

大数据背景下基于 LNPS 专利分析的国内外页岩压裂技术进展

陆桃妹*, 唐弟官, 张芹

中国石油大学(北京)图书馆, 北京 102249

* 通信作者, lutm2016@cup.edu.cn

收稿日期: 2018-09-07

中国石油大学(北京)研究生教育质量与创新工程(yjs2016044)资助

摘要 页岩气开发主要依靠长水平井钻井技术和大规模压裂开采技术, 随着页岩气革命的进行, 压裂技术的发展尤为为重要。而专利是技术或产品的科技价值和商业价值的综合载体, 随着大数据时代的到来, 将大数据分析技术应用到专利分析领域, 可更高效地从海量数据集中提取挖掘高价值信息, 从而更及时高效地分析科技最新发展趋势和相关产业动态。本文利用专利数据分析工具, 对全球页岩压裂领域专利进行了搜集整理、定量分析、定性调研和专家咨询, 从发展趋势、技术地域分布、专利类别、专利权人等多角度揭示了全球页岩压裂领域技术专利态势, 从而为国内页岩压裂技术的研发提供参考。

关键词 大数据; 页岩; 压裂; 专利; 分析

Progress of shale fracturing technology at home and abroad based on LNPS patent analysis under the background of big data

LU Taomei, TANG Diguan, ZHANG Qing

Library, China University of Petroleum-Beijing, Beijing102249, China

Abstract Shale gas development mainly depends on long horizontal well drilling technology and large-scale fracturing technology. With the shale gas revolution, the development of fracturing technology is particularly important. Patents are the comprehensive carriers of technological and commercial value of technology or products. With the advent of the era of big data, the application of big data analysis technology to the field of patent analysis can extract and mine high-value information from massive data sets more efficiently, thus analyzing the latest technological trends and related industry dynamics more quickly and efficiently. This paper uses patent data analysis tools to collect, collate, quantify, and conduct expert research on global shale fracturing patents. It reveals global shale fracturing from various perspectives such as development trends, geographical distribution of technology, technology categories, and patent holders. The technical patent situation in the field of fracturing provides reference for the development of domestic shale fracturing technology.

Keywords big data; shale; fracture; patent analysis

doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2019.02.014

引用格式: 陆桃妹, 唐弟官. 大数据背景下基于 LNPS 专利分析的国内外页岩压裂技术进展. 石油科学通报, 2019, 02: 154-164

LU Taomei, TANG Diguan, ZHANG Qing. Progress of shale fracturing technology at home and abroad based on LNPS Patent analysis under the background of big data. Petroleum Science Bulletin, 2019, 02: 154-164. doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2019.02.014

页岩气作为一种新型非常规能源,具有储量丰富、开采周期长、清洁环保等优势,已在世界范围内掀起一场革命。当前世界页岩气总可采储量为 187 万亿 m^3 ,而中国页岩气可采储量为 36 万亿 m^3 ,位居世界第一,因此大力研发适合我国页岩的高效开采技术可产生巨大的经济效益^[1-9]。

页岩气开发主要依靠长水平井钻井技术和大规模压裂开采技术,近些年我国在页岩气压裂技术方面的研究呈逐年增加态势且成果显著,但相比于欧美等发达国家仍具有一定的差距。随着知识经济和信息技术蓬勃发展,专利作为一项技术或产品的科技价值和商业价值的综合载体,能很好地反映某一领域科技发展的最新趋势及产业动态,是衡量一个国家或组织科技创新能力及生产力转化水平的重要指标^[10]。同时随着大数据时代的到来,将大数据技术应用到专利信息分析领域,可更高效地从海量数据集中提取挖掘高价值信息,提高分析结果的准确性和时效性。而如何紧跟时代步伐,利用好数据资源、创新服务模式则成为图书馆信息服务所面临的重大考验。

本文利用大数据分析软件对近年来全球范围内页岩压裂领域相关技术及产品的专利信息进行了大规模检索和统计,从专利角度分析了页岩压裂领域发展趋势、技术分布状况及研究热点,发掘了核心技术,以期多角度展现全球页岩压裂技术的整体发展态势,为我国页岩压裂领域技术发展及创新提供科学的参考和依据,同时也为图书馆开展专利信息服务提供方法借鉴。

1 专利数据分析原理及研究对象选取

1.1 大数据专利分析工具

为保证页岩压裂相关专利数据的全面详实,专利信息数据分别来源于中国国家知识产权局^[11]、Total Patent^[12]和 Lexis Nexis Patent Strategies^[13](下文可简称 LNPS) 3 个专利检索平台。其中,中国国家知识产权局主要用于检索中国页岩压裂专利,而 Total Patent 和 LNPS 则可同时用于检索包括中国在内的世界 80 多个主要发达及发展中大国的页岩压裂专利。

专利信息分析采用 LNPS 分析平台,该分析平台可对比分析全世界范围内的专利记录,在短时间内形成一个技术领域专利全景图,并且采用可视化方式表示出来,从而更加全面清晰地解析一个组织的知识产权或一项专利的价值。

1.2 研究对象选取

为了数据的全面性,笔者以专利摘要、标题及权利要求 3 个选项中涉及的关键词“页岩”与“压裂”的专利为检索范围,即在 LNPS 平台中以“@(abstract,claims,title)(shale and fractur*)”为检索式进行检索,并结合 TP 平台以“Title=((fracture* and (shale or bind or “cleaving stone” or schiefer or shaliness))or 页岩 and 压裂)or Abstract((fracture* and (shale or bind or “cleaving stone” or schiefer or shaliness))or 页岩 and 压裂)or claim ((fracture* and (shale or bind or “cleaving stone” or schiefer or shaliness))or 页岩 and 压裂)”为检索式及国家知识产权局以“关键词=(页岩 AND 压裂) OR 摘要=(页岩 AND 压裂)OR 发明名称=(页岩 AND 压裂)OR 权利要求=(页岩 AND 压裂)”为检索式进行检索的结果。检索截止日期为 2018 年 8 月 10 日。通过这 3 个数据库的检索、合并与去重清洗等,获得本次研究所需基础数据。

对采集的专利进行定量和定性分析结合,利用 LNPS 平台对页岩领域的专利申请趋势、主要申请人、技术领域分布、高强度专利等进行不同角度的分析与讨论。

2 研究结果与讨论

截至 2018 年 8 月 10 日,国内外关于页岩压裂领域的专利文献共 3688 件,具体组成见表 1。对所有专利进行简单同族缩减后得到基本专利为 1866 件,每件基本专利平均约拥有专利同族成员 1.98 件,对比目前几项正在进行技术攻关的热门技术(如表 2)可以看出页岩压裂技术的基本专利平均同族成员拥有量相对较高,这表明页岩领域全球专利的布局活动活跃度还是比较高的。

表 1 页岩压裂领域专利基本情况

Table 1 Basic information of patents in the field of shale fracturing

申请量/件	授权量/件	有效专利数/件	授权比例	授权专利维持率
2860	918	753	32.1%	82%

表2 热门技术领域专利同族情况

Table 2 Patent family situation in hot technology field

技术名称	同族专利平均拥有量/件
随钻测量	2.51
天然气水合物	1.43
深水钻井	1.36
地热开发	1.35

注：授权专利比例=授权专利量/专利申请总量；有效专利是指截至检索日得到的已授权且仍处于维持状态的专利；授权专利维持率=有效专利总量/授权专利总量；同族专利是指基于同一优先权文件，在不同国家或地区，以及地区间专利组织多次申请、多次公布或批准的内容相同或基本相同的一组专利文献。

2.1 国内外页岩压裂技术专利申请数量变化趋势分析

1912年起国外开始出现页岩油气相关技术的研究，但局限于当时石油生储盖理论的认识，页岩往往被视为良好的盖层，本身并不储存油气，此阶段极少有页岩压裂技术出现。随着石油工业的发展，到了1975年，页岩本身可作为油气储层的理论开始出现，页岩压裂技术也陆续进入人们的视野。提取1975—2018年页岩压裂相关专利数据可较好地对比世界范围内页岩压裂技术的发展趋势进行分析。图1为1975—2018年全球范围内页岩压裂技术专利申请数量变化趋势图(注：为图示清晰，全球申请量对应左侧坐标轴，国内申请及国外申请对应于右侧坐标轴；2018年专利数据由于申请流程时滞和数据不完整，并不能准确反映该年专利数，仅供参考，不纳入分析范围)。

分析图1国外页岩压裂专利数量变化曲线发现，1975—2000年，国外(以美国和加拿大为主)每年页岩压裂技术专利数量很少，最多的一年为24件，大部分年份专利为个位数。此阶段绝大多数的页岩压裂专利来自于美国和加拿大，当时美加政府为调控本国能源结构以能更好地应对可能出现的石油危机，实施了低税甚至免税政策来刺激非常规资源的勘探与开发，因此页岩气作为一种有潜力的非常规资源逐渐受到了国内外学者的重视。但局限于当时较低的天然气价格，各大石油公司也并不把页岩气作为大规模开发对象，技术创新缓慢，压裂专利较少。而从2000年开始，国外页岩专利数量则呈现波浪式快速增长态势，分别于2001、2008和2011出现小波峰，并在2014年达到顶峰，2015—2017年压裂专利数量大幅回落。此阶段美加等国经过长时间的技术积累，页岩压裂技术开始走向成熟，进入大规模开采阶段，页岩气产量不断攀升，随之油价走低，天然气经济优势越发突出，终于在世界范围内引发一场页岩气革命，对传统的能源供给结构产生巨大影响和冲击。深入分析国外页岩压裂专利数量变化曲线还可以发现一项创新性技术的发展是一个不断出现问题、解决问题的过程，会受到多种因素的影响，呈现出高峰低潮波浪式的上升趋势，这是进行技术创新时应该遵循的一种大体规律。

观察图1中我国页岩压裂专利年度申请数量变化曲线发现：从2009年起我国页岩压裂专利数呈现高速增长趋势，在2015年到达顶峰，略少于国外专利数量，2016年和2017年则小幅回落。这说明我国页岩气压裂技术研究虽然起步较晚，但是充分利用后发优

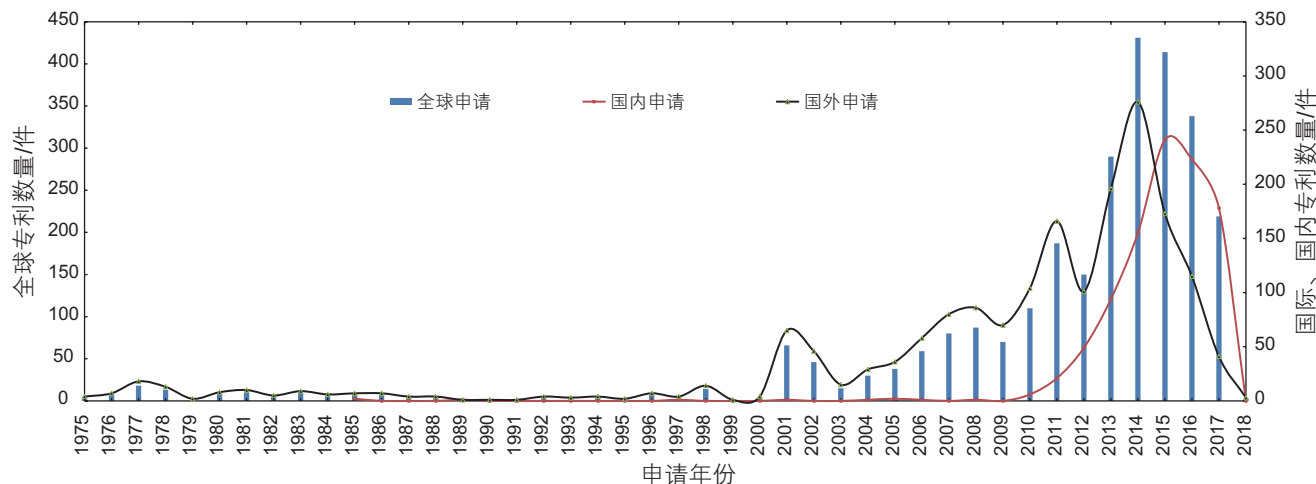


图1 1975—2018年全球范围内页岩压裂技术专利申请数量变化趋势图

Fig. 1 Trends of the number of patent applications for shale fracturing technology worldwide in 1975–2018

势，很好地把握住了国际页岩工业高速发展的契机，进步迅速，快速缩小了和国际先进水平的差距。

综合分析图 1，页岩压裂专利数量及增长趋势可从一个角度较好地反映世界及我国页岩工业的整体发展趋势，因此也可作为预测页岩技术未来的发展趋势的重要指标。

2.2 页岩压裂技术的专利来源及专利应用国/地区分析

专利来源国/地区是指专利技术所属的国家或地区，分析来源国/地区的专利数量可反映该国/地区对某项技术的占有情况，是国家/地区综合技术实力的体现；分析应用国/地区分布情况(即各国家/地区的专利受理量)可反映某项技术在全球的布局。表 3 为页

岩压裂专利排名前 10 的来源国/地区分布表，表 4 为页岩压裂专利排名前 10 的应用国/地区分布表。表 5 为拥有页岩压裂领域授权专利总数排名前 5 个国家海内外数据分布情况，表 6 为中美两国专利质量评价指标数据表。

分析表 3 可以发现，页岩压裂专利来源国/地区主要为美国、中国，可大致划分为三个梯队。第一梯队：美国、中国；第二梯队：加拿大、英国、澳大利亚；第三梯队：挪威、法国、印度。其中美国在页岩压裂专利总量方面遥遥领先其他各国/地区，技术积累深厚，符合其页岩气工业领跑者的现状。中国页岩压裂专利总量虽然少于美国，但近五年专利申请数量超越美国等其他国家/地区，说明我国页岩压裂技术发展迅

表 3 页岩压裂专利排名前 10 的来源国/地区分布表

Table 3 Distribution of top 10 countries/regions of shale fracturing patents

专利总申请量排名	专利来源国/地区	专利申请量/件	占全球专利总申请量百分比/%	近五年专利申请量/件	占全球近五年专利申请量百分比(%)	近五年活跃度排名
1	美国	1488	52.03	446	31.74	2
2	中国	977	34.16	797	56.73	1
3	加拿大	87	3.04	17	1.21	6
4	英国	58	2.03	18	1.28	5
5	澳大利亚	37	1.29	15	1.07	7
6	挪威	25	0.87	21	1.49	3
7	法国	22	0.77	10	0.71	9
8	印度	22	0.77	20	1.42	4
9	俄罗斯	20	0.70	2	0.14	10
10	日本	15	0.52	12	0.85	8
	其他	109	3.81	47	3.35	

表 4 页岩压裂专利排名前 10 的应用国/地区分布表

Table 4 Applicable country/region distribution table of the top 10 shale fracturing patents

专利总申请量排名	专利应用国/地区	专利受理量/件	占全球专利总受理量百分比/%	近五年专利受理量/件	占全球近五年专利受理量百分比(%)	近五年活跃度排名
1	中国	1007	35.21	786	55.94	1
2	美国	679	23.74	169	12.03	3
3	WIPO	435	15.21	207	14.73	2
4	加拿大	262	9.16	97	6.90	4
5	澳大利亚	176	6.15	68	4.84	5
6	EPO	130	4.55	37	2.63	6
7	英国	42	1.47	7	0.50	8
8	俄罗斯	34	1.19	6	0.43	9
9	印度	33	1.15	15	1.07	7
10	墨西哥	14	0.49	1	0.07	10
	其他	48	1.68	12	0.85	

速, 后来居上, 呈现赶超态势, 在核心技术领域逐渐拥有独立的知识产权, 具有很好的发展前景。

分析表4和表5可以发现, 虽然中国正逐步缩小和美国在页岩压裂专利申请数量上的差距, 但在拥有授权专利总数和世界授权总数两方面中国仍与美国有较大差距, 特别是在国外专利布局方面。美国有一半专利用于海外布局, 即美国在进行技术研发申请专利时, 不但将该专利在本国市场进行了大规模应用和保护, 还同在海外市场进行了战略规划和布局, 为接下来的专利应用和贸易做了准备。

而对比中国与美国的对本国和对国外的专利授权率及两国在国外申请上获得的授权比例可知(表6), 两国在这几个指标上基本上没有差异, 可以认为中国与美国的专利质量差别不大, 导致中国在页岩压裂领域的全球技术保护范围小的原因主要是中国申请人的国际市场保护意识低, 这种只顾眼前的狭隘思想可能会造成未来更大的损失; 当然国际专利申请时间和费用相比国内申请时间和费用普遍更长更高, 这两个因素也会导致中国一些低价值低回报的页岩压裂专利没有进入世界申请阶段。总体而言, 我国页岩压裂专利在进行全球战略布局上还具有较大发展空间。

2.3 页岩压裂专利类别分析

对已获授权的页岩压裂专利类别进行分析(表7)可看出页岩压裂技术专利主要集中在E21B和C09K两个IPC分类中, 其中E21B指页岩压裂方法及配套工具设备等相关专利, C09K指页岩压裂试剂材料设备等相关专利。这说明在页岩气开发具有自己的技术特点和研究重心, 压裂方法和压裂的试剂研发始终占据着主导地位, 现场对高效压裂技术设备的需求也十分巨大。

将E21B和C09K页岩压裂专利关键信息进行提取分析, 可进一步将页岩压裂专利分为3类。

(1)页岩储层评价类专利。专利类型主要包括:

a.页岩力学特征参数获取方法及评价方法: 页岩力学参数主要通过岩心加载实验和测井资料反衍等方法获得, 这些方法能够较准确地对井下页岩力学参数特征进行定量描述。b.地应力场参数获取及模型构建方法: 页岩地应力大小和方向对裂缝的扩展有着至关重要打的影响, 目前水力压裂方式是获取地应力最直接有效的方法, 其他方法还包括声发射Kaiser效应法、测井资料计算法、数值模拟方法等。c.页岩脆性可压性评价方法: 页岩脆性可压性评价是近几年的一个研究热点, 可以和地层起裂及裂缝扩展直接建立联系, 方法有脆性矿物评价法、岩石力学参数评价法、应变曲线

表5 页岩压裂专利授权总数排名前5个国家专利授权分布情况数据表

Table 5 Distribution of patent authorizations for the top 5 countries in the total number of shale fracturing patent authorizations

拥有授权专利 总量排名	国别	拥有授权专利 总量/件	本土授权专利量/件	国际授权专利量/件	国际授权专利占比%
1	美国	437	216	221	50.57
2	中国	377	369	8	2.12
3	加拿大	27	10	17	62.96
4	英国	11	3	8	72.73
5	澳大利亚	8	6	2	25.00
	其他	58	/	/	

表6 中美两国专利质量评价指标数据表

Table 6 Patent quality evaluation indicators between China and the United States

专利质量 评价指标	专利申请 总量/件	获得授权专利 总量/件	在本国 申请量/件	在本国申请 比例/%	获得本国 授权量/件	本国授权 比例/%	国外申请量/件
美国	1488	437	595	40	216	36.3	893
中国	977	377	938	96	369	39.3	39
专利质量 评价指标	获得国外授权 专利量/件	获得国外授权 比例/%	受理专利 总量/件	授权专利 总量/件	受理国外 专利量/件	给国外专利 授权量/件	给国外专利 授权比例/%
美国	221	24.7	679	248	84	32	38.1
中国	8	20.5	1007	396	69	27	39.1

表 7 页岩压裂技术的专利技术领域分布

Table 7 Distribution of patented technical fields of shale fracturing technology

IPC分类号	专利数量/件	注释
E21B 43/00	330	从井中开采油、气、水、可溶解或可熔化物质或矿物泥浆的方法或设备
E21B 49/00	34	测试井壁的性质；地层测试；专用于地表钻进或钻井以便取得表土或井中液体试样的方法或设备
E21B 33/00	20	井眼或井的密封或封隔
E21B 36/00	16	井眼或井的加温、冷却或隔离装置
E21B 21/00	15	冲洗井眼的方法或设备
E21B 7/00	13	钻井的特殊方法或设备
E21B 47/00	13	测量钻孔或井
E21B 34/00	8	井眼或井的阀装置
C09K 8/00	136	用于钻孔或钻井的组合物；用来处理孔或井的组合物
C02F 9/00	30	水、废水或污水的多级处理
C02F 1/00	11	水、废水或污水的处理
C04B 35/00	7	以成分为特征的陶瓷成型制品；陶瓷组合物
C10G 1/00	7	由油页岩、油砂或非熔的固态含碳物料或类似物
G01N 33/00	16	利用不包括在 G01N1/00 至 G01N31/00 组中的特殊方法来研究或分析材料
G01N 3/00	16	用机械应力测试固体材料的强度特性
G01N 15/00	11	测试颗粒的特性；测试多孔材料的渗透性，孔隙体积或者孔隙表面积
G01V 1/00	29	地震学；地震或声学的勘探或探测
G06F 17/00	11	特别适用于特定功能的数字计算设备或数据处理设备或数据处理方法
G06G 7/00	11	通过改变电量或磁量执行计算操作的器件
A62D 3/00	6	通过在物质中产生化学变化使有害化学物质无害或降低危害的方法

法等，但到目前为止，仍然没有一个统一评价方法。

d.天然裂缝识别方法：储层天然裂缝发育及分布对页岩压裂缝网的形成有着重要影响，目前天然裂缝识别方法主要有地震勘探法、临井压力干扰试井法、地质岩石力学参数评价法等，这些方法一定程度上可谓页岩天然裂缝的预测提供依据，但多数仍然停留在理论研究阶段，未得到较好的应用，在储层天然裂缝定量分析方面有较大的欠缺。

(2)页岩压裂方法工艺及工具类专利。专利类型主要有主要包括：a.分段压裂方法及设备：水平井大规模分段压裂是页岩油气高效开发的重要手段及关键技术，方法有封隔器分段压裂方法及设备、可钻桥塞分段压裂方法及设备、水力喷射分段压裂方法及设备。b.特殊压裂方法及设备：根据页岩储层特点，采取一些特殊的压裂方法也可以起到增大储层改造体积(SRV)和裂缝复杂指数(FCI)的目的，最终提高采收率，这些特殊的压裂方法有同步压裂、拉链式压裂、选择性压裂、重复压裂及工厂化压裂，通过采取这些特殊的压裂方法，可以提高页岩气井的短期产量、延

长稳产周期、提高压裂设备的利用率，进而最大限度提升开采效益。c.压裂动态监测诊断技术及设备：压裂动态监测诊断技术是压裂效果好坏的重要评价技术，方法有地震监测技术、近井筒裂缝监测技术、测井参数反衍检测技术、分布式声传感器监测技术等。不同的监测诊断技术应用于同一口井有时效果差异较大，因此多种监测诊断技术并行，以更好地提高井组压裂效果，是未来页岩压裂的发展方向。d.页岩压裂完井技术：由于页岩渗透性差、非均质性强、甜点分布难以预测等原因，页岩气井完井相比常规储层更加困难，因此采用何种完井工艺提高储层渗透性降低污染保持井筒完整性直接关系到页岩气采收率的提高和稳产气的延长，目前常用的页岩气井的完井方式有套管射孔完井、尾管射孔完井、非均匀分簇射孔完井等方法，适合的完井方式能有效简化工程复杂程度，降低成本，为后期压裂奠定基础。

(3)压裂液体系及配套技术类专利。根据储层特点优选压裂液配方对于提升压裂效果至关重要，专利类型主要包括：a.清水压裂液体系，由于页岩普遍具有

低渗特点,因此清水压裂液是目前应用最广泛的页岩压裂液体系,清水压裂液主要用于水敏弱、天然裂缝发育、地应力分布均匀、脆性矿物含量较高的储层,清水压裂液体系以水为主体,同时加入减阻剂和支撑剂,支撑剂中支撑材料的大小、材料、数量等均需要根据实际地层特点进行设计。b.复合压裂液体系,对于水敏性强、天然裂缝发育差、塑性矿物含量高的储层,目前主要采用复合压裂液体系,复合压裂液体系主要由高黏度冻胶和低黏度滑溜水组成,可以同时起到有效压裂地层和扩缝的双重目的。复合压裂液体系由于配方更加复杂压裂液黏度更大,因此对注入工艺及设备承压能力有着更高的要求,这也是复合压裂液体系目前成为优化研究重点的原因所在。

2.4 页岩压裂专利发展脉络分析

为分析页岩压裂技术发展脉络,采用文本聚类法对每年页岩压裂专利重点分布领域进行了研究。为便于分析,划分出3个时间节点,分别是2008年之前(共221件)、2009—2013年(共375件)和2014年之后(共322件),各时间段页岩压裂专利重点分布领域如图2、图3、图4所示,图中扇形面积越大、颜色越红,说明该方面专利数量越多、越受到人们的关注。

分析图2、图3、图4可以发现,在2013年之前页岩压裂技术专利主要集中在页岩油气资源地层识别及开发原理研究等方面,但是所针对储层类型有所不同。其中,2008年之前主要针对页岩油储层,而2009—2013年则主要针对页岩气储层。在2014年以

后页岩压裂技术专利主要集中在压裂方法及配套技术研究等方面,以大规模压开页岩储层形成良好的油气运移通道,同时关于页岩储层开发原理等方面研究仍具有很高的热度。

通过分析页岩压裂技术发展历程可以发现,页岩压裂技术在不同发展时期侧重点是有所不同的。早期主要是在常规油气开发技术的基础上对小规模页岩油开发进行探索和尝试(2008年之前),随着实践的深入,页岩作为一种新的独立的油气储层理论也不断发展成熟,为页岩气大规模开采奠定了理论基础(2009—

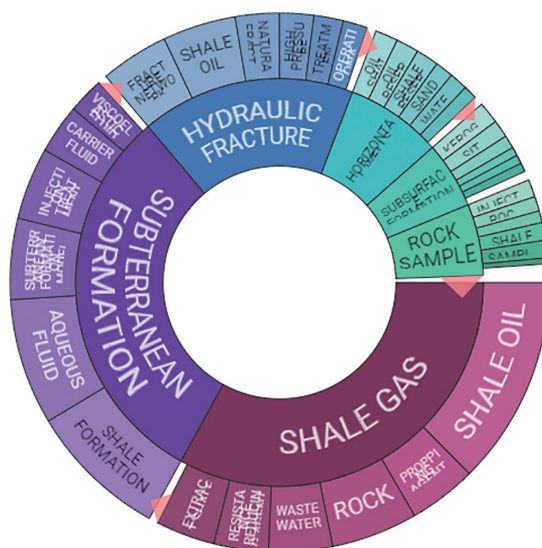


图3 2009—2013年页岩压裂技术专利领域分布图
Fig. 3 Distribution map of shale fracturing technology patent field in 2009-2013

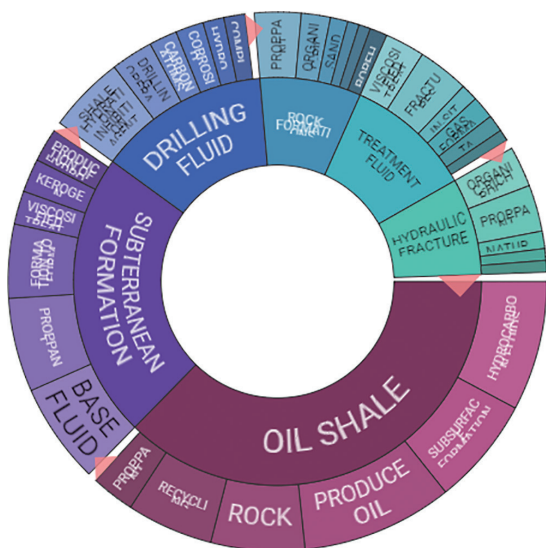


图2 2008年之前页岩压裂技术专利领域分布图
Fig. 2 Distribution map of shale fracturing technology patent field before 2008



图4 2014年至今页岩压裂技术专利领域分布图
Fig. 4 Distribution of patents in shale fracturing technology from 2014 to the present

2013 年), 最终在 2014 年以后, 页岩气大规模开采理论成熟, 相关技术装备专利井喷式出现。通过文本聚类法研究页岩压裂技术专利年度分布情况可以从一个角度分析页岩压裂技术的发展规律及已达到的发展阶段, 进而为发展趋势预测提供依据。

2.5 页岩气压裂技术专利权人分析

专利的专利权人分析可探究技术主要所有人情况,

进而对专利权人竞争力分析可预测技术合作趋势。表 8 为页岩压裂有效专利拥有量排名前十的专利权人(申请机构)分布表, 图 5 为页岩压裂有效专利拥有者(专利权人)竞争力气泡图。

从表 8 可以看出, 页岩压裂领域的专利申请大部分来自于大型的跨国能源公司, 排名前十的专利权人中有 8 家为美国的能源企业, 而授权专利中排名前十的专利权人则有 6 个都是美国能源企业。同时无论是

表 8 页岩压裂有效专利拥有量排名前 10 的专利权人(申请机构)分布表

Table 8 Distribution table of the top 10 patent holders (applicants)with effective patent ownership of shale fracturing

排名	申请专利			授权专利			有效专利		
	专利权人	件数	占比(%)	专利权人	件数	占比(%)	专利权人	件数	占比(%)
1	哈里伯顿	430	15.03	哈里伯顿	130	14.16	哈里伯顿	112	14.87
2	斯伦贝谢	173	6.05	斯伦贝谢	63	6.86	中石油	53	7.04
3	壳牌	143	5.00	中石油	55	5.99	斯伦贝谢	48	6.37
4	中石化	141	4.93	美孚	51	5.56	美孚	39	5.18
5	美孚	123	4.30	通用电气	41	4.47	中石化	38	5.05
6	中石油	103	3.60	中石化	39	4.25	通用电气	36	4.78
7	通用电气	100	3.50	西南石油大学	29	3.16	西南石油大学	27	3.59
8	西南石油大学	78	2.73	中国石油大学	27	2.94	中国石油大学	24	3.19
9	中国石油大学	67	2.34	雪佛龙	9	0.98	威德福	6	0.80
10	雪佛龙	39	1.36	威德福	7	0.76	四川宏华实业	6	0.80

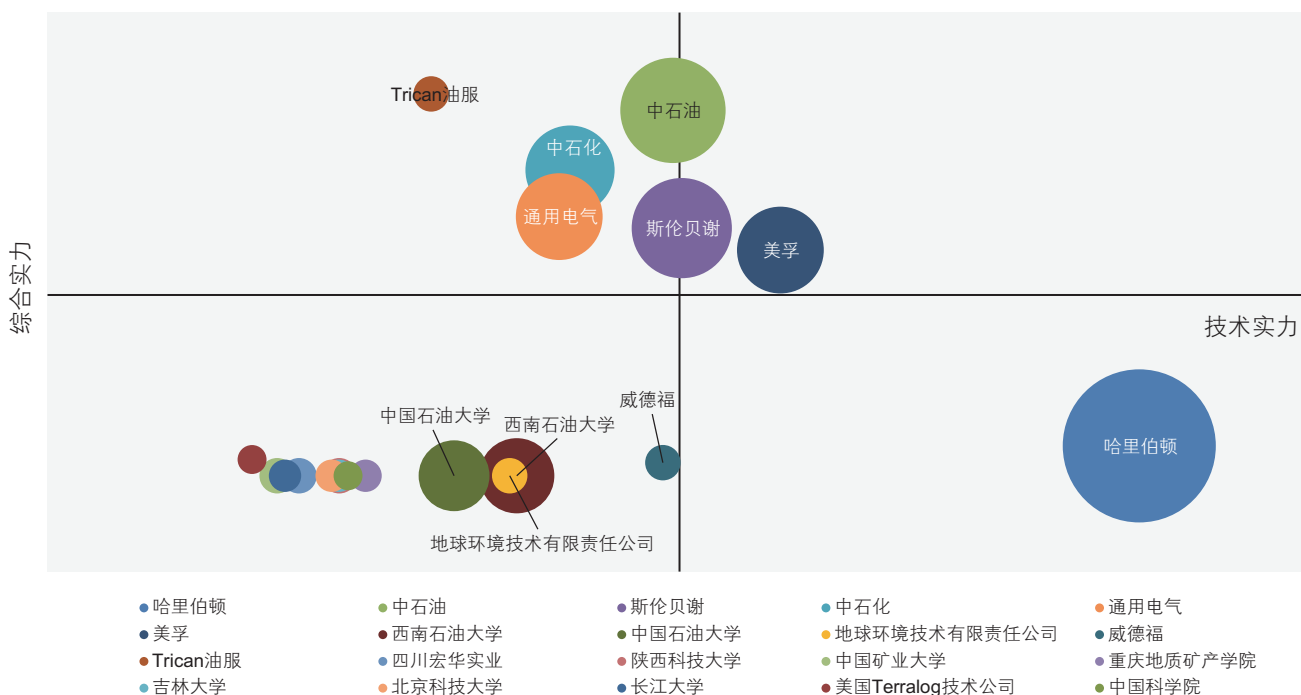


图 5 页岩压裂有效专利拥有者(专利权人)竞争力气泡图

Fig. 5 Competitive bubble chart of effective patent owner (patentee)of shale fracturing

在专利的申请量还是授权量上,排名第一的哈里伯顿公司与排名第二的斯伦贝谢公司的专利量都远远超过其他专利权人,这都说明美国在页岩压裂技术领域占据着主导地位,拥有绝对实力。同时国内的企业和高校也十分重视页岩压裂技术的研究,虽然在深度和规模上还不能和传统的能源公司进行抗衡,但进步很快,研发活动也十分活跃,快速推动着我国页岩压裂技术的不断前进。

图5中横轴与纵轴分别表示技术实力与综合实力。其中技术实力主要取决于专利涵盖领域广度、专利数量、专利引证等指标,越靠右表示技术实力越强;综合实力则主要取决于专利权人的整体产业规模、资金投入、企业跨国分布等指标,越靠上表示综合实力越强。气泡大小表示页岩压裂专利数量的多少,气泡越大则数量越多。将竞争者气泡分布划分为四个象限,则位于第一象限中的专利权人同时具有较强的技术实力与综合实力,可独立的进行页岩大规模勘探开发,是该领域的主导者;第二象限的专利权人综合实力较强但缺乏技术,可通过和技术较强的大公司合作或购买专利提升自己技术竞争力;第三象限的专利权人综合实力较弱,在个别页岩压裂分支领域具有一定的技术实力,可选择和大公司合作出售自己的专利技术或彼此多方合并实现抱团取暖;第四象限的专利权人综合实力较差但技术实力强劲,可作为技术输出方和综合实力强的大公司强强联合。

从图5可以看出,位于第一象限的只有美孚公司,但气泡不大,说明美孚公司有较强的技术实力与综合实力,但拥有的专利数量不多;斯伦贝谢与中石油均位于第一二象限交界位置,气泡中等大小;通用电气与川汉油田服务公司位于第二象限,第三象限则集中了较多的专利权人,包括西南石油大学、中国石油大学等;气泡最大的是哈里伯顿公司,位于第四象限。根据各专利权人的位置,哈里伯顿的页岩压裂技术综合实力最强,美孚、斯伦贝谢及中石油的综合实力与技术实力都相差不大,都是综合实力很强同时具有一定技术实力的专利权人,而中国石油大学、威德福等则是具有一定技术实力但综合实力差的单位。说明哈里伯顿是页岩压裂技术的领导者,中石油等综合实力强劲的专利权人可通过与哈里伯顿合作快速实现页岩

压裂领域技术升级,也可以通过购买诸如威德福、中国石油大学等小企业或单位的相关专利技术实现技术升级。

2.6 重点专利分析

重点专利指的是具有高质量的专利,专利的质量评价主要是通过分析被引次数和专利强度来实现的。

2.6.1 以专利被引次数为标准

一件专利被论文及其他专利引用次数可以反映该专利的影响力,全球页岩压裂专利被引次数分布如表9。

表9可以看出,被引次数超过100次以上的专利数很少,共有85件,占比仅为2.3%,说明相比于庞大的专利基数,高质量压裂专利数量是很少的。以被引次数前两名的专利为例进行简要分析。被引次数最多的专利为“US5868202A^[41]”,该专利研究了利用压裂工艺制造含水层,从而开发煤、油页岩、焦油砂和含油地层的碳氢化合物或热能的方法。自1999年公开至今被引次数高达532次,2010年至今的被引次数依然高达74次。被引次数居第二位的专利“US4886118A^[45]”自1989年公开以来被引次数高达489次,该专利研究的是传导加热地下油页岩以产生渗透性并压裂生产石油的方法。通过钻井对油页岩地下层段进行高于600℃的传导加热,使得油页岩内形成的干酪根得以热解流动,汇聚到压裂产生的水平裂缝从而进入生产井,这是开发油页岩的一种主要方法。通过分析高被引次数的专利可以发现,他们绝大部分都是页岩开发领域的基础理论与核心技术,因此一个专利的被引次数可反映该专利技术是否处在这个领域的核心,一个专利被引次数的增长情况可反映该领域核心技术的发展情况及趋势。

2.6.2 以专利强度为标准

专利强度计算包括引用与被引次数、专利权利要求数量、发明人、同族专利数量、诉讼量、时间等因素,一般认为8分以上为高强度专利。从表10可看出,高强度专利共253件,占比不到7%。

专利强度最高的为“US7723274B2^[46]”,该专利研究了制备颗粒浆料和颗粒浆料组合物的方法,主要是通过研制极度疏水的颗粒作为支撑剂来满足压裂的需要。该专利强度为9.4,同族专利高达26个,专利布

表9 全球页岩压裂专利被引次数分布表

Table 9 Distribution of cited times for global shale fracturing patents

被引次数/次	500以上	401~500	301~400	201~300	101~200	0~100
专利数量/件	1	6	9	24	45	3583

表 10 专利强度分布

Table 10 Patent intensity distribution

强度区间/分	0~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10
专利数量/件	2224	385	241	212	217	136	176	77

局范围包括美国、加拿大、中国、德国等十多个国家或地区。通过分析高强度专利类型可以发现,他们绝大部分都是页岩压裂领域急需解决的技术难题及配套技术装备,因此可以认为分析一个专利的强度可判断其所在领域技术难题所在及最新技术的发展方向。

3 结论

(1)页岩压裂技术是高效开发页岩气资源的核心技术,美国经过多年的技术积累和发展,已在该领域处于主导地位,技术和装备已经实现了市场化和对外输出,我国页岩压裂技术发展和美国还有一定的差距,但充分利用后发优势,快速前进,正大步向产业化迈

进。

(2)目前页岩压裂技术专利主要集中在E21B(页岩压裂方法及配套工具设备等相关专利)和C09K(页岩压裂试剂材料设备等相关专利)两个方面。E21B和C09K页岩压裂专利可进一步分为3类:页岩储层评价类专利,页岩压裂方法工艺及工具类专利和压裂液体系及配套技术类专利。

(3)通过对页岩压裂专利权人进行分析发现,国外领先的页岩压裂专利权人以大型跨国能源企业为主,国内则是国有大型能源企业和高校并存。为更好更快地发展我国页岩压裂技术,一方面应更多地开展国际交流,引入国外先进的压裂技术,同时鼓励国内科研机构 and 国有大型能源企业进行深入合作。

参考文献

- [1] 李世臻, 乔德武, 冯志刚, 等. 世界页岩气勘探发现及对中国的启示[J]. 地质通报, 2010, 29(6): 918-923. [LI S Z, QIAO D W, FENG Z G, et al. The status of worldwide shale gas exploration and its suggestion for China. Geological Bulletin of China, 2010, 29(6): 918-923.]
- [2] KING G E. Thirty years of gas shale fracturing: What have we learned?[C]//SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers, 2010.
- [3] JARIPATKE O A, CHONG K K, GRIESER W V, et al. A completions roadmap to shale-play development: A review of successful approaches toward shale-play stimulation in the last two decades[C]//International Oil and Gas Conference and Exhibition in China. Society of Petroleum Engineers, 2010.
- [4] 薛承瑾. 页岩气压裂技术现状及发展建议[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(3): 24-29. [XUE C J. Technical advance and development proposals of shale gas fracturing [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(3): 24-29.]
- [5] 张东晓, 杨婷云. 页岩气开发综述[J]. 石油学报, 2013, 34(4): 792-801. [ZHANG D X, YANG T Y. An overview of shale-gas production[J]. Shiyou Xuebao/Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(4): 792-801.]
- [6] 王永辉, 卢拥军, 李永平, 等. 非常规储层压裂改造技术进展及应用[J]. 石油学报, 2012, 33(增刊 1): 149-158. [WANG Y H, LU Y J, LI Y P, et al. Progress and application of hydraulic fracturing technology in unconventional reservoir[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012.]
- [7] 李彦兴, 董平川. 利用岩石的 Kaiser 效应测定储层地应力[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(1): 2802-2807. [LI Y X, DONG P C. In-situ stress measurement of reservoir using Kaiser effect of rock[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(S1): 2802-2807.]
- [8] 李庆辉, 陈勉, 金衍, 等. 页岩脆性的室内评价方法及改进[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(8): 1680-1685. [LI Q H, CHEN M, JIN Y, et al. Indoor evaluation method for shale brittleness and improvement[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(8): 1680-1685.]
- [9] Pollastro R M. Total petroleum system assessment of undiscovered resources in the giant Barnett Shale continuous (unconventional)gas accumulation, Fort Worth Basin, Texas[J]. AAPG bulletin, 2007, 91(4): 551-578.
- [10] 杨曦, 余翔, 刘鑫. 基于专利情报的石墨烯产业技术竞争态势研究[J]. 情报杂志, 2017(12): 75-81. [YANG W, YU X, LIU X. Research on competitive situation of graphene industry technology based on patent information[J]. Journal of Information, 2017(12): 75-81.]
- [11] 国家知识产权局. [DB/OL]. [2017-9-25]. <http://www.pss-system.gov.cn>.
- [12] Totalpatent. [DB/OL]. [2018-8-10]. <https://origin-www.lexisnexis.com/totalpatent>.

- [13] LexisNexis Patentstrategies [DB/OL]. [2018-8-10]. <https://app.lexisnexispatentstrategies.com>.
- [14] RHOADES V. In situ gasification of coal by gas fracturing: U. S. Patent 3, 775, 073[P]. 1973-11-27.
- [15] FREDRIK L. Device for recovering fuel from subterraneous fuel-carrying deposits by heating in their natural location using a chain heat transfer member: U. S. Patent 2, 789, 805[P]. 1957-4-23.
- [16] NEEDHAM R B, THOMAS C P, WIER D R. Well treatment method: U. S. Patent 4, 231, 428[P]. 1980-11-4.

(编辑 马桂霞)