

基于 Web of Science 数据库的钻井液文献计量分析

邹志飞¹, 周凤山², 付帆¹, 李晓东¹, 李艳宁¹

(1.中国地质调查局北京探矿工程研究所,北京 100083; 2.中国地质大学(北京)材料科学与工程学院,北京 100083)

摘要:本文基于 Web of Science 数据库,针对 2000—2019 年钻井液领域文献进行对比和可视化分析,梳理了钻井液年发文量、发文国家、研究热点和研究机构等信息。结果表明:从年发文量来看,2012 年之前全球钻井液发文量增长较慢,而 2012 年之后钻井液发文量出现猛增。美国发文数量最多,达到 1803 篇,篇均被引频次达到 22.06 次。中国发文量为 1586 篇,但是篇均被引频次只有 8.55,论文质量与美国差距巨大。从研究方向来看,能源燃料是钻井液领域的重点研究方向。从关键词共现来看,流变性能、纳米材料、天然气水合物等是钻井液研究的相关热点。期刊《Journal of Petroleum Science and Engineering》在钻井液领域的刊文量最大,达到 426 篇,是钻井液领域最具影响力的期刊。

关键词:钻井液;文献计量分析;Web of Science 数据库;研究热点

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2020)12-0001-07

An overview of drilling fluid: a bibliometric analysis based on Web of Science

ZOU Zhifei¹, ZHOU Fengshan², FU Fan¹, LI Xiaodong¹, LI Yanning¹

(1.Beijing Institute of Exploration Engineering, CGS, Beijing 100083, China;

2.School of Material and Technology, China University of Geoscience, Beijing 100083, China)

Abstract: This paper conducts comparison and visual analysis of the published literature about drilling fluid from 2000 to 2019, and reviews the research fields, research institutions, etc. on the basis of Web of Science with the research hotspots in drilling fluids analyzed by Citespace. The results show that the publications on drilling fluids have been increasing in the past 20 years, and the United States takes lead in the number of publications with a total of 1,803 papers each cited 22.06 times, indicating its influence. China contributes a total of 1,586 articles on drilling fluids, but its academic level is insufficient. Engineering and energy fuels are the key research areas of drilling fluids. Journal of Petroleum Science and Engineering is the most authoritative journal in the field of drilling fluids and is widely recognized by the academic community.

Key words: drilling fluid; bibliometrics; Web of Science; research hotspots

0 引言

钻井液具有良好的携带和悬浮岩屑、稳定井壁和保护油气层等作用,被广泛应用于地质岩心钻探和石油、天然气等能源勘探开发当中。钻井液的研究内容涉及矿物学、高分子化学、流体力学、物理化学等多个学科,钻井液设计更是一个需要以跨学科理论知识为支撑、以应用实践为导向的系统工

程^[1-4]。近年来,我国钻井液的科研实力以及应用水平都有了很大的进步,为地质勘探和油气资源开发工程提供了强有力的技术支撑。超高温水基钻井液技术是松科二井、未来深井和超深井钻探的重要技术保障^[5-8];耐高温钻井液关键技术的发展也推动着我国干热岩资源的勘探与开发进程^[9-11];深海底部蕴藏着丰富的油气资源,但是勘探和开采难度

收稿日期:2020-06-02; 修回日期:2020-07-27 DOI:10.12143/j.tkge.2020.12.001

作者简介:邹志飞,男,苗族,1992年生,硕士研究生,材料工程专业,现从事于钻井液材料和钻井液体系研究,北京市海淀区学院路29号探工楼,zzf_711@163.com。

通讯作者:周凤山,男,回族,1964年生,教授,博士生导师,从事油田化学、高分子材料合成与改性等研究,北京市海淀区学院路29号测试楼,zhoufs@cugb.edu.cn。

引用格式:邹志飞,周凤山,付帆,等.基于 Web of Science 数据库的钻井液文献计量分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(12):1-7.

ZOU Zhifei, ZHOU Fengshan, FU Fan, et al. An overview of drilling fluid: a bibliometric analysis based on Web of Science[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(12):1-7.

大,抗温抗盐钻井液便是需要攻克的关键技术之一^[12-15]。

虽然我国钻井液科研实力在不断增强,科研人员仍然需要放眼于世界,了解其他国家钻井液的发展趋势和当前研究的热点。文献计量分析是集数学、统计学、文献学为一体,注重量化的科学分析手段,通过它可以全面地了解某一学科领域的发展现状。郭静芸等对地质工程近10年的研究状况进行文献计量分析,为我国地质工程学科的未来发展提供参考^[16]。赵怡然等利用计量分析方法对全球钻井资源近年来的研究态势进行了分析和展望^[17]。

1 计量分析依据

Web of Science 是全球领先、覆盖学科最广的综合性学术信息资源平台,本文研究内容完全是基于 Web of Science 数据库的统计分析。以 Drilling fluid 为关键词,自定义检索年份范围为 2000—2019 年,文献类型选择 Article,在 Web of Science 核心合集中总共可以搜索出 6490 篇论文,占 Web of Science 核心合集中钻井液领域总发文量的 81.22%,被引频次总计 114501 次,篇均被引次数

15.35 次, h -index 达到 110,检索时间为 2020 年 5 月 15 日。本文以这些文献资料为基础,对钻井液近 20 年文献情况进行综合分析,全面了解近些年钻井液的年发文量、研究领域、主要研究机构和研究热点等综合信息。

2 结果与分析

2.1 发文国家分析

2.1.1 总发文量

论文发表数量及其增长速度与该科学领域的发展情况紧密相关。按照上述方法在 Web of Science 进行检索,并分析检索结果,可得到近 20 年里钻井液的年发文量情况如图 1 所示。从图 1 可知,近 20 年钻井液领域年发文量情况可以分为 2 个阶段:第一阶段为 2000—2011 年,这期间共发表钻井液论文 2322 篇,占总发文量的 29.06%,总体上呈现缓慢增加的态势;第二阶段为 2012—2019 年,这期间钻井液论文的发表量出现快速增长,发文量达到了 4168 篇,占总发文量的 52.17%,表明在这段时间科研人员对钻井液科研热度上升很快,研究成果产出较多。

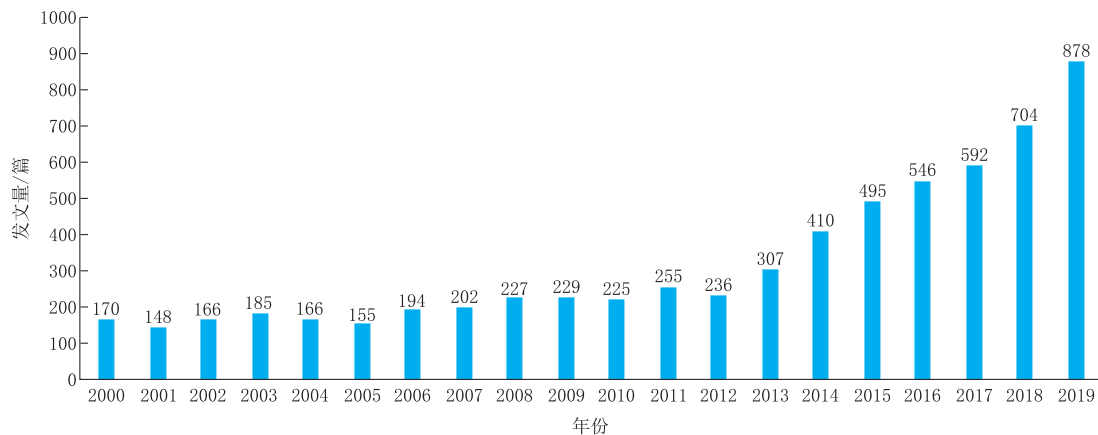


图 1 钻井液领域近 20 年发文总量统计

Fig.1 Yearly total publications in the field of drilling fluids for the past 20 years

2.1.2 国家发文量

图 2 是钻井液领域近 20 年发文量排名前五国家的对比。发文量情况可以反映该国家在该研究领域的发展水平。美国在钻井液领域的研究起步较早,发文量在很长一段时间都处于领先地位,近 20 年的总发文量达到 1803 篇。中国在钻井液领域起步较晚,2010 年以前,中国的发文量与美国仍有很

大的差距。2010 年之后,中国在钻井液领域的发文量开始快速增长,缩小与美国的差距,并在 2014 年超过美国。特别是近 10 年,国家大力推进地质钻探和能源勘探开发工程,钻井液技术作为地质勘探的关键技术之一,也得到了大量发展的机会。

2.1.3 篇均被引频次

国家论文发表量只能反映出国家在该领域的发

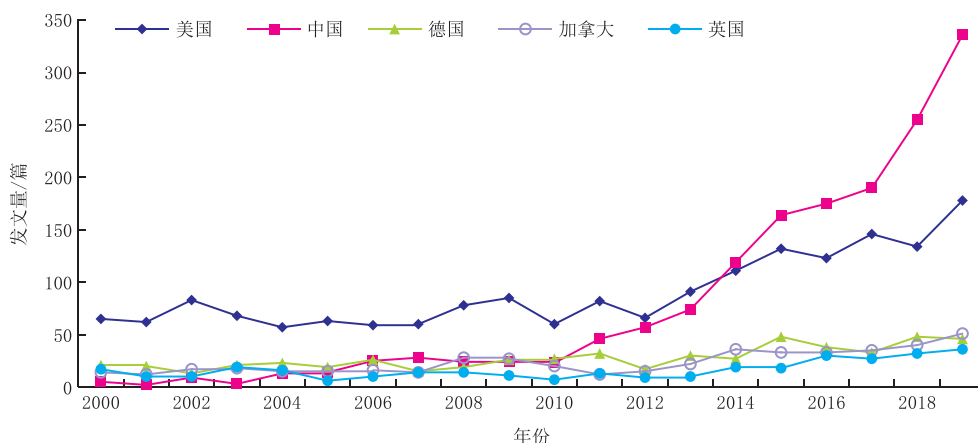


图 2 钻井液领域各个国家的年发文量对比

Fig.2 Comparison of the total publications in the field of drilling fluids between different countries

展趋势,无法体现一个国家在该科研领域的综合实力。为了得到较为全面的信息,还应该对所发论文进行综合分析。由表 1 可知,美国论文发表量最大,同时篇均被引高达 22.06 次。中国虽然发文量达到 1586 篇,排名第二,但是论文篇均被引频次仅有 8.55 次,篇均被引排在倒数第二位,仅高于伊朗。结果表明,我国在钻井液领域发文量大,但是论文质量参差不齐,高水平论文占比低,在钻井液领域综合科研水平与美国等发达国家差距十分明显。

表 1 钻井液领域发文量前 10 位的国家综合分析
Table 1 Overall analysis of the top 10 countries with the most publications in the field of drilling fluids

排名	国家	发文量/篇	占比/%	篇均被引频次
1	美国	1803	27.78	22.06
2	中国	1586	24.43	8.55
3	德国	549	8.46	23.97
4	加拿大	473	7.29	19.49
5	英国	328	5.05	24.23
6	法国	289	4.45	24.97
7	日本	288	4.44	18.53
8	伊朗	267	4.11	7.46
9	澳大利亚	265	4.08	19.13
10	挪威	238	3.67	13.83

2.1.4 h-index

h -index 又称 h 指数或 h 因子,代表着“高引用次数”,原始定义是指科研人员至多有 h 篇论文被引用 h 次以上。 h -index 能够体现科研工作者或科研机构的学术论文产出数量和产出水平, h -index 越大,说明学术论文的影响力越高。如图 3 所示,我国主要钻井液科研机构当中,中国科学院、中国石油大学和中国地质大学的 h -index 名列前茅,

分别达到 30、28 和 24,表明这 3 所科研机构在钻井液领域发表的论文数量较多,论文影响力较高。

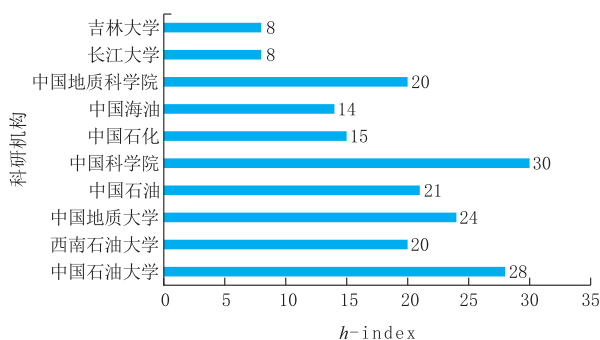


图 3 我国主要钻井液领域科研机构 h -index 对比

Fig.3 Comparison of h -index between major research institutions in the field of drilling fluids

2.2 研究热点分析

通过使用 Citespace 软件,以近 5 年的钻井液文献为数据样本进行关键词共现分析。关键词共现是指通过关键词与关键词之间的内在联系紧密程度,呈现出某一领域的研究热点问题^[18-19]。关键词聚类是指在共现基础上,关联性较强的关键词聚集在一起,形成同一个聚类,通常在关键词共现图谱中体现,由此便可观察出该学术领域研究热点的研究组成。如图 4 所示,钻井液研究主要分为 4 个聚类。

(1) 聚类 1: 钻井液 (Drilling fluid)。该聚类的关键词有流变性能 (Rheological property)、纳米颗粒 (Nanoparticle)、纳米流体 (Nanofluid) 等。这表明近年来,科研人员仍然主要聚焦于钻井液流变性能的研究,而且纳米材料因其优异的性能,成为钻井液研究的热点领域,科研成果不断增加。SAFARI 等

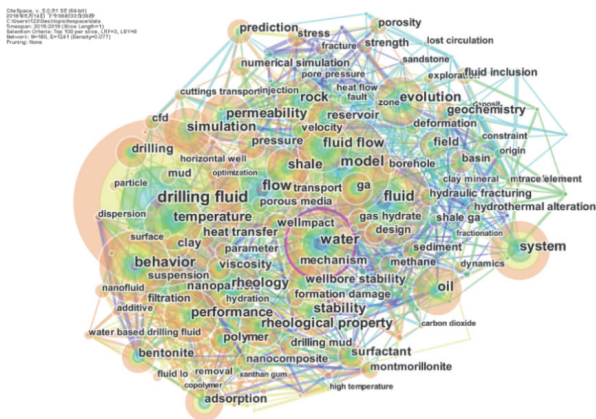


图4 近5年水基钻井液文献关键词共现

Fig.4 Co-occurrence of the key words in water-based drilling fluid literature for the past five years

合成了含铝、钛等元素的纳米硼酸盐颗粒作为钻井液的润滑剂,显著提高了钻井液的极压性能^[20]。CHANG 等研究了一种纳米木质素降滤失剂,经过 260 °C 热滚 16 h 后,其滤失量只有 8 mL,毒性低,具有良好的应用前景^[21]。JOHANNA 等设计了一种无膨润土水基钻井液,通过加入纳米抑制剂,控制滤失量和泥饼厚度来降低钻井液对地层的损害^[22]。

(2) 聚类 2: 天然气水合物(Gas hydrate)。该聚类的主要关键词有 Methane hydrate(甲烷水合物)、页岩气(Shale gas)、水力压裂(Hydraulic fracturing)、地震(Earthquake)等。天然气水合物被誉为可替代化石燃料的新世纪清洁能源,而且储量极大。随着环境问题日益严峻,天然气水合物被给予了更多的关注,成为了当前钻井液研究的热点方向之一。MOUMITA 等研究了一种二氧化硅纳米颗粒增强水基钻井液,具有良好的抑制水合物形成作用^[23]。

(3) 聚类 3: Xanthan gum(黄原胶)。该聚类中出现的关键词主要有 Copolymer(共聚物)、Water-based drilling fluids(水基钻井液)、High-temperature tolerance(耐高温性)等。黄原胶在钻井液中具有有良好的增粘性能和抗盐性能,作为生物聚合物可降解,不会对当地环境造成过度污染,因而也是钻井液当下的研究热点之一。REINOSO 等研究黄原胶在盐水中的流变性能,通过增加氯化物和甲酸盐不仅增加了钻井液粘度,还增强了钻井液高温剪切稀释作用^[24]。

(4) 聚类 4: Fluid(流体)。该聚类中出现的关键词主要有 Reservoir(油藏)、Porous media(多孔介质)、High pressure-high temperature(高温高压)、

Heat transfer(热转换)等。随着能源和地质勘探工程逐渐向地球深部迈进,钻井液的工作环境将会越来越恶劣,对钻井液性能要求越来越高。这也导致高温高压在钻井液论文中出现的频次越来越高。JIA 等研究了一种密度大于 1.8 g/cm³ 的无固相钾基磷酸盐钻井液,能够适应高温高压的钻井环境,且成本较低^[25]。

2.3 研究方向分析

由图 5 可知,在钻井液研究领域,能源燃料方向发文量最多,共 1565 篇,占比达到 24.11%,是钻井液研究最热门的领域。石油工程和地球科学及交叉科学分别排在第二、三位,化学工程发文量达到 774 篇,排在第 5 位。统计结果说明,科研人员主要集中于工程应用和能源燃料等专业领域的研究。图 6 是钻井液研究方向的共现可视化图。

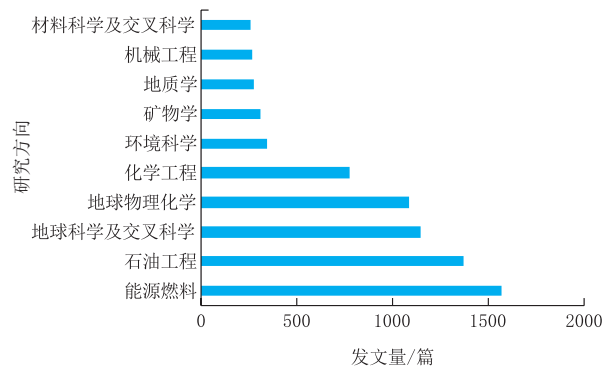


图5 钻井液领域排名前10的研究方向

Fig.5 Top 10 research interests in the field of drilling fluids

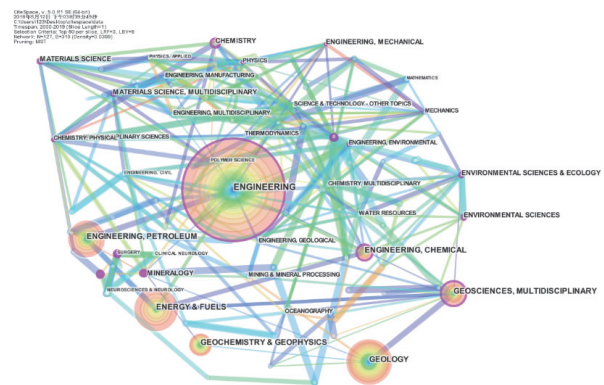


图6 钻井液近20年论文的研究方向共现可视化图

Fig.6 Visualized co-occurrence map of the research interests of the papers on drilling fluids for the past 20 years

2.4 研究机构分析

Web of Science 数据库显示的全球钻井液领域研究机构总共 4411 家。从表 2 中可知,发文量排在

前 10 位的研究机构里,中国和美国机构各占据 4 席,加拿大和德国各占 1 席。中国机构总共发表钻井液论文 1034 篇,中国在钻井液领域的研究热度相对较高,成果产出较大,但是篇均被引频次只有 10.14 次。美国 4 家机构的平均篇均被引达到 19.40 次。美国地质调查局和不来梅大学所发论文篇均被引更是超过 30 次,表明这两家机构的论文质量非常高,科研成果突出,值得研究钻井液的科研人员参考学习。图 7 是钻井液研究机构的合作可视化图,美国科研机构在国际上的合作相对较多,中国也应当加强与其它国家的科研合作及学术交流,提高在钻井液领域的科研水平。

表 2 发文量排名前 10 的研究机构

Table 2 Top 10 research institutions with the most publications

排名	机构名称	发文量/篇	占比/%	篇均被引频次	国家
1	中国石油大学	456	7.02	7.31	中国
2	西南石油大学	266	4.10	5.04	中国
3	中国地质大学	174	2.68	11.59	中国
4	中国科学院	133	2.05	16.70	中国
5	得克萨斯大学奥斯汀分校	117	1.80	14.09	美国
6	美国地质调查局	94	1.45	35.28	美国
7	得克萨斯 A & M 大学	90	1.39	16.14	美国
8	俄克拉何马大学	89	1.37	12.08	美国
9	阿尔伯塔大学	82	1.26	12.59	加拿大
10	不来梅大学	82	1.26	30.32	德国

《Journal of Natural Gas Science and Engineering》刊文数量为 157 篇,篇均被引达到 10.01 次。这 3 个期刊是钻井液领域发文最多的期刊,所收录文章的质量较高,是钻井液科研人员学习和分享当前科研进展的主要平台。

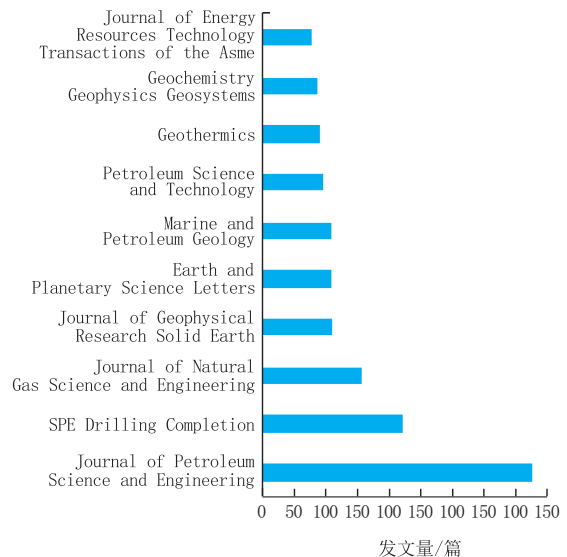


图 8 2000—2019 年钻井液论文量前 10 位的期刊

Fig.8 Top 10 journals with the most papers on drilling fluids from 2000 to 2019

2.6 中国在钻井液领域存在的问题

(1) 中国在钻井液领域的发文量多,研究机构也较多,其中中国石油大学、西南石油大学和中国地质大学是全球发文量最多的 3 个科研机构,但是篇均被引次数低,整体论文质量参差不齐,缺乏具有国际影响力的论文。

(2) 纳米材料等研究热点同样存在许多问题。例如,纳米材料因其具有改善钻井液流变性能、提高泥饼致密性和热稳定性等作用,但是纳米材料的使用成本高昂,容易产生团聚等问题,导致纳米技术难以从实验室研究投入到工程应用。

(3) 与美国等发达国家相比,中国在钻井液领域缺乏具有国际影响力的期刊,我国应当加强相关的期刊建设,吸引高水平论文,提升我国的国际影响力。

(4) 通过研究机构的可视化图发现,我国钻井液领域的科研机构与国外机构的学术交流合作不足,这可能是导致我国的钻井液科研成果在国际上影响力不足的原因之一。



图 7 全球钻井液领域研究机构合作可视化图

Fig.7 Visualized map of co-operation between the research institutions in the field of drilling fluids in the world

2.5 出版来源分析

从图 8 中可以看出,期刊《Journal of Petroleum Science and Engineering》刊文最多,达到 426 篇,篇均被引次数为 13.20 次,前两项数据都远远领先于其他期刊。期刊《SPE Drilling Completion》刊文数量为 221 篇,篇均被引次数达到了 6.01 次。期刊

3 结论

本文基于文献计量分析方法,对 Web of Science 数据库近 20 年钻井液文章进行统计分析。梳理 6490 篇文献中发文国家、关键词、研究机构、出版来源、引用频次、 h -index 等信息,采用 Citespace 软件,对相关信息进行可视化分析,并且研究诸多信息内在联系强度。研究结果表明:

(1)近 20 年钻井液年发文量保持着增长的态势,特别是 2012—2019 年,年发文量快速增长,这反映了科研人员对于钻井液科研热情不断提高。分析发现,美国科研机构在钻井液领域发文量达到 1803 篇, h -index 达到 85,篇均被引频次达到 22.06 次,表明美国综合科研实力强,所发表论文质量高,在国际上具有很高的影响力。

(2)通过关键词共现分析得知,流变性能、纳米材料、天然气水合物和生物可降解材料是当前钻井液领域的主要研究热点。能源燃料和工程应用是钻井液最主要的研究领域。中国石油大学是钻井液发文最多的科研机构。《Journal of Petroleum Science and Engineering》、《SPE Drilling Completion》和《Journal of Natural Gas Science and Engineering》是钻井液领域刊文最多的期刊,其中《Journal of Petroleum Science and Engineering》发文量几乎是第二名期刊的 2 倍,篇均被引频次达到 13.20 次,表明该期刊在钻井液领域具有最强的影响力,是相关学者收集和分享最新最前沿研究信息的主要平台。

(3)中国在钻井液领域的科研机构相对较多,总发文量达到 1586 篇,排名全球第二。但是论文篇均被引频次、 h -index 分别只有 8.55 和 47,这表明中国的科研实力与发达国家存在非常大的差距,中国学者整体学术水平偏低,在国际上的科研影响力不足。科研机构和基金组织应该鼓励开展钻井液基础研究,同时,科研人员应注重提升自身科研水平,加强与国外高水平学者的学术交流,逐步增加我国在钻井液领域的科研实力和国际影响力。

参考文献(References):

- [1] 黄汉仁,等.钻井流体工艺原理[M].北京:石油工业出版社,2016.
HUANG Hanren, et al. Principles of drilling fluid technology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2016.
- [2] 刘晓栋,朱红卫,高永会.海洋超高温高压井钻井液设计与测试方法及国外钻井液新技术[J].石油钻采工艺,2014,36(5):47

—52.

LIU Xiaodong, ZHU Hongwei, GAO Yonghui. Drilling fluid design and test method for offshore ultra-HTHP wells and new drilling fluid technology abroad[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2014,36(5):47—52.

- [3] 赵欣,邱正松,高永会,等.缅甸西海岸深水气田水基钻井液优化设计[J].石油钻探技术,2015,43(4):13—18.
ZHAO Xin, QIU Zhengsong, GAO Yonghui, et al. Design optimization for water-based drilling fluids in a deepwater gas field on the western coast of Myanmar[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2015,43(4):13—18.
- [4] 田乐,袁辉.大海则煤矿倾斜冻结钻孔施工钻井液配方设计[J].煤炭技术,2016(3):35—37.
TIAN Le, YUAN Hui. Formulation design of drilling fluid for inclined shaft freezing in Dahaize Coal Mine[J]. Coal Technology, 2016(3):35—37.
- [5] 王璞珺,刘海波,任延广,等.松辽盆地白垩系大陆科学钻探“松科 2 井”选址[J].地学前缘,2017,24(1):216—228.
WANG Pujun, LIU Haibo, REN Yanguang, et al. How to choose a right drilling site for the ICDP Cretaceous Continental Scientific Drilling in the Songliao Basin (SK2), Northeast China[J]. Earth Science Frontiers, 2017,24(1):216—228.
- [6] 郑文龙,乌效鸣,朱永宜,等.松科 2 井特殊钻进工艺下钻井液技术[J].石油钻采工艺,2015,37(3):32—35.
ZHENG Wenlong, WU Xiaoming, ZHU Yongyi, et al. Drilling fluid technique for special drilling technology in SK-2 Well [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2015,37(3):32—35.
- [7] 许洁,乌效鸣,王稳石,等.松科 2 井抗超高温钻井液技术[J].钻井液与完井液,2018,35(2):29—34.
XU Jie, WU Xiaoming, WANG Wenshi, et al. Ultra-high temperature drilling fluid technology of well Songke-2 [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2018,35(2):29—34.
- [8] 李韶利,宋韶光.松科 2 井超高温水泥浆固井技术[J].钻井液与完井液,2018,35(2):92—97.
LI Shaoli, SONG Shaoguang. Cementing technology for ultra-high temperature well Songke-2 [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2018,35(2):92—97.
- [9] 单文军,陶士先,蒋睿,等.干热岩用耐高温钻井液关键技术及进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(10):52—56.
SHAN Wenjun, TAO Shixian, JIANG Rui, et al. Key technology and progress in high temperature resistant drilling fluid for hot dry rock [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(10):52—56.
- [10] 王文,吴纪修,施山山,等.探秘“能源新星”——干热岩[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(3):88—93.
WANG Wen, WU Jixiu, SHI Shanshan, et al. Probe a new energy—hot dry rock [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(3):88—93.
- [11] 冉恒谦,冯起赠.我国干热岩勘查的有关技术问题[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(10):17—21.
RAN Hengqian, FENG Qizeng. Some technical issues on hot dry rock exploration in China [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(10):17—21.
- [12] 蒋官澄,张峰,吴江,等.低密度无固相海水钻井液在南海西部

- D 气田的应用[J]. 钻井液与完井液, 2018, 35(5): 61-66.
- JIANG Guancheng, ZHANG Feng, WU Jiang, et al. Application of low density solids-free seawater drilling fluid in D gas field in western South China sea[J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2018, 35(5): 61-66.
- [13] 邱正松, 张玉彬, 赵欣, 等. 海洋天然气水合物地层钻井液优化实验研究[J]. 天然气工业, 2019, 39(12): 104-109.
- QIU Zhengsong, ZHANG Yubin, ZHAO Xin, et al. An experimental study on the optimization of drilling fluid in offshore gas hydrate formations[J]. *Natural Gas Industry*, 2019, 39(12): 104-109.
- [14] 单文军, 呼和满都拉, 陶士先, 等. 高温海水钻井液现状及关键技术研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(5): 13-18.
- SHAN Wenjun, HUHE Mandula, TAO Shixian, et al. Research on status and key technologies of high-temperature seawater drilling fluids[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2019, 46(5): 13-18.
- [15] 付帆, 熊正强, 陶士先, 等. 天然气水合物钻井液研究进展[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(10): 71-76.
- FU Fan, XIONG Zhengqiang, TAO Shixian, et al. Research progress in drilling fluid for natural gas hydrate[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2018, 45(10): 71-76.
- [16] 郭静芸, 关静. 基于 Web of Science 数据库的地质工程研究文献计量分析[J]. 工程地质学报, 2018, 26(5): 1397-1407.
- GUO Jingyun, GUAN Jing. Global research output in geological engineering: A bibliometric analysis of Web of Science publications[J]. *Journal of Engineering Geology*, 2018, 26(5): 1397-1407.
- [17] 赵怡然, 高湘昀. 战略性钴资源研究态势分析及展望——基于科学文献计量视角[J]. 资源与产业, 2020(1): 41-51.
- ZHAO Yiran, GAO Xiangyun. Research advances and outlook of strategic cobalt resource based on references study[J]. *Resources & Industries*, 2020(1): 41-51.
- [18] CHEN C. Science mapping: a systematic of the literature[J]. *Journal of Data and Information Science*, 2017, 2(2): 1-40.
- [19] 许振亮, 刘喜美, 刘冬潇. 科学知识图谱视角下国际稀土研究态势分析[J]. 资源与产业, 2016, 18(5): 62-70.
- XU Zhenliang, LIU Ximei, LIU Dongxiao. Global research situation of REE viewing from scientific knowledge atlas[J]. *Resources & Industries*, 2016, 18(5): 62-70.
- [20] SAFFARI M, Soltani R, Alaei M, et al. Tribological properties of water-based drilling fluids with borate nanoparticles as lubricant additives (Article)[J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2018, 171: 253-259.
- [21] CHANG X, SUN J, XU Z, et al. A novel nano-lignin-based amphoteric copolymer as fluid-loss reducer in water-based drilling fluids[J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2019, 583: 123979.
- [22] JOHANNA Clavijo, LEIDY Roldán, LAURA Valencia, et al. Influence of size and surface acidity of silica nanoparticles on inhibition of the formation damage by bentonite-free water-based drilling fluids. Part I: nanofluid design based on fluid-nanoparticle interaction[J]. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 2019, 10(4): 045020.
- [23] MOUMITA Maiti, RAVI Ranjan, EKTA Chaturvedi, et al. Formulation and characterization of water-based drilling fluids for gas hydrate reservoirs with efficient inhibition properties[J]. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 2019, DOI: 10.1080/01932691.2019.1680380.
- [24] REINOSO D, MARTÍN-ALFONSO MJ, LUCKHAM PF, et al. Rheological characterisation of xanthan gum in brine solutions at high temperature [J]. *Carbohydrate polymers*, 2019, 203: 103-109.
- [25] JIA Hu, HU Yaoxi, ZHAO Shanjie, et al. The feasibility for potassium-based phosphate brines to serve as high-density solid-free well-completion fluids in high-temperature/high-pressure formations[J]. *SPE Journal*, 2019, 24(5): 2033-2046.

(编辑 王建华)