129-150.
- [18] Stakes D S, Orange D, Paduan J B, et al. Cold-seeps and authigenic carbonate formation in Monterey Bay, California[J]. Marine Geology, 1999, 159(1-4): 93-109.
- [19] 赵广利. 冷泉: 海底“沙漠中的绿洲” [EB/OL]. 中国科学报, 2013-07-26, (2013-07-26)[2018-07-25]http: // www.cas.cn/xw/cmsm/201307/t20130726\_3905931.shtml.  
Zhao Guangli. Cold seep: an urban oasis in sea[EB/OL]. China Science Daily, 2013-07-26, (2013-07-26)[2018-07-25].http://www.cas.cn/xw/cmsm/201307/t20130726\_3905931.shtml.

## Trends and hot spots in international cold seep research

ZHANG Can-ying<sup>1</sup>, WANG Lin<sup>1</sup>, YU Wei-ying<sup>1</sup>, FENG Zhi-gang<sup>1</sup>, KONG Xiu<sup>2</sup>,  
ZHANG Xiao-kun<sup>3</sup>

(1. Documentation and Information Center, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Institute of Deep-Sea Science and Engineering, Chinese Academy of Science, Sanya 572000, China; 3. First institute of oceanography, MNR, Qingdao 266061, China)

**Received:** Aug. 27, 2018

**Key words:** cold seep; deep sea; bibliometrics analysis; research focus

**Abstract:** On the basis of the data from the information platform of the Web of Science database and through the use of the bibliometrics method, the annual journal distribution, main countries and its influence, international institutions, and focus research realms are compared and analyzed. Results show that the number of international cold seep research papers has been increasing. The USA is well ahead of other countries in the total number of publications and serves as the cooperative center between countries. In the past 3 years, the number of publications from China is higher than that from other countries. The first author country percentage of China is also higher than that of other countries. The institution with most number of publications is the Chinese Academy of Sciences. Furthermore, the microbial anaerobic oxidation of methane, biodiversity of cold seep, and mineralogy and geochemistry of cold seep carbonate are the research hotspots.

(本文编辑: 罗璇 丛培秀)