

◆研究态势分析◆

基于文献计量的国际俯冲带研究发展态势分析^{*}张灿影,王琳,於维樱,冯志纲^{**}

(中国科学院海洋研究所,山东青岛 266071)

摘要:本研究在于探索世界主要国家地区俯冲带研究论文产出情况,以期为我国俯冲带研究和相关决策制定提供参考。以 Web of Science 信息平台的科学引文索引(Science Citation Index Expanded, SCIE)数据库为数据源,利用文献计量方法,分析国际俯冲带研究的年度变化、期刊分布、主要研究国家或地区的发文影响力及合作情况、主要研究机构和国际热点研究内容。结果显示,国际俯冲带研究论文产量一直呈增长趋势;美国的论文产出数量最多、合作中心性最强;中国俯冲带研究论文近3年增量明显,ESI高被引论文比例最高,但国际合作中心性较弱,其发文最多的机构为中国科学院;俯冲带热结构、俯冲与地震的关系、俯冲带中的流体与岩浆作用以及俯冲带成矿是近年来的研究热点。

关键词:俯冲带 文献计量 态势 研究力量 SCIE

中图分类号:P541,G312 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2021)01-0011-12

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20210309.011

0 引言

俯冲带是地球表面物质与地幔物质进行交换的主要地带,是火山、地震、海啸等地质灾害的常发地区,全球90%以上的地震能量是由俯冲带地震释放的。灾害的发生导致大量人员伤亡,并造成大批财产损失和基础设施的损坏。但俯冲带作为地球循环体系的关键部位,多源的物质来源与多期次的岩浆活动为各类矿床的形成提供了优越的条件^[1];俯冲带温压和环境合适,极有可能广泛分布有天然气水合物和矿产资源^[2]。多数研究表明,大多数天然气水合物存在

于俯冲带的增生沉积楔中^[3],具有十分广阔的开发前景^[4]。因此,俯冲带研究不但具有重要的科学价值,同时也具有极其重要的经济意义和社会意义。

由于俯冲带的重要性,多个大型计划和研究项目将其列为优先研究领域和核心研究内容之一,计划的实施使俯冲带研究取得了很多技术性突破和新发现。例如,1968年开始实施的深海钻探计划(Deep Sea Drilling Program, DSDP, 1968-1983年),使得海洋地质学发生了革命性的变化,为深海沉积物的成岩作用、海底火山和地震活动的研究提供了许多有价值的资料^[5]。1998年开始实施的美国大陆边缘研究计划

^{*} 中国-东盟海上合作基金项目(12120100500017001)资助。

【作者简介】

张灿影(1988-),女,馆员,主要从事文献计量、海洋科技情报监测与编译研究,E-mail:zhangcanying@qdio.ac.cn。

【**通信作者】

冯志纲(1972-),男,研究馆员,主要从事海洋科技情报服务研究,E-mail:zhi@qdio.ac.cn。

【引用本文】

张灿影,王琳,於维樱,等.基于文献计量的国际俯冲带研究发展态势分析[J].广西科学,2021,28(1):11-22.

ZHANG C Y, WANG L, YU W Y, et al. Analysis on Development Trend of International Subduction Zone Research Based on Bibliometrics [J]. Guangxi Sciences, 2021, 28(1): 11-22.

(MARGINS Program, 1998 - 2010年)致力于研究俯冲带区域岩石、沉积物和流体特征,以便更好地理解俯冲带的性质和地震周期的发生机制^[6]。1999年开始实施的国际大陆边缘计划(InterMargins Program)主要研究内容包括大陆岩石圈破裂实验(RCL)、俯冲加工厂实验(SubFac)、地震发震带实验(SEIZE)、源到汇实验(S2S),该计划的实施对俯冲带的研究起到关键性推动作用^[7]。国际大洋发现计划(International Ocean Discovery Program, IODP, 2013 - 2023年)、大洋钻探计划(Ocean Drilling Program, ODP, 1986 - 2003年)和综合大洋钻探计划(Integrated Ocean Drilling Program, IODP, 2003 - 2013年),3个计划的研究涉及深部生物圈、地球壳幔结构、俯冲构造、地震活动等地球科学的诸多领域。国际大洋发现计划还将俯冲带如何形成周期性的不稳定状态,以及如何生成大陆地壳问题作为海洋研究领域未来面临的14项挑战之一^[8]。国际洋中脊计划第三个十年科学计划(2014 - 2023年)提出未来十年重点发展的6个主要研究方向,其中研究重点包括控制俯冲板块组成的综合过程;待解决的相关问题包括:蛇纹石化作用的范围,其是否在板块进入俯冲带时停止;深海丘的生命周期及其“复活”;大洋板块的组成及其对俯冲板块的影响^[9]。

2013年美国国家科学基金会(National Science Foundation, United States, NSF)发布启动MARGINS的后续计划“裂谷与俯冲边缘的地球动力学过程(Geodynamic Processes at Rifting and Subducting Margins, GeoPRISMS)”,该计划涉及五大科学主题:大陆地壳的起源和演化,流体、岩浆及其相互作用,气候—地表—构造间的反馈,地球化学循环,板块边界变形和地球动力学^[10]。2017年6月,美国地质调查局发布《减少构造板块碰撞处的风险——一项推进俯冲带科学的计划》(*Reducing Risk where Tectonic plates Collide—U. S. Geological Survey Subduction Zone Science Plan*)报告,提出从俯冲带过程观测和模拟、自然灾害和风险的量化分析、预报和态势感知3个方面,增加对俯冲带灾害的认识,并通过行动和产品来建设更具弹性的未来^[11]。德国亥姆赫兹基尔海洋研究中心(GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel)的一个主要研究方向是海底动力学研究,核心研究主题包括大洋岩石圈的形成变更、俯冲过程及其对环境的影响,并聚焦于洋底和海洋盆地的形成、俯冲带、海洋板块运动等研究。

GEOMAR在“2025研究战略”里再次强调了汇聚边缘—俯冲带的研究,还开展俯冲带流体和挥发物研究项目:研究液体和挥发成分(碳、硫、卤素)通过俯冲带的途径和通量,分析这些挥发物对气候、水圈和大气圈地球化学演化的影响^[12]。

另外涉及俯冲带研究的还有1998年实施的地球化学参考模型、2000年实施的俯冲工厂科学计划、2003年实施的美国地球探测(EarthScope)十五年计划以及2007年实施的日本南海海槽地震带实验(NanTroSEIZE)等。

近些年来,我国也开展了多个不同层面的俯冲带研究计划与项目,包括深俯冲地壳的化学变化与差异折返(2009 - 2013年)、大陆俯冲带壳幔相互作用(2015年启动)等科技部国家重点基础研究发展计划;国家自然科学基金重点项目“南海周缘与板块俯冲相关的岩浆岩研究”(2014 - 2017年)和“板块俯冲工厂与成矿分带”(2011 - 2014年)、重大项目“东南亚环形俯冲系统超级汇聚的地球动力学过程”(2018 - 2021年),以及重大研究计划“西太平洋地球系统多圈层相互作用”(2018 - 2025年);中国科学院“海斗深渊”战略性先导科技专项(2014年)等。这些研究计划、项目的实施,获取了大量宝贵的技术资料和数据,并据此发表了大量与俯冲带研究相关的论文,进一步深化了我们对俯冲带发震机理、俯冲带边界移位、构造特征、增生模式、深俯冲地壳的折返过程和再造、板块俯冲过程中的化学过程及成矿作用等方面的认识。

本文拟通过文献计量方法对全球俯冲带研究的年度变化、主要力量布局、主要研究机构及其机构间的合作关系、研究的热点方向等做简要分析,以期能为我国俯冲带研究和相关决策制定提供参考依据。

1 数据来源与分析工具

俯冲带研究内容涉及较广,包括大陆边缘、地震、海沟、岛弧以及俯冲工厂等多个方面,发文数量较多。本研究数据收集自科学引文索引(Science Citation Index Expanded, SCIE)数据库,以题名、关键词和摘要中出现“subduction zone”或“subduction zones”的Article、Processedings paper和Review为数据分析基础,检索时间截至2018年12月31日,检索结果基本涵盖大部分俯冲带研究论文,从文献计量角度分析全球俯冲带研究发展态势。

数据分析主要采用汤森路透集团开发的文献专

利信息分析工具 Thomson Data Analyzer (TDA) 软件、网络关系分析工具 (Ucinet、NetDraw 和 Histcite) 以及办公软件 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和关键词聚类图; 利用 Histcite 软件进行引文分析, 定位出该领域的重要文献; 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。

2 结果与分析

2.1 研究论文年际变化

早在 1971 年就有俯冲带相关的研究, 这可能得

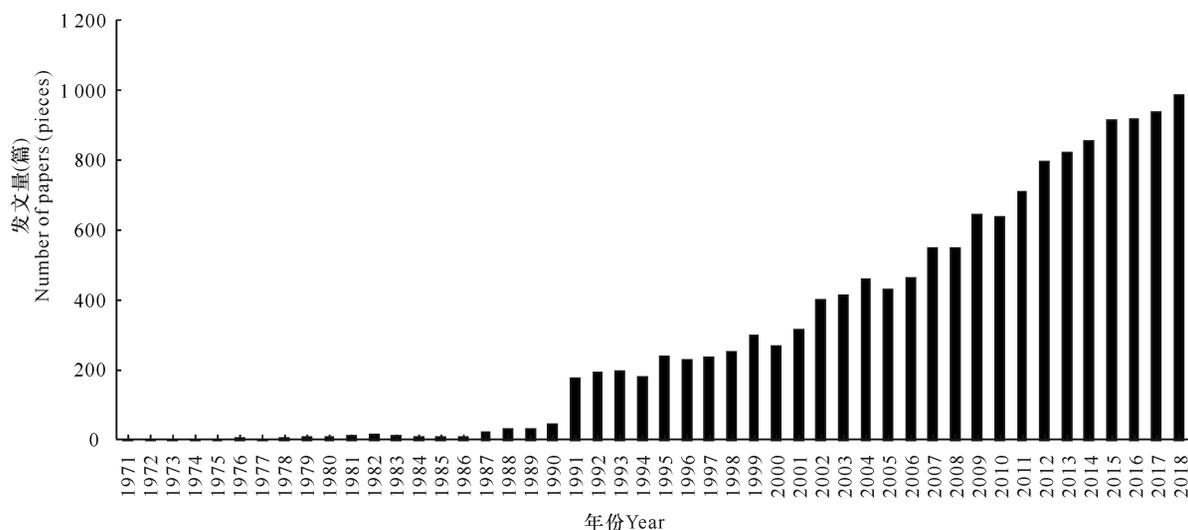


图 1 国际俯冲带研究年度 SCIE 发文量年际变化

Fig. 1 Interannual variation in annual publications number about subduction zone research

2.2 研究论文期刊分布

自 20 世纪 70 年代以来, 国际俯冲带研究论文分布于 500 多种有关地球物理、地质学和矿物学方面的期刊、论文集中, 收录数量排名前 15 的期刊情况如表

表 1 国际俯冲带研究发文量前 15 位的期刊

Table 1 Top 15 journals with number of papers on international subduction zone research

排名 Rank	期刊全称 Full journal title	出版国家 Publishing country	发文量(篇) Number of papers (pieces)	影响因子 Impact factor	JCR 分区 JCR partition
1	地球物理研究—固体地球 <i>Journal of Geophysical Research: Solid Earth</i>	美国 U. S. A.	1 201	3. 482	Q1
2	地球与行星科学通讯 <i>Earth and Planetary Science Letters</i>	荷兰 Netherlands	1 037	4. 581	Q1
3	地质构造物理学 <i>Tectonophysics</i>	荷兰 Netherlands	710	2. 686	Q2
4	地球物理研究快报 <i>Geophysical Research Letters</i>	美国 U. S. A.	697	4. 339	Q1
5	国际地球物理杂志 <i>Geophysical Journal International</i>	英国 U. K.	653	2. 528	Q2
6	国际矿物学、岩石学与地球化学杂志 <i>Lithos</i>	荷兰 Netherlands	517	3. 857	Q1

益于 1968 年开始实施的深海钻探计划, 该计划获得了大量海底岩心样品和井下测量资料。从 SCIE 论文的年际变化来看, 俯冲带研究在 1990 年以前处于发展缓慢状态。从 20 世纪 90 年代初开始, 大洋钻探、地震成像和钻井技术等取得突破性进展, 以及超高压变质岩的发现, 对于整个国际俯冲带研究起到了至关重要的作用, 刺激了研究论文的增长。除个别年份略有波动外, 国际俯冲带研究发文量整体呈稳步增长趋势, 近十年 (2009 - 2018 年) 发文 8 235 篇, 占研究时段内全部发文量 14 354 篇的 57. 37%, 总发文量以平均每年 10. 39% 的速度增长 (图 1)。

1 所示。期刊的出版国家主要集中在美国、荷兰和英国, 排名前 15 的期刊都属于 JCR Q1 或 JCR Q2 分区。

续表 1

Continued table 1

排名 Rank	期刊全称 Full journal title	出版国家 Publishing country	发文量(篇) Number of papers (pieces)	影响因子 Impact factor	JCR 分区 JCR partition
7	地球化学、地球物理学、地球系统学 <i>Geochemistry, Geophysics, Geosystems</i>	美国 U. S. A.	485	2.981	Q2
8	地质学 <i>Geology</i>	美国 U. S. A.	377	5.073	Q1
9	美国地震学会通报 <i>Bulletin of the Seismological Society of America</i>	美国 U. S. A.	312	2.343	Q2
10	化学地质学 <i>Chemical Geology</i>	荷兰 Netherlands	291	3.570	Q1
11	地球与行星内部物理学 <i>Physics of the Earth and Planetary Interiors</i>	荷兰 Netherlands	261	2.156	Q2
12	矿物学与岩石学论文集 <i>Contributions to Mineralogy and Petrology</i>	德国 Germany	260	3.626	Q1
13	亚洲地球科学杂志 <i>Journal of Asian Earth Sciences</i>	英国 U. K.	259	2.866	Q2
14	大地构造学 <i>Tectonics</i>	美国 U. S. A.	259	3.583	Q1
15	地球化学与宇宙化学学报 <i>Geochimica et Cosmochimica Acta</i>	美国 U. S. A.	237	4.690	Q1

2.3 俯冲带国际研究力量分析

2.3.1 主要国家、地区及其影响力

按照全部作者统计,国际上有关俯冲带研究的全部论文中,发文量前10的国家分布见图2。从图2中可以看出,美国在俯冲带研究领域占绝对优势,居全球之首,遥遥领先于其他国家,共发文4766篇,占该领域全部发文量的33.20%;其后依次是日本、中国、德国、法国、英国和加拿大,发文量均超过1000

篇,其中中国发文量为1577篇,排在第3位。前10位国家的平均发文量为1597.20篇,中国论文数量略低于平均水平。但中国第一作者国家发文所占比例在前10位国家中最高,为80.22%,说明中国在所参与的俯冲带研究中主导性较强,自主创新较多,但同时也说明在俯冲带研究中,中国与发达国家的合作较弱。

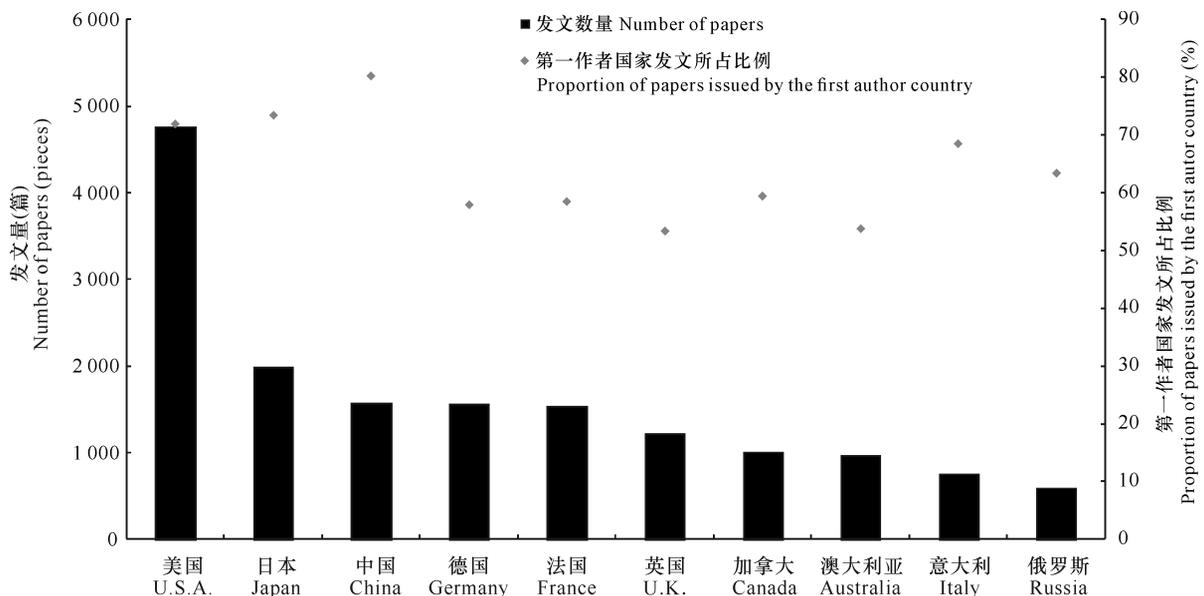


图2 国际俯冲带研究论文发文量前10国家及其第一作者国家发文所占比例

Fig. 2 Top 10 countries and first author country percentage about subduction zone research

为更深入了解各国或地区在俯冲带研究方面的影响力,对总被引频次、篇均被引频次、ESI高被引论文比例等进行分析。其中,ESI高被引论文是指到检索时间为止,根据对应领域和出版年中的高引用阈值,近十年内发表的SCI论文被引次数排在相应学科领域全球前1%以内的文章。

分析发现,排名靠前的国家总被引频次基本与发

表2 国际俯冲带研究发文量前10位的国家

Table 2 Top 10 country or region with number of papers on subduction zone research

序号 No.	国家 Country	发文量(篇) Number of papers (pieces)	近3年发 文占比 Proportion of papers published in recent 3 years (%)	被引频次 Times cited		被引论文比例 Proportion of cited papers (%)		
				总被引 频次(次) Total citations (frequency)	篇均被引 频次(次/篇) The citation frequency of each paper (frequency/paper)	被引频 次 ≥ 1 Time cita- tions ≥ 1	被引频 次 ≥ 100 Time cita- tions ≥ 100	ESI高被引 论文比例 Proportion of highly cited papers in ESI
1	美国 U. S. A.	4 766	18.72	182 637	38.32	94.94	8.43	1.80
2	日本 Japan	1 991	19.04	50 755	25.49	93.12	4.02	0.98
3	中国 China	1 577	38.17	33 701	21.37	86.49	4.76	2.40
4	德国 Germany	1 558	22.21	46 937	30.13	94.16	6.35	0.71
5	法国 France	1 529	21.39	52 456	34.31	94.77	6.61	2.05
6	英国 U. K.	1 222	22.01	42 828	35.05	94.93	7.28	1.95
7	加拿大 Canada	1 004	18.23	32 267	32.14	95.12	6.57	2.00
8	澳大利亚 Australia	969	25.90	34 523	35.63	93.19	7.33	2.35
9	意大利 Italy	760	22.24	22 505	29.61	93.03	5.53	1.63
10	俄罗斯 Russia	596	20.64	11 849	19.88	82.38	3.69	0.60

注:标成灰色的数据为该列所统计指标中排名首位的数据

Note: The data marked in grey are the date that ranks first among the statistical indicators in the column

2012年我国提出打造海洋强国的国家战略,积极投身于国际大型研究计划并自主启动了多项大陆边缘计划和项目;同时加大海洋基础设施建设的投入,在深海潜水器等深海仪器研发方面取得了突破性的进展,逐渐缩短与美国、日本等海洋科技强国的差距。这些举措的实施刺激了我国俯冲带研究,有关论文的数量显著增加,近3年发文量占全部发文量的比例最高,为38.17%,说明中国越来越重视俯冲带研究。所有发文中共有116篇ESI高影响力论文,其中美国参与49篇,中国参与31篇,分别占比42.24%和26.72%。中国ESI高被引论文占国家或地区近十年发文的比例为2.40%,高居榜首,说明中国近几年相关论文得到很大关注,影响力较高。

从图3可以看出,在论文数量和影响力方面美国均处于领先地位,德国、法国和英国论文数量增长有限,只略高于前10位国家平均值,但影响力处于领先地位,处于第一象限;中国虽然发文量略高于平均水平,但影响力远远低于发达国家。

量成正比,美国、日本、德国、法国和英国的总被引频次均较高,均超过40 000次;中国、加拿大和澳大利亚的总被引频次处于第二梯队,总被引频次均超过30 000次。在所有发表论文中被引用论文占比例最高的是加拿大,为95.12%。被引频次 ≥ 100 的论文所占比例最高的为美国,所占比例为8.43%(表2)。

综合各项指标来看,美国俯冲带研究论文体量和质量方面实力靠前;澳大利亚虽然研究论文数量不多,但文章影响力较高。中国论文数排第3位,论文篇均被引频次排名第9位,近3年发文量占全部发文量的比例排在第1位,被引论文比例排在第9,被引频次 ≥ 100 的论文占比排8位,ESI高被引论文占比排1位。综合看来,我国俯冲带研究论文数量近年来增量明显,论文质量参差不齐,虽然整体影响力不够,但部分论文得到的关注度不断增加。

2.3.2 主要发文国家或地区的合作情况

如图4所示,不同的节点代表不同的国家或地区,连线的粗细代表合作强度,连线越粗表明合作的次数越多。从图4中可以看出,美国处于合作的中心位置,是其他国家或地区的主要合作伙伴,其主要合作国家有德国、法国、日本、英国、加拿大、中国和澳大利亚。此外,法国和德国在国际合作中处于第二梯队的地位,在国际俯冲带研究中也具有重要的地位。

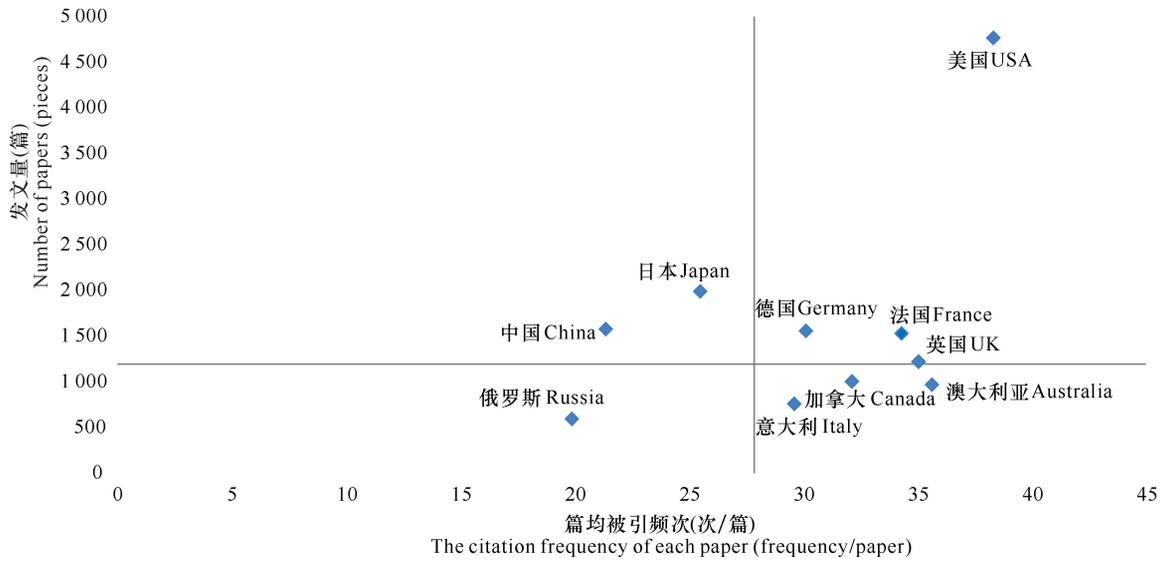


图3 俯冲带研究国家发文数量和篇均被引分布图

Fig. 3 Distribution map of annual publication number and citation frequency of each paper about subduction zone research country

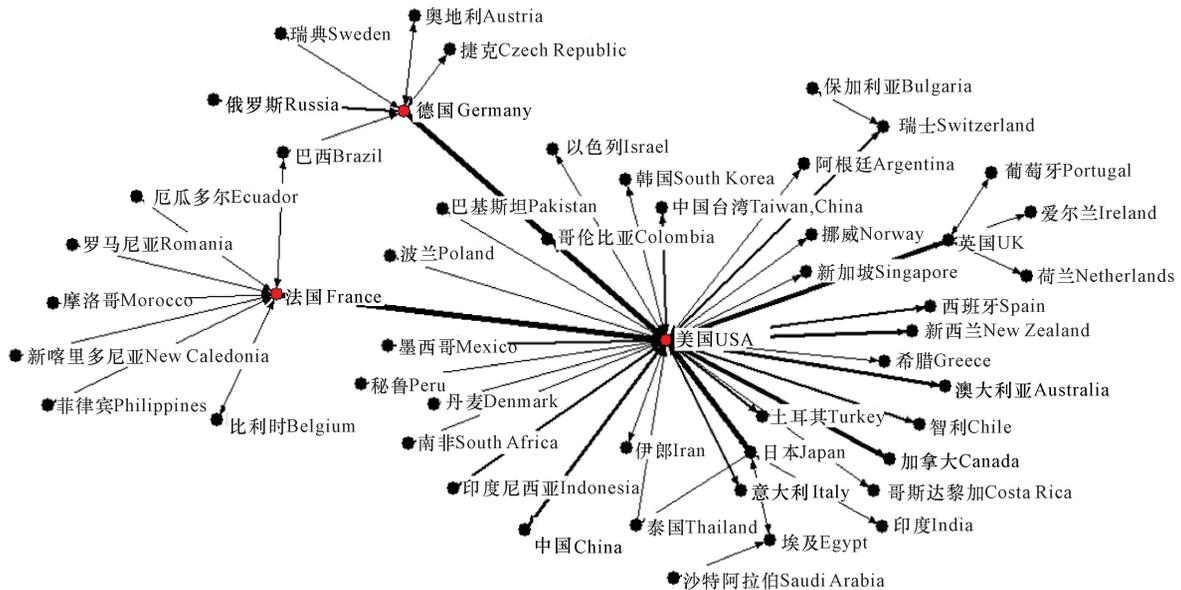


图4 国际俯冲带研究国家/地区合作情况

Fig. 4 Cooperation of countries or regions in international subduction zone research

全部论文中,以国家数量计为 21 940 篇,实际论文为 14 354 篇,论文篇均合作国家为 1.53 个。从表 3 可以看出,单个国家完成的论文有 8 629 篇,占全部论文的 60.12%;超过三国合作的论文数量为 507 篇,占全部论文的 3.53%,说明俯冲带研究多国合作较少。

2.3.3 主要机构

如图 5 所示,按照全部作者统计,发文量较多的

15 个机构依次是东京大学、中国科学院、美国地质调查局、俄罗斯科学院、日本海洋科学与技术中心、德国亥姆霍兹联合会、得克萨斯大学、加州理工学院、澳大利亚国立大学、日本国立东北大学、巴黎大学、墨西哥国立自治大学、加拿大地质调查局、法国科学研究中心和华盛顿大学。这些机构中,美国机构有 4 个,法国和日本机构分别有 3 个。

表 3 俯冲带研究论文合作国家或地区数量

Table 3 Number of countries or regions in cooperation with subduction zone research papers

序号 No.	记录数量 Record number	发文国家或地区数量 Number of the country or region
1	8 629	1
2	3 905	2
3	1 313	3
4	357	4
5	99	5
6	30	6
7	7	7
8	7	8
9	3	9
10	2	10
11	1	12
12	1	13

3 国际俯冲带研究热点领域及方向

3.1 国际俯冲带研究学科分布

按 Web of Science 学科分类看,俯冲带研究所涉及的研究学科有地球化学和地球物理学、地质学、矿物学、科技相关主题、海洋学、气象学与大气科学、自然地理学、水资源、工程学和古生物学(表 4)。其中地球化学与地球物理学所占比重最大,有 7 744 篇相关论文;其次是地质学,有 5 628 篇论文;矿物学论文有 1 281 篇。

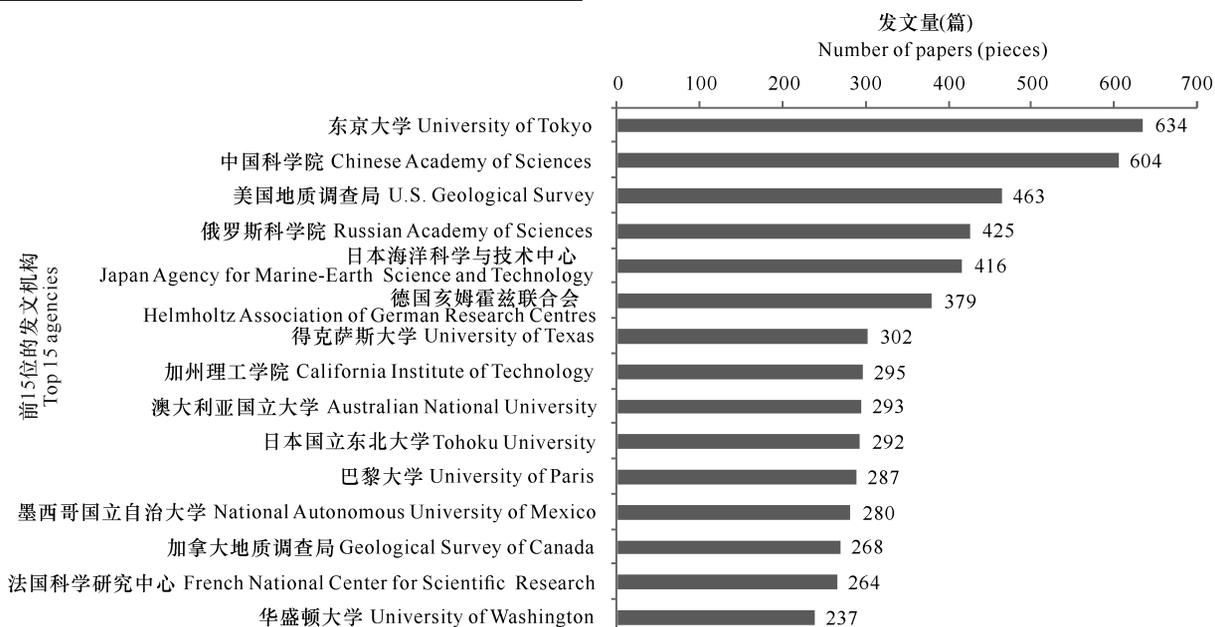


图 5 国际俯冲带研究发文章数前 15 位的机构

Fig. 5 Top 15 agencies of research papers on international subduction

表 4 国际俯冲带研究主要涉及的 Web of Science 学科领域

Table 4 Subject categories in Web of Science mainly involved in the study of international subduction

序号 No.	学科领域 Subject categories	文章篇数 Number of articles	序号 No.	学科领域 Subject categories	文章篇数 Number of articles
1	地球化学和地球物理学 Geochemistry & Geophysics	7 744	6	气象学与大气科学 Meteorology & Atmospheric sciences	209
2	地质学 Geology	5 628	7	自然地理学 Physical geography	193
3	矿物学 Mineralogy	1 281	8	水资源 Water resources	159
4	科技相关主题 Science & Technology-other topics	546	9	工程学 Engineering	157
5	海洋学 Oceanography	329	10	古生物学 Paleontology	82

3.2 俯冲带研究关键词分析

通过对作者关键词的统计,可以发现除俯冲带(Subduction zone, 1 403次)和俯冲(Subduction, 1 060次)外,地球化学(Geochemistry, 414次)、蛇绿岩(Ophiolite, 331次)、地震(Earthquakes, 312次)、海啸(Tsunami, 243次)、榴辉岩(Eclogite, 225次)、地震层析成像(Seismic tomography, 222次)、构造(Tectonics, 209次)、地震各向异性(Seismic anisotropy, 176次)、微量元素(Trace elements, 152次)和数值模拟(Numerical modeling, 145次)等是出现频

次较高的关键词(表5)。为了更显著地展示高频关键词的年代变化,采用TDA对除俯冲带和俯冲外排名前20位的关键词进行年代变化分析可视化分析(图6)。分析结果显示:榴辉岩(2011和2016年)、地震各向异性(2013-2014年)、数值模拟(2012年、2016年和2018年)、蛇绿岩(2016和2018年)和蛇纹石化(2013年和2015年)具有阶段性凸显特征;地质构造、地震活动(Seismicity)和地幔(Mantle)等趋势比较稳定平缓,但在整体上还是属于研究热点。

表5 俯冲带研究论文作者关键词年代变化(前50位)

Table 5 Chronological changes of keywords of authors in subduction zone research papers (top 50)

作者关键词 Author keywords	出现频次 Occurrence frequency	作者关键词 Author keywords	出现频次 Occurrence frequency
俯冲带 Subduction zone	1 403	地震活动与构造 Seismicity and tectonics	99
俯冲 Subduction	1 060	锆石 Zircon	99
地球化学 Geochemistry	414	橄榄岩 Peridotite	98
蛇绿岩 Ophiolite	331	地球动力学 Geodynamics	97
地震 Earthquakes	312	新西兰 New Zealand	96
海啸 Tsunami	243	全球卫星定位系统 GPS	95
榴辉岩 Eclogite	225	日本南海海槽 Nankai Trough	91
地震层析成像 Seismic tomography	222	橄榄石 Olivine	91
构造 Tectonics	209	弧岩浆活动 Arc magmatism	89
地震各向异性 Seismic anisotropy	176	变质作用 Metamorphism	87
微量元素 Trace elements	152	增生楔 Accretionary prism	85
数值模拟 Numerical modeling	145	玄武岩 Basalt	84
地震活动 Seismicity	144	岩石成因 Petrogenesis	83
地幔楔 Mantle wedge	132	体波 Body waves	82
地幔 Mantle	126	地幔对流 Mantle convection	79
地质年代学 Geochronology	125	横波分裂 Shear wave splitting	79
板块构造 Plate tectonics	120	水 Water	79
交代作用 Metasomatism	119	折返过程 Exhumation	78
埃达克岩 Adakite	114	伊朗 Iran	77
地壳结构 Crustal structure	113	各向异性 Anisotropy	76
蛇纹石化 Serpentinization	112	火山弧活动 Arc volcanism	76
部分熔融 Partial melting	111	卡斯卡迪亚俯冲带 Cascadia Subduction Zone	75
蛇纹岩 Serpentinite	107	接收函数 Receiver function	75
岛弧 Island arc	106	同位素 Isotopes	74
流体 Fluids	99		



图6 俯冲带研究论文作者关键词年代变化(前20位)

Fig. 6 Chronological changes of keywords of authors in subduction zone research papers (top 20)

通过分析这些高频关键词,可以总结出国际俯冲带研究的热点地区、热点内容和研究方法。其中,热点地区包括日本南海海槽(Nankai Trough)、卡斯卡迪亚俯冲带(Cascadia Subduction Zone)、新西兰(New Zealand)、伊朗(Iran)、土耳其(Turkey)、南美洲(South America)和中国台湾(Taiwan, China);热点研究方向包括俯冲带地质构造研究(Tectonics),

地震(Earthquakes)、海啸(Tsunami)和火山弧活动(Arc volcanism)等地质灾害研究,岩浆作用(Magmatism)和流体作用(Fluids)中微量元素的地球化学研究(Geochemistry),埃达克岩(Adakite),俯冲带折返过程和机制研究(Exhumation),俯冲带交代作用(Metasomatism)和变质作用(Metamorphism);研究方法技术包括地震层析成像(Seismic tomography)、

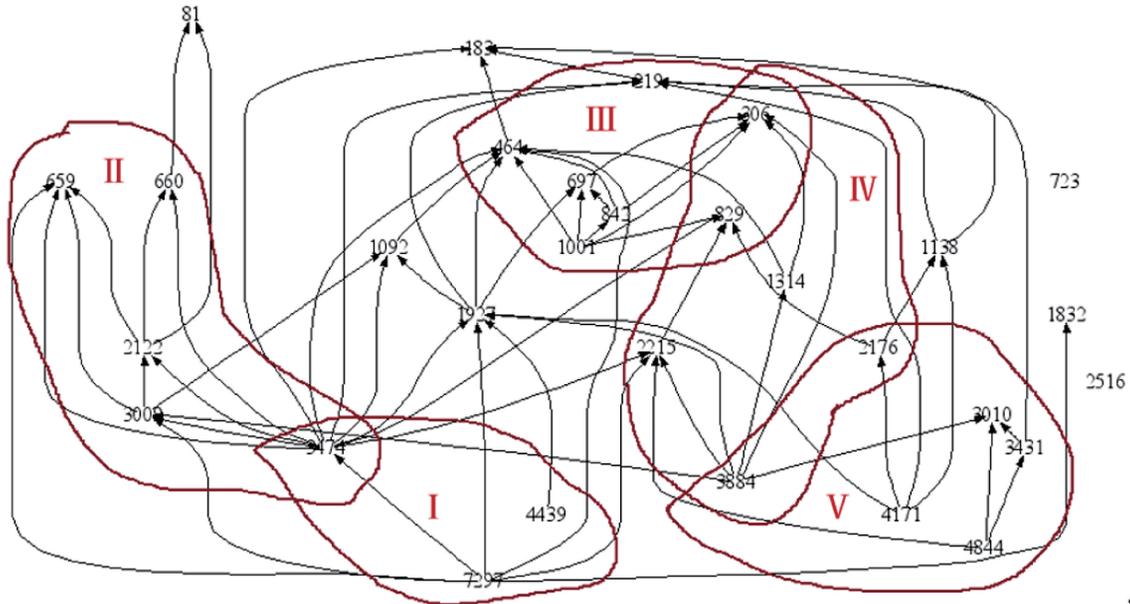
数值模拟(Numerical modeling)、GPS 和地震各向异性(Seismic anisotropy)。

3.3 俯冲带主要研究内容和热点文献分析

利用 Garfield^[13] 开发的引文图谱分析软件 Histcite, 选取被检索数据集中文献引用次数最多的 30 篇文章, 以图谱方式展示国际俯冲带研究重要文

献之间的引用关系, 并结合 ESI 高被引论文和热点论文, 从高引用论文和高影响力论文两个方面分析俯冲带领域的主要研究内容和研究热点。

如图 7 所示, 可以将俯冲带研究的主要内容分为 5 个方面。



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 represents that of the research paper in the Histcite program, arrow points to cited literature

图 7 俯冲带研究 Histcite 引文分析图谱

Fig. 7 Histcite citation analysis map of subduction zone research

第 I 部分的文献主要与俯冲带热结构研究有关, 包括热结构解析模型、数值模拟等研究方法, 热结构影响因素和演化过程研究等。俯冲带热温度结构控制俯冲岩石中含水矿物的稳定性, 决定俯冲板片-地幔界面的温度^[14], 是控制俯冲过程的决定性因素之一, 直接影响矿物脱水、岩石部分熔融、岛弧火山喷发以及俯冲带地震等关键地质活动^[15]。

第 II 部分的文献主要是针对俯冲带成矿与地球化学研究, 包括俯冲带弧前地幔蛇纹石化、玄武岩、埃达克岩的成因及其地球化学特征等。弧前地幔在俯冲带流体作用下发生蛇纹石化现象, 蛇纹石化过程在提高泊松比值的同时, 能够大幅度降低地震速度和地幔密度^[16]。目前有关俯冲成矿的研究主要集中在斑岩型矿床, 而斑岩铜矿等矿床与埃达克岩之间有密切关系^[1], 许多研究针对埃达克岩成因机制、地球化学特征以及地质构造背景等展开讨论。

第 III 部分的文献主要是关于俯冲带地震和火山弧活动的研究, 包括地震诱发机制、震源深度定位、岛

弧火山岩成因和物质成分等研究。通过对 1973 - 2012 年全球地震频数随震源深度分布的统计发现, 约 72% 的地震发生在浅于 60 km 的地球表层, 而大多数强震与超强震都集中于俯冲带^[17]。板块的变形特征、俯冲板块的应力状态、俯冲角度以及俯冲板块的曲率及其速度等是俯冲带发生大地震的指示性标志^[18]。

第 IV 部分的文献主要研究俯冲带熔/流体成分及其地球化学特征等。在俯冲过程中, 岩石由于脱水作用会产生熔/流体, 熔/流体的特性和行为在俯冲带壳/幔相互作用过程中起着关键作用, 是俯冲过程中发生元素迁移、同位素分馏以及交代上覆地幔楔不可或缺的介质^[19]。

第 V 部分的文献主要围绕俯冲带慢地震研究。慢地震通常发生在地震带附近, 并且可以加剧破坏性大地震的发生^[20]。幕式震颤与慢滑移 (Episodic Tremor and Slip, ETS) 是最有规律的一种慢地震, 其发生地点主要集中于卡斯卡迪亚俯冲带^[21] 和日本西

南俯冲带^[22],由断层的剪切滑移造成,与高压流体的变化有关。也有研究表明,在有仪器可以观测的条件下,基本上所有的俯冲带都存在慢滑移现象,摩擦力性质决定了滑移的速度,慢滑移的深度范围和俯冲板块边界的热结构性质有关^[23]。颤动地震是俯冲带一系列小滑移事件引发的低频地震集合^[24]。2002年,日本地震学家 Obara^[25]首次在日本西南部非火山区发现长周期深部颤动,颤动震中沿菲律宾俯冲板块走向分布,俯冲带内颤动分布位置表明,颤动可能是由板块脱水过程中产生的流体引起的。

4 结论

利用文献计量方法对 SCIE 数据库中俯冲带研究论文进行分析,研究结果表明美国的俯冲带研究实力最强,中国近 3 年俯冲带研究论文数量明显增多,文章影响力得到较大提升。俯冲带热结构、俯冲与地震的关系、俯冲带中的流体与岩浆作用以及俯冲带成矿是俯冲研究的重点研究内容和研究热点。近年来我国一直积极参与国际大型海洋研究计划,同时加强与国际海洋研究机构合作与交流,“科学号”“张謇号”等深海科考船、“蛟龙号”“深海勇士号”等载人潜水器、“发现号”“探索号”等无人潜水器等深海仪器研发方面取得了突破性进展,为研究俯冲带地质结构和动力学过程提供了宝贵资料和研究样品,极大扩展了深海远洋探测能力,这些都将促使我国俯冲带研究进入新阶段。

参考文献

- [1] 张继,李海平,陈青,等.俯冲带研究进展与问题[J].地质调查与研究,2015,38(1):18-27,34.
- [2] 姚伯初.北凯斯卡迪亚(Cascadia)边缘的天然气水合物的发育阶段[J].海洋地质动态,2007,23(2):27-30.
- [3] 尚继宏,李家彪,章家保.南海东北部陆坡与恒春海脊天然气水合物分布的地震反射对比[J].海洋通报,2008,10(1):64-74.
- [3] SHANG J H, LI J B, ZHANG J B. Contrast of seismic reflection characteristics of gas hydrate distribution between Northeast SCS slope and Hengchun ridge [J]. Marine Science Bulletin, 2008, 10(1): 64-74.
- [4] 吴时国,刘文灿.东亚大陆边缘的俯冲带构造[J].地学前缘,2004,11(3):15-22.
- [5] 艾万铸.深海钻探计划的成就及展望[J].海洋科技资料,1981(5):77-86.
- [6] 王利,周祖翼.发震带试验(SEIZE)[J].地球科学进展,2005,20(8):823-832.
- [7] 李三忠,金宠,戴黎明,等.洋底动力学——国际海底相关观测网络与探测系统的进展与展望[J].海洋地质与第四纪地质,2009,29(5):131-143.
- [8] BICKLE M, ARCULUS R, BARRETT P, et al. The science plan for the international ocean discovery program 2013 – 2023 [EB/OL]. [2020-9-22]. <http://www.iodp.org/about-iodp/iodp-science-plan-2013-2023>.
- [9] DEVEY C, MURTON B, LIN J, et al. A plan for the third decade of InterRidge science [EB/OL]. [2020-09-22]. http://interridge.org/files/interridge/Third_Decadal_Plan_website_0.pdf.
- [10] 赵纪东. GeoPRISMS 执行计划简介[J].国际地震动态,2014(3):1-3.
- [11] GOMBERG J S, LUDWIG K A, BEKINS B, et al. Reducing risk where tectonic plates collide—U. S. Geological Survey subduction zone science plan [EB/OL]. [2020-09-22]. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/cir1428>.
- [12] KOPP P H, MÖGELTÖNDER J, VÖLSCH A. Research division 4: Dynamics of the ocean floor [EB/OL]. [2020-09-22]. <https://www.geomar.de/en/research/fb4/overview>.
- [13] GARFIELD E. Historiographic mapping of knowledge domains literature [J]. Journal of Information Science, 2004, 30(2): 119-145.
- [14] 郑永飞,陈仁旭,徐峥,等.俯冲带中的水迁移[J].中国科学:地球科学,2016,46(3):253-286.
- [15] 冷伟,毛伟.俯冲带热结构的动力学模型研究[J].中国科学:地球科学,2015,45(6):736-751.
- [16] HYNDMAN R D, PEACOCK S M. Serpentinization of the forearc mantle [J]. Earth & Planetary Science Letters, 2003, 212(3/4): 417-432.
- [17] 邵同宾,嵇少丞.俯冲带地震诱发机制:研究进展综述[J].地质论评,2015,61(2):245-268.
- [18] SCHELLART W P, RAWLINSON N. Global correlations between maximum magnitudes of subduction zone interface thrust earthquakes and physical parameters of subduction zones [J]. Physics of the Earth & Planetary Interiors, 2013, 225: 41-67.
- [19] 肖益林,孙贺,顾海欧,等.大陆深俯冲过程中的熔/流体成分与地球化学分异[J].中国科学:地球科学,2015,45(8):1063-1087.
- [20] KAPROTH B M, MARONE C. Slow earthquakes, pre-seismic velocity changes, and the origin of slow frictional stick-slip [J]. Science, 2013, 341(6151): 1229-1232.
- [21] ROGERS G, DRAGERT H. Episodic tremor and slip

- on the Cascadia subduction zone: The chatter of silent slip [J]. *Science*, 2003, 300(5627): 1942-1943.
- [22] SHELLY D R, BEROZA G C, IDE S, et al. Low-frequency earthquakes in Shikoku, Japan and their relationship to episodic tremor and slip [J]. *Nature*, 2006, 442: 188-191.
- [23] SCHWARTZ S Y, ROKOSKY J M. Slow slip events and seismic tremor at circum-pacific subduction zones [J]. *Reviews of Geophysics*, 2007, 45(3): RG3004. DOI: 10.1029/2006RG000208.
- [24] SHELLY D R, BEROZA G C, IDE S. Non-volcanic tremor and low-frequency earthquake swarms [J]. *Nature*, 2007, 446(7133): 305-307.
- [25] OBARA K. Nonvolcanic deep tremor associated with subduction in southwest Japan [J]. *Science*, 2002, 296(5573): 1679-1681.

Analysis on Development Trend of International Subduction Zone Research Based on Bibliometrics

ZHANG Canying, WANG Lin, YU Weiyang, FENG Zhigang

(Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, Shandong, 266071, China)

Abstract: This study is to explore the output of subduction zone research papers in major countries and regions in the world and to provide references for the research of subduction zones and related decision-making in China. Taking the Science Citation Index Expanded (SCIE) database of the Web of Science information platform as the data source, this paper uses bibliometric methods to analyze the annual changes of international subduction zone research, the distribution of journals, the influence of publication and cooperation of major research countries or regions, and the main research institutions and international hotspot research content. The result shows that the number of international subduction zone research papers has been showing a growth trend. The USA has the largest number of paper output and the strongest centrality in cooperation. In the past three years, the articles on the subduction zone in China have increased significantly. ESI has the highest proportion of highly cited papers, but the centrality of international cooperation is relatively weak. The institution that publishes the most articles is the Chinese Academy of Sciences. Furthermore, the thermal structure of subduction zone, the relationship between subduction and earthquake, fluid and magmatism in subduction zone and mineralization in subduction zone are the research hotspots in recent years.

Key words: subduction zone, bibliometric analysis, status and trends, research strength, SCIE

责任编辑:米慧芝



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxkx@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxkx.ijournal.cn/gxkx/ch>