

基于专利数据的深层油气藏改造与开发技术发展趋势研究^①

周肖贝^{②*} 李维波^{**} 张 敏^{*}

(^{*} 中国科学技术信息研究所 北京 100038)
(^{**} 北大科技园 北京 100080)

摘 要 以德温特创新索引(DII)专利数据库中收录的与深层油气藏改造与开发技术相关专利进行计量分析,对深层油气藏改造与开发技术的发展趋势、区域分布、重点技术领域和主要申请机构的专利战略布局等多方面进行探讨。研究发现,美国和中国是深层油气藏改造与开发最主要的技术来源国和目标市场,主要技术方向集中于驱油技术、旋转导向钻井、聚合物在油气生产中的应用和压裂技术,后期的旋转导向钻井和压裂技术引领油气行业的第4次技术革命;主要申请机构为大型油气公司或油服公司,国外企业较注重专利的全球布局,国内企业反之;最后提出相关建议,为提升中国在该领域的核心竞争力提供决策支撑。

关键词 油气藏改造,德温特,专利分析,旋转导向钻井

0 引 言

经过长达百年的开采,全球中浅层油气勘探开发程度不断提高,近地表矿床发现率快速下降,全球深层油气的新增储量呈明显增长趋势,深层油气勘探开发越来越被广泛关注,深地资源成为我国经济社会可持续发展的战略资源保障^[1]。我国能源安全形势严峻,2017 年我国石油和天然气对外依存度分别达到 67.4% 和 39%^[2],迈向深地资源是保障我国经济社会可持续发展和能源安全的战略举措。国家“十三五”规划,明确提出发展深地极地关键技术,加大勘探力度,提升资源战略安全储备,构建深地资源保障供应的资源可持续发展模式。深层油气藏一般埋藏较深,具高温高压、低孔低渗、非均质性强等特征^[3],对储集层改造的技术难度更高,所需开采周期更长,成本更高,然而,随着我国向深层勘探开发的需求增大,对深层油气藏进行安全经济

高效的增产改造与开发十分有必要^[4]。

深层油气藏改造与开发技术主要涉及深层(高温压)油气层改造与开采技术,如深层储层精细描述、油气藏建模技术、超深高温压油气藏开发技术、深层驱替技术、提高采收率技术、提高改造体积技术、耐高温系列暂堵材料研发、深层裂缝型储层堵水体系及多轮次注入工艺、油井深抽优化设计技术及工况诊断软件、深层碳酸盐岩储层有效性评价及预测技术、深层储层改造等^[5]。

1 数据来源与分析方法

德温特创新索引数据库收录了来自全球 40 多个专利出版机构(涵盖 100 多个国家)的超过 1 800 万条基本发明专利,3 890 多万条专利情报,数据回溯到 1963 年,是目前全球最权威的专利文献数据库。

本研究从深层油气藏改造与开发技术角度出

^① 中国博士后科学基金(2016M601098)和青海省科技计划(2018-ZJ-614)资助项目。

^② 女,1989 年生,博士;研究方向:重点科技领域监测与分析;联系人,E-mail: zhouxib@ istic. ac. cn
(收稿日期:2019-01-10)

发,通过对德温特创新索引专利数据库中收录的与之相关的专利数据进行检索分析,利用 Thomson Data Analyzer (TDA) 分析软件对数据进行清洗和分析,探讨深层油气藏改造与开发技术的发展趋势、区域分布、重点技术领域和主要申请机构的专利战略布局等内容。专利检索截止时间为 2018 年 10 月 31 日,合并去重后最终得到专利数量为 3 557 件。

由于专利申请到公开有 18 个月的滞后期,且德温特数据库录入数据信息也有一定延误,故 2016 – 2018 年数据仅供参考。

2 深层油气藏改造与开发专利技术发展趋势分析

2.1 技术发展趋势

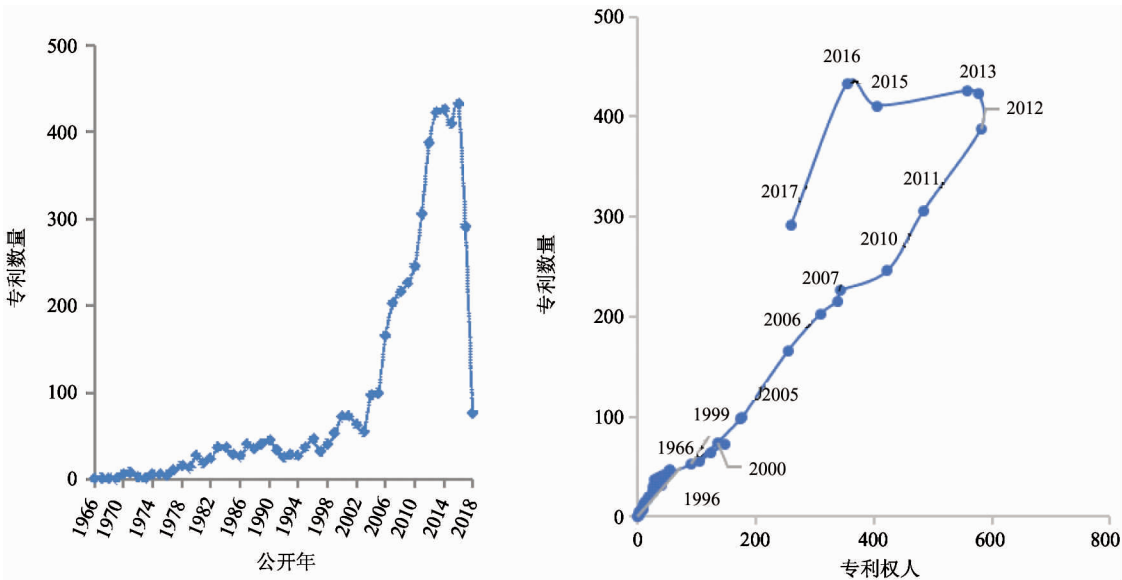


图 1 技术发展趋势(左)与技术生命周期(右)

2.2 区域分布

从主要国家竞争态势来看(图 2),深层油气藏改造与开发技术专利主要分布在美国、中国、俄罗斯、加拿大等国家。主要技术来源国专利年申请量总体呈上升态势。

美国对深层油气藏改造与开发技术的研发一直占有领先优势,2000 年之前,相比其他国家每年零散的专利成果产出特点,美国专利数量相对较多且稳定,一直进行持续的研发活动,具有不断累积的技

术优势;2003 年以后,美国加大技术研发力度,专利数量快速增长,于 2013 年达到峰值,随后有所下降。中国起步较晚,2008 年以来专利申请数量保持快速增长,进入 21 世纪以来伴随着勘探理论和工程技术的巨大进步,我国在四川盆地、塔里木盆地、鄂尔多斯盆地、准噶尔盆地、松辽盆地等多地的深层碳酸盐岩、碎屑岩或火山岩等油气勘探均有重大突破^[6,7],2017 年专利数量仅次于美国,具备一定的技术积累与研发优势。

加拿大早期专利数量一直较少,至 2003 年专利数量大幅度增长,2013 年达到峰值,后期与美国趋

势相一致。

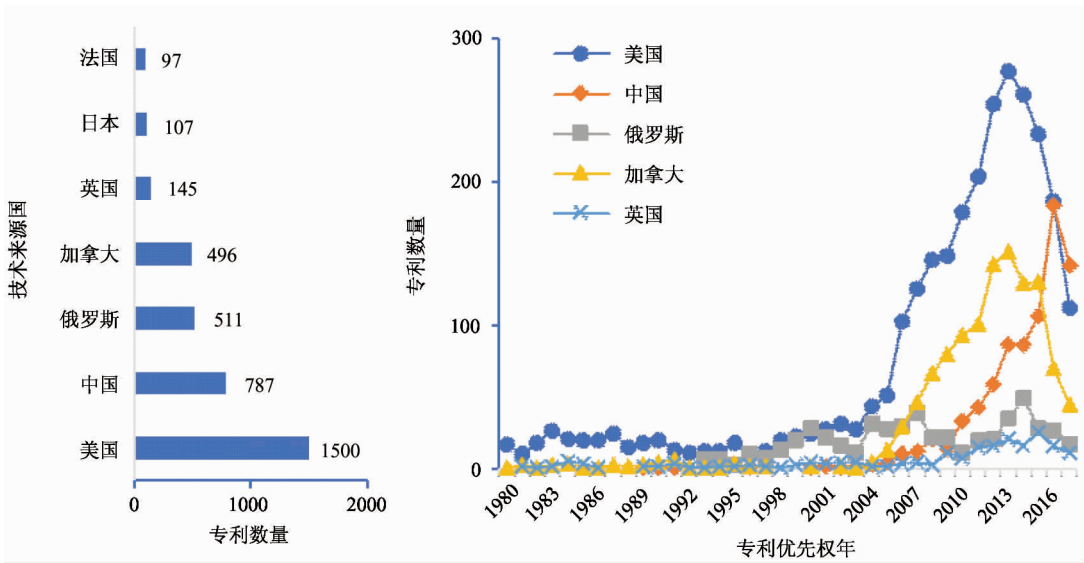


图 2 技术来源国(左)及年度趋势分布(右)

从主要目标市场来看(图 3),深层油气藏改造与开发技术以美国、中国、世界知识产权组织和加拿大等为主,在各个主要市场布局的发展趋势几乎同步。2000 年以前,技术发展缓慢,各个目标市场的专利申请量表现持续且稳定,美国较为突出;2003

年以后,各目标市场的专利数量均快速增长,美国的专利数量领先于其他市场,世界知识产权组织、加拿大紧随其后,均于 2013 年左右达到专利数量的峰值。中国市场成长起步较晚,2016 年专利数量达到峰值。

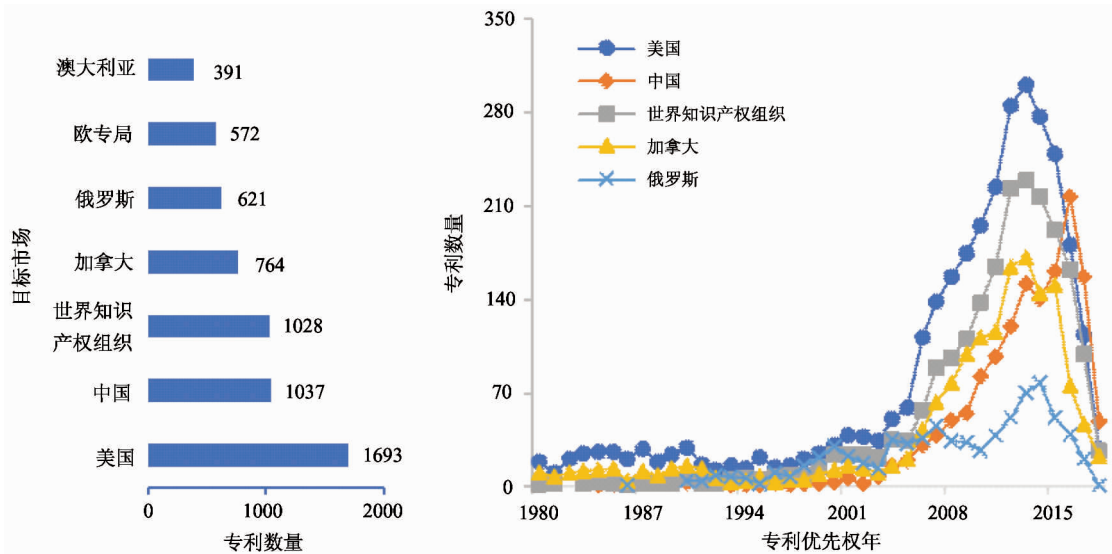


图 3 目标市场(左)及年度趋势分布(右)

2.3 重点技术领域分析

(1) 专利申请在 IPC 大/小组的分布情况
国际专利分类 (IPC) 是一种国际公认的分类

系统,由世界知识产权组织 (WIPO) 控制并由专利局分配给专利文献。基于国际专利分类号 IPC 大/小组梳理深层油气藏改造与开发技术专利的主要技

术方向(图4),占比最高的是有关烃增强回收方法(E21B-043/16)的专利,共396件,远高于其他技术方向,施引专利数量最多的为贝克休斯公司在1998年申请的“一种用于斜井孔获得均衡产量的方法”(GB2325949-B);其次是热利用(E21B-043/24)专利、化学品或细菌活性利用(E21B-043/22)专利、井中收集产物方法(E21B-043/00)专利等,也是深层油气藏改造与开发技术的研究重点。

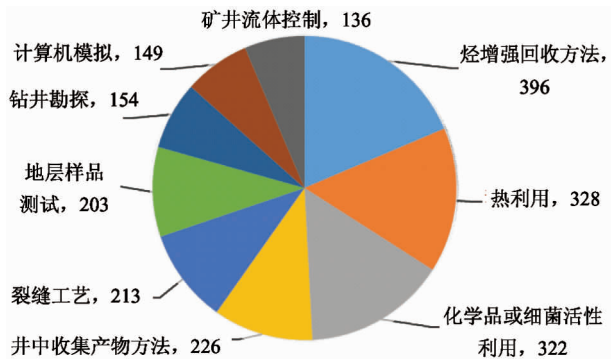


图4 深层油气藏改造与开发技术专利前10位IPC大/小组

(2) 专利申请在德温特手工代码的分布情况
德温特专利数据库的特色之一是对每条专利由德温特的标引人员标定德温特手工代码(Derwent Manual Code),用于表示某项发明的技术创新点及其应用的技术领域^[8]。相比IPC分类代码,德温特手工代码能更为具体和准确地表述专利的技术特征。

从德温特手工代码看深层油气藏改造与开发主要技术方向(表1),驱油技术(H01-D06)和旋转导向钻井(H01-B03)占比最高,其次为聚合物在油气生产中的应用(A12-W10)、压裂(H01-C03),测试、控制操作和设备(H01-D12)以及热采(H01-D08)等。其中,驱油技术如水驱、盐驱、蒸汽驱、CO₂驱、聚驱及碱水驱等,旋转导向钻井非常适合开发特殊油藏的超深井、水平井、大位移井、高难度定向井等^[9],压裂如水力压裂、CO₂压裂等^[10],这些技术对于深层油气藏进行安全、经济及高效的改造与开发、提高油气采收率具有重大意义^[11]。

表1 深层油气藏改造与开发技术专利的前6位德温特手工代码

序号	德温特手工代码	专利数量(件)	技术方向
1	H01-D06	555	驱油技术
2	H01-B03	511	旋转导向钻井
3	A12-W10	467	聚合物在油气生产中的应用
4	H01-C03	356	压裂
5	H01-D12	251	测试、控制操作和设备
6	H01-D08	237	热采

结合这些主要技术的年度专利分布来看(图5),驱油技术、聚合物在油气生产中的应用等技术一直处于研发状态,早期为研发重点方向。旋转导向钻井技术和压裂技术的开发相对较晚,但自2002年起增长迅速,2012-2016年专利数量相对稳定,旋转导向钻井是20世纪90年代初期发展起来的新技术^[12],在2016年达到专利数量高峰,而压裂技术自2013年达到高峰后开始呈下降趋势,这与自2014年开始石油价格长期处于低谷期有直接的关联,这两项技术同其他技术一起引导了石油工业史上的第4次技术革命^[13]。

基于这些主要技术方向来看其在技术来源国的分布情况(图6),美国相关专利数量均较高,中国和加拿大次之。世界知识产权组织申请的PCT(Patent Cooperation Treaty)国际专利在这些主要技术方向上以旋转导向钻井和压裂专利为主。

2.4 主要申请机构专利战略布局

从主要申请机构来看(图7),深层油气藏改造与开发技术领域专利前10位专利权人以企业为主,如斯伦贝谢公司(Schlumberger)、中国石油天然气集团公司(下称“中石油”)、中国石化集团公司(下称“中石化”)、哈里伯顿公司(Halliburton)和埃克森

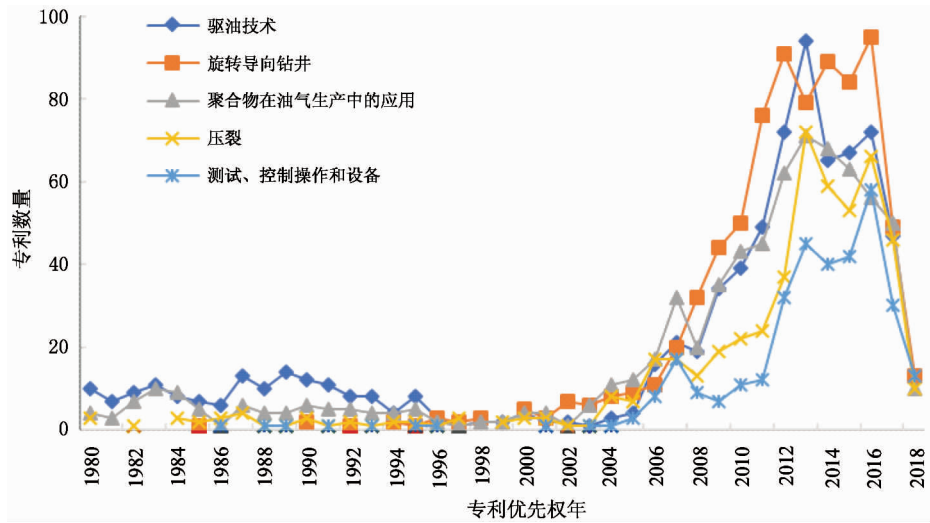


图 5 深层油气藏改造与开发技术专利主要德温特手工代码年度趋势

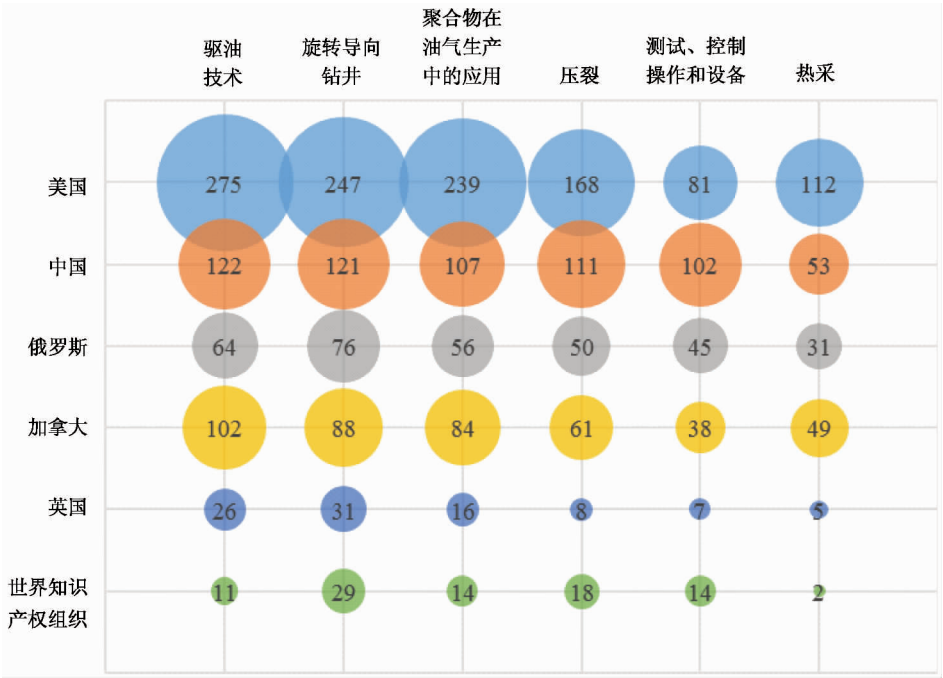


图 6 深层油气藏改造与开发主要技术来源国德温特手工代码技术分布
(图中气泡大小及数字代表专利产出数量)

美孚公司 (Exxon Mobil) 等, 科研院校仅有 1 所, 为中国石油大学 (专利数据包括中国石油大学 (北京) 和中国石油大学 (华东))。斯伦贝谢和哈里伯顿是全球有名的油田服务公司, 总部均位于美国德州休斯顿; 中石油、中石化、埃克森美孚、雪佛龙及壳牌是全球著名的石油公司。

从前 5 名主要机构的专利申请趋势来看, 早期仅埃克森美孚和哈里伯顿公司进行相关研发, 并申

请专利保护。进入 21 世纪后这些机构的专利数量快速增长, 斯伦贝谢公司和埃克森美孚公司的专利数量分别在 2007 年和 2011 年达到峰值, 中石油、中石化及哈里伯顿公司相对增长滞后, 其专利数量在 2015 - 2016 年达到峰值。

对主要申请机构的专利申请区域 (图 8) 进行分析, 斯伦贝谢、哈里伯顿、埃克森美孚、普拉德和雪佛龙等公司的专利布局广泛, 涉及美国、中国、加拿大、

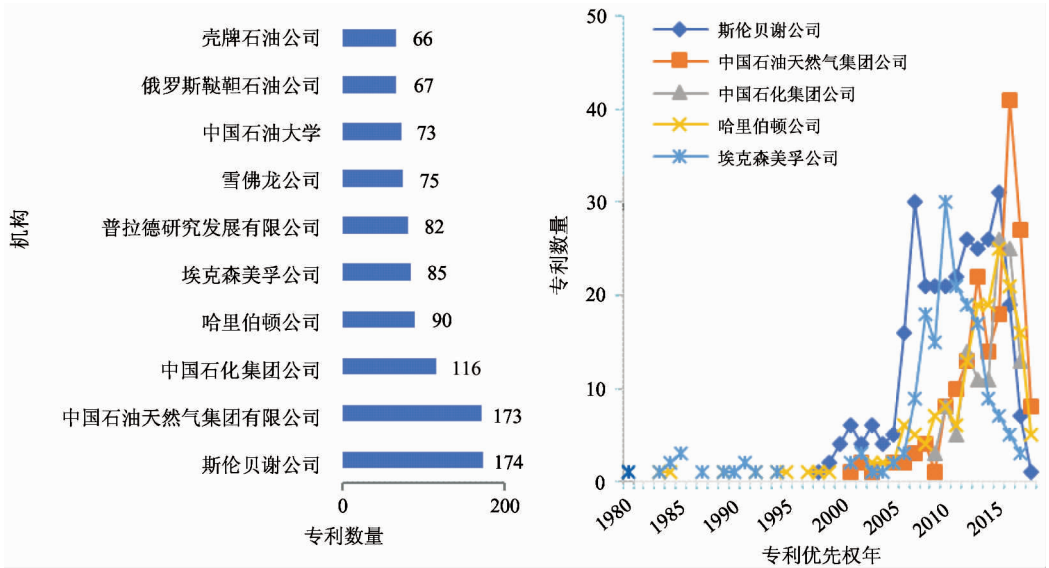


图7 主要机构分布(左)及年度趋势(右)

英国、世界知识产权组织等,国际市场占有度高,具有较强的市场竞争关系,但在中国和俄罗斯专利数量相对较少,其中哈里伯顿在世界知识产权组织申请的PCT国际专利最高,专利技术和经济价值较

高,更注重对知识产权的国际市场进行保护。中石油、中石化及中国石油大学的专利申请主要在国内,海外拓展有待加强。

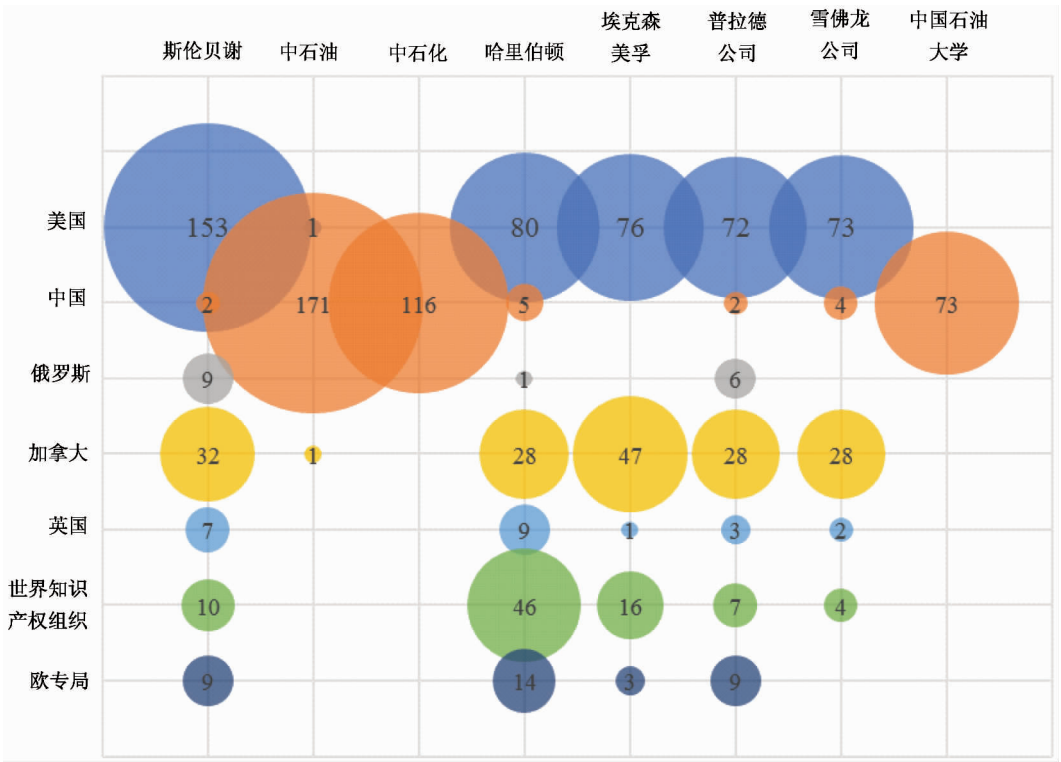


图8 主要机构专利申请区域分析(图中气泡大小及数字代表专利产出数量)

从IPC大/小组分类来看深层油气藏改造与开发技术主要机构专利的技术方向(图9),各个公司

的技术方向差异明显。斯伦贝谢、哈里伯顿、埃克森美孚几家公司在井中收集产物方法、裂缝工艺、地层

样品测试和计算机模拟等几个方面具有技术优势，专利数量较多。中石油、中石化等几家公司在烃增强回收方法、热利用、化学品或细菌活性利用 3 个技

术方向具有优势，在井中收集产物方法、计算机模拟等方向弱势较为明显。

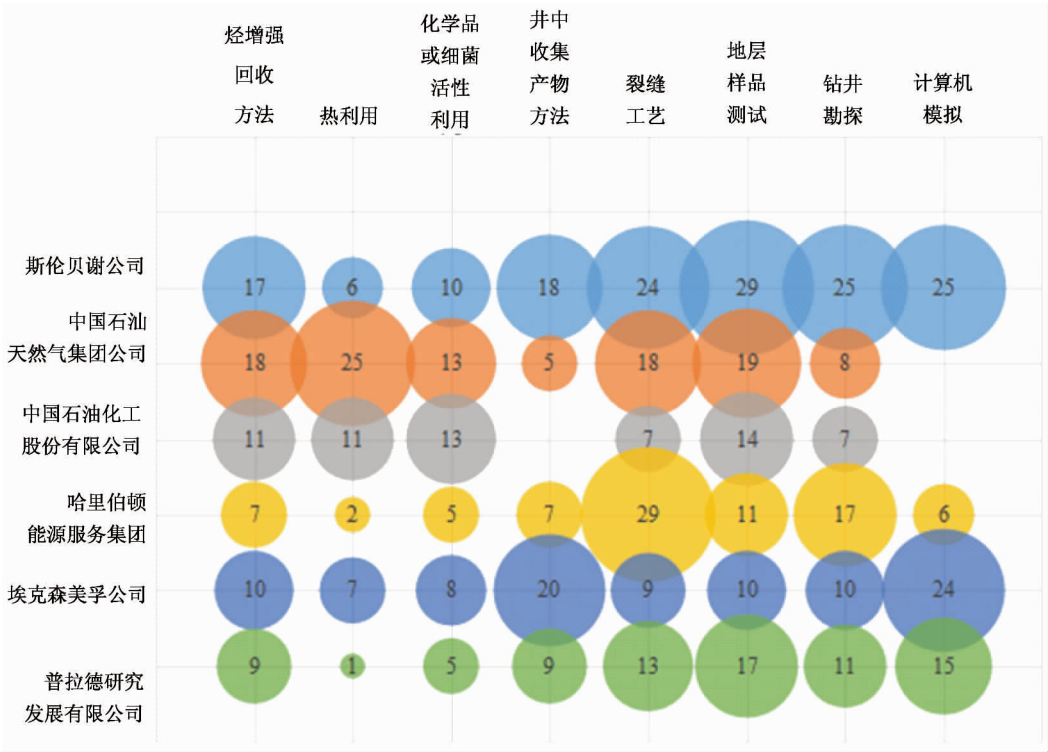


图 9 主要机构 IPC 大/小组技术方向分析 (图中气泡大小及数字代表专利产出数量)

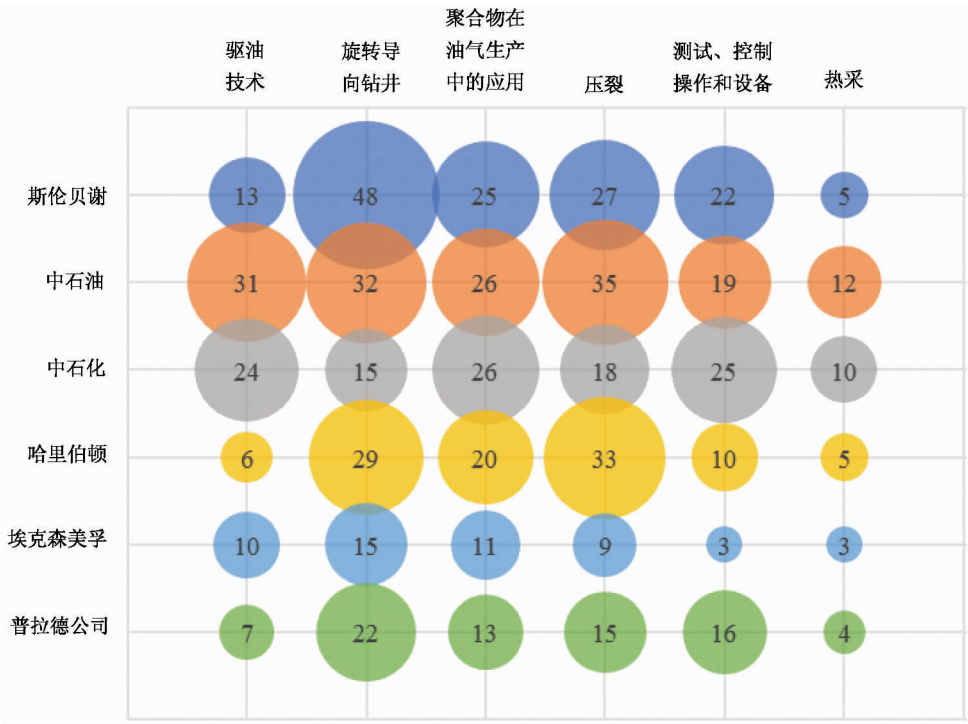


图 10 主要机构 MC 主要技术方向分析 (图中气泡大小及数字代表专利产出数量)

从德温特手工代码看主要机构的技术方向(图10),斯伦贝谢在旋转导向钻井、压裂等方向具有较高的专利数量,中石油、中石化和哈里伯顿公司的研发重点也主要集中于这几个技术方向,但同时中石油和中石化在驱油技术和热采等方面表现比较突出。

同时需要指出,从这些分析中可以看到美国斯伦贝谢和哈里伯顿公司这两大世界油服巨头在主要技术方向上的专利数量均占一定比例的优势,而且PCT专利数量相对较高。中美贸易战自2018年开始以来至今不断升级,现今美国已针对威胁国家安全“实体名单”中的机构开展各种动作,如已禁止美国企业向华为出售产品。虽然当前名单中尚无油气类行业,但斯伦贝谢和哈里伯顿两大巨头在技术上占有很大的优势,我国也需及早加强各种防备措施,提前做好贸易战背景下油气行业的应对工作。

3 结论

通过对深层油气藏改造与开发技术领域的专利进行分析,发现:

(1)从技术发展趋势看,深层油气藏改造与开发技术领域专利数量总体呈上升趋势,目前正处于快速增长向相对成熟阶段的过渡阶段。

(2)从区域分布看,美国和中国是深层油气藏改造与开发最主要的技术来源国和目标市场,美国研发具持续性,中国具有一定的后发优势。

(3)从重点技术领域分布来看,深层油气藏改造与开发技术主要集中于驱油技术、旋转导向钻井、聚合物在油气生产中的应用和压裂技术。早期重点研发方向为驱油技术和聚合物应用,后期为旋转导向钻井和压裂技术,引领油气行业的第4次技术革命。

(4)从主要机构布局来看,深层油气藏改造与开发技术领域前10位以大型油气公司或油服公司为主,如斯伦贝谢、中石油、中石化、哈里伯顿、埃克森美孚等,仅有中国石油大学1所科研院校。国外企业较为注重专利的全球布局,国内企业主要在国内申请专利布局。

从IPC大/小组看主要机构的技术方向,不同企业差异明显。国外企业斯伦贝谢、哈里伯顿、埃克森美孚等公司在井中收集产物方法、裂缝工艺、地层样品测试和计算机模拟等几个方面具有技术优势。国内企业中石油和中石化在炔增强回收方法、热利用、化学品或细菌活性利用3个技术方向表现突出,但在计算机模拟和井中收集产物方法两个技术方向上与国外差距较大。

从德温特手工代码看主要机构的技术方向,斯伦贝谢公司、中石油、中石化和哈里伯顿公司研发重点主要集中于旋转导向钻井、压裂等,同时中石油和中石化在驱油技术和热采等方面表现比较突出。

基于上述分析,本文提出以下几点建议:

一是加大国家对深部油气资源勘探开发的政策激励,吸引外资、鼓励私人资本进入国家深层油气勘探开发领域,促使国内石油公司在低油价情景下不断开展管理和技术创新。

二是加强对人工智能、大数据等新技术在深层油气藏改造与开发过程中的利用,重视一体化软件的研发。当前,全球能源加速向低碳化转型,但未来20~30年化石能源仍将处于主体地位,以智能化为代表的第5代油气技术革命已拉开序幕,深层油气藏勘探与开发技术必须依赖于技术创新。

三是加大对国内企业深层油气藏改造与开发技术国际市场的专利布局,提高我国相关技术研发能力、专利市场价值和技术价值,增强通过国际专利的申请保护其在全球范围内的市场和利益的意识。

四是加快关键技术装备的国产化及国内自主创新能力,做好技术储备,积极应对当前中美贸易战背景下可能出现的问题,避免被斯伦贝谢、哈里伯顿等重要油服公司的关键技术卡脖子。

致谢:本研究成果是中国地质调查局地质调查项目资助的一部分,在此对其表示感谢!

参考文献

- [1] 胡文瑞,鲍敬伟. 石油行业发展趋势及中国对策研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2018, 42(04): 6-15
- [2] 钱兴坤,刘朝全,姜学峰,等. 价格企稳回升行业全面回

暖——2017 年国内外油气行业发展概述及 2018 年展望[J]. 国际石油经济,2018,26(1):32-38

[3] 熊春明,石阳,周福建,等. 深层油气藏暂堵转向高效改造增产技术及应用[J]. 石油勘探与开发,2018,45(5):888-893

[4] 郭晓霞,李万平,杨金华. 深层超深层高温高压钻井技术进展[C]. 见:中国油气论坛塔里木盆地油气勘探开发技术专题研讨会,中国石油经济技术研究院,2013. 218-223

[5] 姚根顺,伍贤柱,孙赞东,等. 中国陆上深层油气勘探开发关键技术现状及展望[J]. 天然气地球科学,2017,28(08):1154-1164

[6] 魏国齐,李君,余源琦,等. 中国大型气田的分布规律及下一步勘探方向[J]. 天然气工业,2018,38(4):12-25

[7] 冯佳睿,高志勇,崔京钢,等. 深层、超深层碎屑岩储层

勘探现状与研究进展[J]. 地球科学进展,2016,31(7):718-736

[8] 沈君,高继平,滕立. 德温特手工代码共现法:一种实用的专利地图法[J]. 科学学与科学技术管理,2012,33(1):12-16

[9] 陈任明,卢波. 浅析适合旋转导向的 PDC 钻头开发[J]. 江汉石油科技,2011(3):67-70

[10] 雷群,管保山,才博,等. 储集层改造技术进展及发展方向[J]. 石油勘探与开发,2019,46(3):1-8

[11] 陈晨,朱颖,翟梁皓,等. 超临界二氧化碳压裂技术研究进展[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(10):29-34

[12] 甘正兵. 旋转导向钻井技术现状及发展趋势[J]. 中国科技博览,2012(17):342-342

[13] 石林,汪海阁,纪国栋. 中石油钻井工程技术现状、挑战及发展趋势[J]. 天然气工业,2013,33(10):1-10

Research on the deep reservoir stimulation and development technology based on patent analysis

Zhou Xiaobei *, Li Weibo **, Zhang Min *

(* Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038)

(** Peking University Science Park , Beijing 100080)

Abstract

Based on the Derwent Innovation Index (DII) patent data related to deep reservoir stimulation and development technologies, the development status of deep reservoir stimulation and development is discussed from the perspective of development trends, regional distribution, technical field and patent strategy layout of major organizations. The study concludes that the United States and China are the main source countries and target markets of deep reservoir stimulation and development technologies. The technical direction is mainly focused on the oil displacement technology, rotary steering drilling, polymer application in oil and gas production and fracturing technology. Rotary steering drilling and fracturing technology lead the fourth technological revolution in the oil and gas industry; the main institutions applying for patents in this field are large oil and gas companies or oil service companies, and foreign companies pay more attention to the global layout of patents while domestic enterprises do contrarily. Finally, relevant suggestions are put forward to provide decision-making basis for enhancing China's core competitiveness in this field.

Key words: reservoir stimulation, Derwent, patent analysis, rotary steering drilling