

全球页岩油资源分布与开发现状*

方圆¹, 张万益¹, 马芬¹, 成丽芳², 史飞洲³

(1. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 3. 中国石化物探技术研究院, 南京 211103)

摘要:我国页岩油资源丰富,但勘探开发起步晚,针对全球主要国家页岩油资源分布与开发现状进行系统研究,对我国开发页岩油具有重要的借鉴意义。本文针对全球主要页岩油生产国如美国、加拿大、俄罗斯等开展系统研究,总结各个国家的资源分布和勘探开发现状,研究了各国页岩油成功开发的技术手段和鼓励政策,并与我国进行对比,进而提出我国页岩油开发建议。

关键词:全球;页岩油;分布;技术;政策

中图分类号:P618.12 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0076(2019)05-0126-09

DOI:10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2019.05.013

Research on the Global Distribution and Development Status of Shale Oil

FANG Yuan¹, ZHANG Wanyi¹, MA Fen¹, CHENG Lifang², SHI Feizhou³

(1. Development of Geological and Research Center, China Geological Surveys, Beijing 100037, China; China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; Sinopec Geophysical Research Institution, Nanjing 211103, China)

Abstract: Shale oil resources in china is abundant, but exploration and development has just started. The systematic research on the distribution and development status of shale oil resources in major countries in the world has important reference for the development of shale oil in China. This paper systematically studies the major countries producing shale oil in the world such as the United States, Canada, Russia and other countries, summarizes the resource distribution and development status of each country, and studies their technology and encouragement policies for the successful development of shale oil. Based on this analysis, through a comparison with China, the paper put forwardsome suggestions for the development of shale oil in China.

Key words: global; shale oil/tight oil; distribution; technology; policy

1 引言

页岩油(shale oil)是一种非常规石油资源,类似

于页岩气,页岩油具有储层致密、渗透性差的特点,需要通过水平井钻探和压裂后方可开采利用。

目前,国内对页岩油的定义存在分歧。有些学

* 收稿日期:2019-08-25

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“国家地质调查成果集成与规划”(DD20190464)

作者简介:方圆(1988-),男,博士,工程师,主要从事油气地质调查规划研究和油气勘探工作,E-mail:fyuan_cgs@qq.com。

通信作者:张万益(1974-),男,博士,教授级高级工程师,主要从事地质调查规划与部署研究和地质找矿工作,E-mail:wanyizhang0810@qq.com。

者认为,页岩油的定义应当从岩性出发,严格区分储层岩性,只有页岩储层中赋存的石油才能定义为页岩油,其他致密层系的石油应当定义为致密油^[1-2];也有学者认为应当采用广义的概念,即页岩油与致密油的概念相同,不讨论岩性,尊重习惯,方便交流^[3]。还有学者认为,页岩油是致密油的一种,包括页岩在内的所有致密层系的石油资源均应称为致密油,致密油包括页岩油和其他致密层系油^[4-8];甚至还有学者认为,油页岩也是页岩油的一种,即富有机质页岩中赋存的石油和多类有机物统称页岩油^[9]。近年来,开始有学者认为,页岩油的定义不需严格区分岩性,全部页岩层系中的石油均可称为页岩油,可以通过运移距离、成熟度等成油要素来区分页岩油和致密油^[10-14]。

国际上,美国地质调查局(USGS,1995)提出“连续(Continuous)油气聚集”的概念,对致密油气和页岩油气进行评价,回避了页岩油和致密油之争,所有不受构造控制的非常规油气藏均可以称为连续型油气藏,与之相对的即为构造型的常规油气藏^[15]。美国国家石油委员会(NPC,2011)认为,致密油(tight oil)包括直接产自页岩层的石油以及作为烃源岩的页岩具有密切关系的砂岩、粉砂岩和碳酸盐岩^[16]。加拿大国家能源委员会(NEB,2011)认为页岩油(shale oil)是致密油(tight oil)的一种,致密油除页岩油外还包含有致密砂岩、粉砂岩、灰岩和白云岩等致密储层中的石油^[17]。加拿大自然资源协会(NRC,2016)也认为,页岩和致密油气资源(Shale and Tight Resources)都是赋存于极低渗透率的地质构造中的非常油气资源,并将其一同评价和研究^[18]。美国能源信息署(EIA,2018)认为,尽管致密油和页岩油的概念通常是可以互相代替的,但是页岩地层仅仅是低孔隙度致密地层的一部分,致密地层应该包括致密砂岩、致密碳酸盐岩和页岩,所有这些致密地层中产出的石油均为致密油(tight oil)^[19]。目前,EIA通常使用tight oil的概念代替shale oil,但为了保证数据和报告的历史延续性,有时也将shale oil混用,甚至干脆记为tight oil/shale oil。

通过研究,我们认为,页岩油是一种广义的概念,不能陷入简单区分岩性的怪圈中,而是应当涵盖全部页岩层系,这样可以便于资源评价和勘探开发,并与国际接轨。因此,本文中的页岩油泛指赋存在富有机质泥页岩层及其临近层系中的石油资源,既

包括泥页岩层中未排出的石油,也包括临近层系或夹层、互层中赋存的石油,并不严格区分岩性,与美国和加拿大所称的tight oil同义。经过远距离运移后赋存在其他致密层系中的石油资源,不能称为页岩油,应当称为致密油。本文定义的页岩油和致密油的示意图如图1所示。

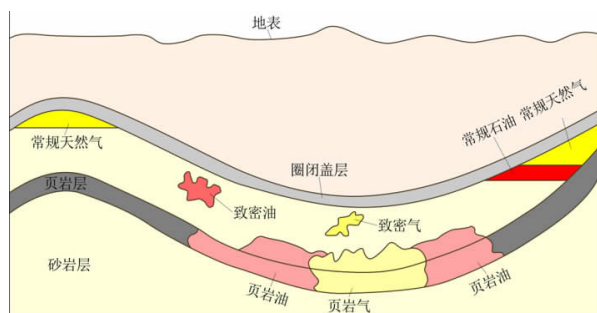


图1 页岩油赋存方式示意图(据NEB^[18],有修改)
Fig. 1 Schematic diagram of shale oil reservoir preservation (via NEB, modified)

页岩油与常规石油资源不同,具有很多特殊的特点:资源自生自储,没有发生运移或运移距离短;非构造高点控制,广泛分布于烃源岩发育的斜坡区或洼陷的中央区;自身流动性差,需要经过水平井钻探、压裂等人工改造手段才能实现经济、有效开发。

2 全球资源分布特征与开发现状

2.1 全球页岩油资源分布

全球页岩油资源丰富。根据美国能源信息署(EIA)和美国先进资源国际公司(Advanced Resources International,ARI)数据^[20],截至2017年底,全球页岩油地质资源总量(Risked Oil In-Place)9368.35亿t,技术可采资源量(Technically Recoverable)为618.47亿t,其中超过20%分布在北美地区。

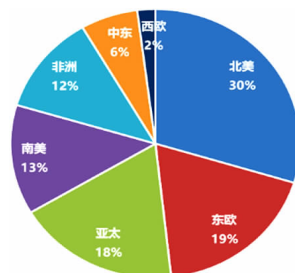


图2 页岩油全球大区分布
Fig. 2 Shale oil global distribution

从大区上看,全球页岩油主要分布在北美和欧亚大陆。北美地区页岩油技术可采资源量为183.68

亿 t, 占比 30%; 其次为包括俄罗斯在内的东欧地区, 技术可采资源量为 114.73 亿 t, 占比 19%; 亚太地区可采资源量为 112.69 亿 t, 占全球的 18%, 如图 2 所示。

从分布国家上看, 全球页岩油资源广泛分布, 如图 3 和图 4 所示。美国页岩油资源量最大, 技术可采资源量达 153.75 亿 t, 约占全球总量的 21%。美国页岩油资源量占比较高的原因主要是勘查程度较高, 远高于世界其他国家, 随着页岩油开发的兴起, 其他国家的可采资源量将有大幅上升。排名第二的国家是俄罗斯, 技术可采资源量 101.77 亿 t, 约占全球 14%; 中国排名全球第三, 技术可采资源量 43.93 亿 t, 约占全球的 6%。

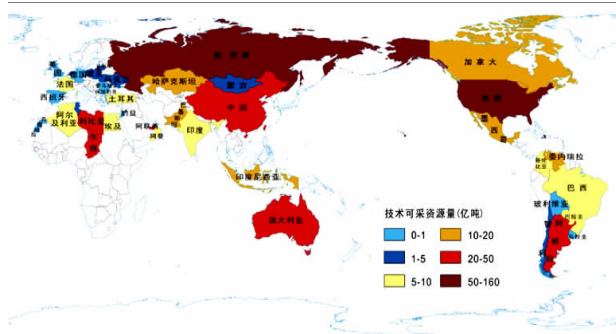


图 3 全球各国页岩油分布情况
Fig. 3 Shale oil distribution in the world

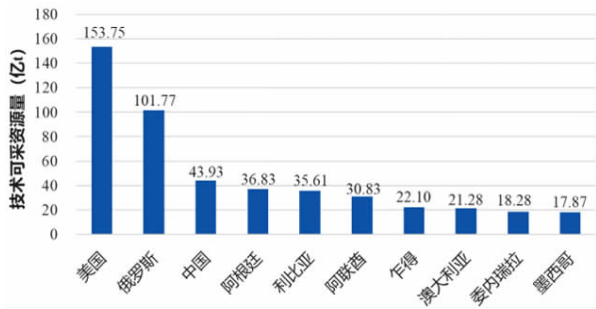


图 4 全球页岩油技术可采资源量排名前 10 名国家情况
Fig. 4 Top 10 countries technology recoverable resources of shale oil

从盆地分布上看, 全球有超过 100 个盆地赋存有页岩油, 如图 5 所示。其中, 最大的页岩油盆地是俄罗斯的西西伯利亚盆地, 其技术可采资源量为 78.97 亿 t, 占全球页岩油资源量的 16.5%。排名第二和第三的盆地均分布在美国, 分别是二叠系盆地和墨西哥湾盆地, 技术可采资源量分别为 65.08 亿 t 和 31.38 亿 t。我国的准噶尔盆地和松辽盆地以 16.51 亿 t 和 15.69 亿 t 分列第 10 和 11 名。

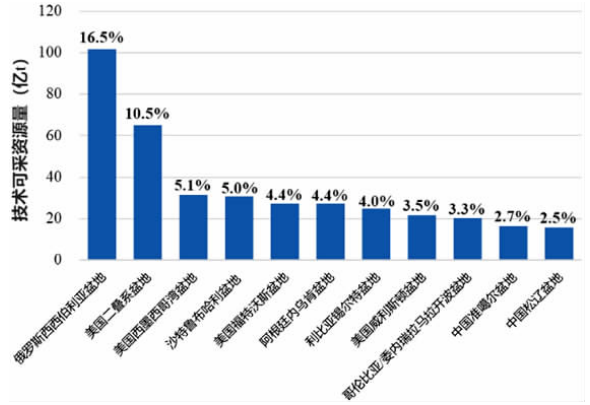


图 5 全球页岩油主要分布盆地
Fig. 5 Shale oil basin distribution in the world

目前, 全球仅有北美实现了页岩油的大规模商业性开发, 美国的产量最大, 页岩油生产直接使美国从石油净进口国变成了石油出口国; 加拿大的页岩油产量也在不断增加。其他国家如中国、俄罗斯、阿根廷等, 对页岩油的开发仍然处于早期阶段^[21]。

2.2 美国页岩油资源分布与开发现状

美国是全球页岩油大国, 全球 21% 的页岩油资源分布在美国。根据 EIA2018 年 11 月底发布的报告^[22], 截至 2017 年底, 美国页岩油探明储量为 27.25 亿 t, 比上年增长 6 亿 t, 增幅为 28.4%。其中, 二叠系盆地探明储量增加 4.58 亿 t, 占全部增量的 76%, 二叠系盆地也一跃成为美国页岩油储量最大的盆地。美国页岩油探明储量约占美国原油总探明储量的 47.57%, 主要分布在二叠系盆地、威利斯顿盆地、墨西哥湾盆地等 3 个大页岩油盆地内, 其他页岩油盆地探明储量相对较小, 如图 6 所示。美国页岩油盆地分布如表 1 所示。

表 1 美国页岩油盆地分布
Table 1 Distribution of shale oil basins in the United States

盆地	2016 年探明储量/亿 t	2017 年探明储量/亿 t
二叠系盆地 Permian basin	6.77	11.35
威利斯顿盆地 Williston basin	7.13	7.43
墨西哥湾盆地 Western Gulf	5.68	6.57
阿纳达科盆地 Anadarko basin	0.53	0.56
阿巴拉契亚盆地 Appalachian basin	0.19	0.38
丹佛盆地 Denver basin	0.31	0.32
福特沃斯盆地 Ft. Worth basin	0.03	0.03
其他	0.59	0.61
总计	21.22	27.25

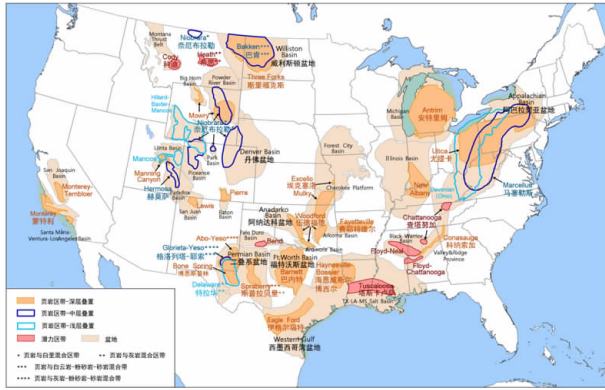


图6 美国页岩油盆地分布(据 EIA)

Fig. 6 Distribution of shale oil basins in the United States (via EIA)

美国是世界上最早实现页岩油商业开发的国家,也是目前页岩油产量最大的国家。根据美国 EIA 统计数据,2017 年美国页岩油总产量 2.03 亿 t,比 2016 年总产量增加 2 000 万 t。按照盆地统计的页岩油产量如表 2 所示,可以看出,二叠系盆地产量增长明显,增速接近 40%。据 EIA 最新数据,2018 年美国全年页岩油产量已达 3.29 亿 t,占原油总产量的 59%。依靠美国页岩油的生产,美国已经在 2017 年超越沙特,成为世界最大产油国。

表 2 美国页岩油产量

Table 2 Shale oil production in United States

盆地	2016 年产量 /亿 t	2017 年产量 /亿 t
二叠系盆地 Permian basin	0.58	0.81
威利斯顿盆地 Williston basin	0.51	0.53
西墨西哥湾盆地 Western Gulf	0.60	0.56
阿纳达科盆地 Anadarko basin	0.04	0.05
阿巴拉契亚盆地 Appalachian basin	0.02	0.02
丹佛盆地 Denver basin	0.02	0.02
福特沃斯盆地 Ft. Worth basin	0.00	0.00
其他	0.06	0.05
总计	1.83	2.03

美国页岩油开发始于 20 世纪 50 年代的威利斯顿盆地,但产量一直较低。页岩气革命带来的技术突破,给页岩油开发提供了技术基础,在天然气价格持续低迷的大背景下,美国页岩气开发公司大量转向页岩油开发。2005 年左右,美国页岩油开发取得重大突破,2009 年左右开始进入快速增长期,到 2015 年 3 月,美国页岩油日产量已达 66.73 万 t,占当月美国原油日总产量 112.88 万 t 的 59.12%。此后受国际油价下跌影响,美国页岩油产量逐渐下降,但 2016 年快速回升,虽经小幅震荡,仍然保持上涨。截至 2019 年

5 月 1 日,美国页岩油日产量已达 101.8 万 t,约占美国 3 月原油日总产量 162.41 万 t^[23] 的 62.68%。其中,二叠系盆地日产量页岩油 47.7 万 t,占美国页岩油总产量的 46.86%。据 EIA 预测^[24],未来十年页岩油产量将持续增长,到 2026 年以后,页岩油日产量将维持在 135 ~ 150 万 t 的水平,约占原油总产量的 60%。预计美国页岩油产量到 2031 年后开始下降,到 2050 年将下降至 115 万 t/d。

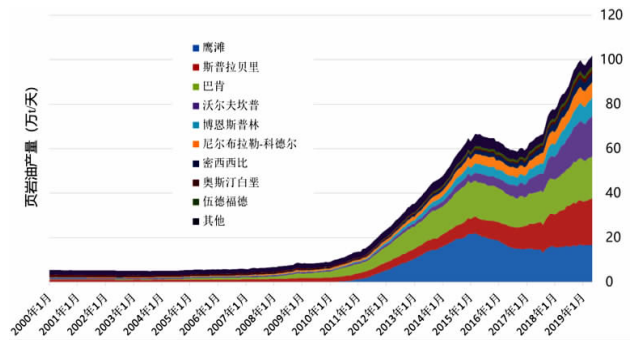


图7 美国页岩油产量趋势图

(2000 年 1 月 - 2019 年 5 月,据 EIA)

Fig. 7 Shale oil production trends in United States (January 2000 - May 2019, via EIA)

2.3 加拿大资源分布与开发现状

加拿大页岩油技术可采资源量为 12.06 亿 t,约占全球的 2%,排名第 13 位^[20]。加拿大页岩油资源主要分布在加拿大西部,包括阿尔伯塔省、萨斯喀彻温省、曼尼托巴省和英属哥伦比亚省^[17]。加拿大页岩油储层与美国接壤,主要位于加拿大西部。

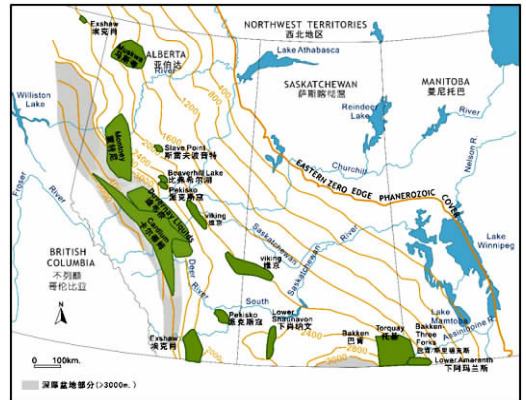


图8 加拿大页岩油区块分布(据 NEB,有修改)

Fig. 8 Shale oil block distribution in Canada (via NEB, Modified)

根据加拿大国家能源局(NEB)的报告^[25],加拿大页岩油资源主要分布在西加拿大沉积盆地,如图 8 所示。页岩油区带包括巴肯/埃克肖(Bakken/Ex-

shaw)、卡尔蒂姆(Cardium)、维京(Viking)、迪韦奈/马斯夸(Duvernay/Muskwa)、蒙特尼/多伊格(Montney/Doig)、下肖纳文(Lower Shaunavon)和比弗希尔湖(Beaverhill Lake)。二白斑(the Second White Specks)和诺德格(Nordeg)及派克斯寇(Pekisko)为新区。

由于美国页岩油革命的外溢效应,加拿大较早开展了页岩油的商业开发^[26]。2005年,在当时高油价和页岩开发技术革命的推动下,加拿大对南部与美国接壤的巴肯区带页岩油开展了商业开发,日产量为1.96万t,约占国内石油总产量的1%。随着技术成熟,产量成倍增长,到2014年,加拿大页岩油产量达到5.95万t/d的峰值,占当年石油产量的10.2%。随着国际油价下跌,加拿大新钻井量减少,产量逐渐下降。到2018年,加拿大页岩油产量已经回落到4.69万t/d,约占当年平均日产量71万t/d的6.6%。

2.4 俄罗斯资源分布与开发现状

据EIA数据,俄罗斯页岩油技术可采资源量101.77亿t,居世界第二位^[20]。俄罗斯国内研究机构的页岩油储量数据则高得多,根据俄罗斯自然资源与环境部评价^[27],仅西西伯利亚地区巴热诺夫组技术可采资源量就达5亿t;根据俄罗斯石油地质科学院数据,东欧地台多玛尼克层系页岩油技术可采资源量为83亿t,伏尔加-乌拉尔盆地同一层系的页岩油技术可采资源量高达178亿t,总资源量预计达到266亿t,这些页岩均为与北美地质条件相似的海相沉积,分布范围如图9所示。

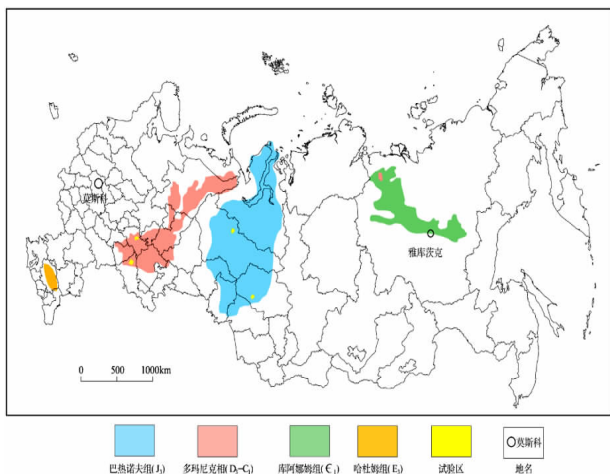


图9 俄罗斯页岩油分布区域^[27]

Fig. 9 Shale oil distribution in Russian

俄罗斯能源部2012年拟定了加入全球页岩革命的发展计划,2013年页岩油日产量曾达到1.63万t的峰值。目前俄罗斯页岩油尚未进行大规模商业开采,仅在巴热诺夫组进行了试验性开采。截止2016年,西西伯利亚巴热诺夫-阿巴拉组中有146口垂直井、36口水平井在产,垂直井平均日产10.8t,水平井平均日产7.5t,折算每日产油量1846.8t。

俄罗斯页岩油资源潜力巨大,俄罗斯有关机构对未来实现页岩油商业化开采持乐观态度。俄罗斯国家石油公司预测,到2020年俄罗斯页岩油可年产1500万t。俄罗斯自然资源部预测,到2030年,俄罗斯页岩油可年产8400万t;俄罗斯科学院预测到2040年,仅从巴热诺夫组中开采的页岩油就可达1.4亿t。

目前俄罗斯正在国内广泛开展页岩油开发试验。位于西西伯利亚地区旨在评价巴热诺夫页岩层系的巴热诺夫1井计划于2019年12月20日前完钻。另有挪威国家石油公司在俄罗斯开展页岩油勘探工程,针对多玛尼克页岩布置了3口水平井,目前仍在钻进中,预计2019年底完钻。

2.5 其他国家

阿根廷页岩油资源丰富,技术可采资源量为36.83亿t,仅次于中国,排名全球第四。其中,内乌肯盆地是阿根廷最具潜力的页岩油富集区,被认为是北美以外最可能实现大规模页岩油开采的盆地,技术可采资源量达27.12亿t,超过全国总储量的70%^[28]。根据阿根廷能源部数据,2018年7月,阿根廷页岩油产量为0.72万t/d,占全国6.6万t/d产量的10.91%。

澳大利亚页岩油技术可采资源量21.28亿t,排名世界第8位,主要赋存在4个主要盆地中。2013年,澳大利亚自然资源公司在中部阿卡林加盆地发现地质资源量317.87亿t的页岩油,目前仍待进一步勘探^[29]。

利比亚虽然政局不稳,但仍在关注如何开采其35.61亿t技术可采储量的页岩油资源。利比亚的页岩油主要分布在3个盆地中,页岩厚度大,埋深相对较浅,具有较大的页岩油开发潜力^[30]。

此外,日本作为石油进口大国,在国内化石能源勘探方面不遗余力,把页岩油也作为勘探开发的重点。2012年,日本石油资源开发公司(JAPEX)在秋田县发现页岩油,预计储量1364万t^[31]。经过两

年的试采,到2014年,JAPEX宣布在鲇川油气田已经实现了页岩油商业化生产,日产量约30 t,约占当年日本国内石油日产量2 728.5 t/d的1%。

3 国外页岩油开发的技术手段和鼓励政策

作为新兴非常规能源,页岩油商业化开发的关键在于成本。在大规模商业开发的美国,页岩油生产成本可以降低到40美元/桶以下,而除美国外,目前其他页岩油开发国家平均成本约为80美元/桶,成本最低的阿根廷约为45美元/桶,如图10所示。分析原因,降低成本的主要原因在于经济可靠的技术手段和强效有力的政策扶持。

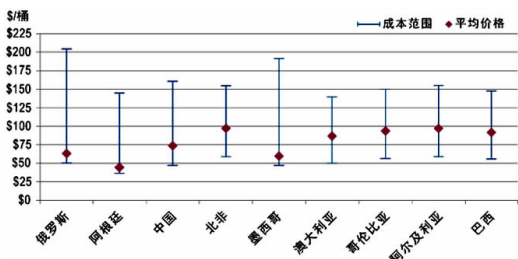


图10 不同国家页岩油钻井成本^[32] (据 IHS, 2014)
Fig. 10 Shale oil drilling costs in different countries (via HIS, 2014)

3.1 先进技术手段

3.1.1 钻井工程技术

页岩油开发与页岩气开发类似,依赖先进高效的井工厂技术进行钻探开发。井工厂技术即使用同一个可移动钻井平台,按照顺序批量完成多口径的表层、直井段和水平段的钻井作业,通过流水化作业,大大提高钻井作业效率,实现页岩油藏的安全、经济、高效开发^[33]。

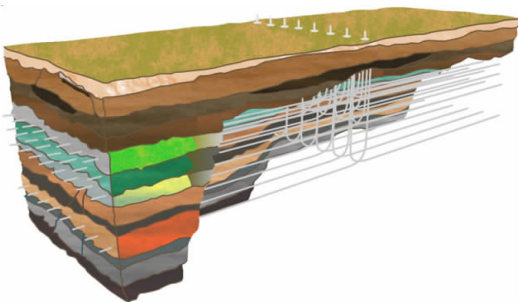


图11 井工厂开发模式示意图(据 EIA,有修改)
Fig. 11 Well factory production mode(via EIA, modified)

井工厂技术可以实现同一井组中不同钻井的

相同井段配置同样的钻机和钻具组合,节省大量更换钻具的时间。多口井依次一开、固井,依次二开、固井,从而使钻井、固井、测井设备连续运转,减少非生产时间,提高作业效率。井工厂可以实现钻井液重复利用,减少钻井液的交替,尤其是减少了油基钻井液回收及岩屑处理时间,降低了单井钻井液费用。此外,充分利用一次井场,通过共用土地、钻井设备、泥浆罐,水处理系统也可以降低作业成本,实现区块总体效益的提升。井工厂技术的示意图如图11所示。据路透社报道称^[34],2014年美国巴肯页岩区带上将有超过90%的页岩油钻井采用“井工厂”技术,每个平台可实现钻井12-16口,能够将单井钻井成本降至750万美元/口。

在井工厂流水线作业的基础上,为了降低钻完井成本,美国页岩油开发还简化了井身结构,进一步降低成本。目前,有些区块在开发中,将井身从三层套管简化为两层,并从三开完钻减少为二开完钻。通过简化井身结构,在Eagle Ford区块的页岩油建井时间节约了10%,完钻成本降低了15%。

此外,高精度的井眼轨迹控制技术、有针对性的钻井液技术、钻井液循环利用技术,甚至天然气燃料钻机都能够有效降低页岩油开发成本,提高总体经济效益。实际上,对工程技术成本“锱铢必较”是页岩油商业开发的法宝,非常值得借鉴。

3.1.2 压裂工程技术

页岩油与页岩气一样,需要经过储层的大规模人工改造后才能有效开发,这种改造就是压裂,如图

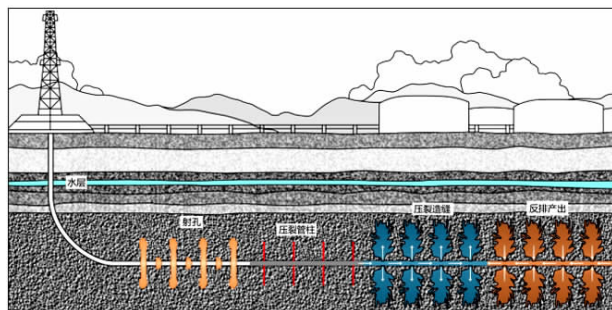


图12 压裂技术示意图(据 NEB,有修改)
Fig. 12 Schematic diagram of fracturing technology (via NEB, modified)

12所示。利用地面高压泵,通过井筒向油层挤注具有较高粘度的压裂液,使致密的页岩储层破裂,并利用压裂液中的支撑剂,维持裂缝通路,以此形成流体通道,提高页岩油采收率。压裂液一般需要大量用水,因此

压裂过程也称为水力压裂。

为了得到较多的人造裂缝,压裂技术已经得到了飞速的发展,常规直接压裂已经不能满足人们的需要。目前页岩油压裂的主流技术手段包括水平井分段压裂技术、水平井同步压裂技术、无水压裂技术和近年来出现的高速流道水力压裂技术^[35,36]。水平井分段压裂已经成为页岩油井开发的标准做法,可分为可钻桥塞分段压裂、封隔器分段压裂和水力喷射分段压裂。水平井同步压裂技术是利用两口井或多口井的同步压裂形成复杂的网状裂缝,从而增加页岩油气的产量的一种手段,目前该技术已经非常成熟,在贝肯区块多次使用。无水压裂技术是使用已交联的液化石油气 LPG (Liquefied Petroleum Gas) 压裂液替代常规压裂液的一种压裂方式,压裂液主要成份是丙烷和丁烷,这种压裂方式可以在环保压力较大和水源较少的井场使用。

高速流道水力压裂技术(HiWAY flow - channel hydraulic fracturing technique)是近年来出现的一种新技术^[36],它打破传统水力压裂依靠支撑剂导流能力增产的理念,通过采用“非连续支撑技术”和高强度凝胶压裂液在储层内形成开放的流道,并利用一种新型的纤维添加物来使流道保持稳定分布。高速流道水力压裂技术在开发致密油气方面极具潜力,已经在美国、加拿大、俄罗斯、阿根廷、墨西哥等 20 多个国家的非常规油气开采中得到成功应用,累计压裂级数达 24 000 多级,平均增产超过 20%。据统计,相较于一般水力压裂处理技术,采用该技术能减少用水量约 25%,减少 CO₂ 排放量近 3 200 万磅。

另外,重复压裂技术正成为作业者提高产能、降低作业成本的一种有效方法。重复压裂即在已经投产的页岩油井中,通过机械或化学手段恢复关闭的已有裂缝,并打开新裂缝的一种技术手段。重复压裂成本是新钻井成本的 20% ~ 35%,压后能恢复 31% ~ 76% 的初产量,具有较好的经济效益。北美页岩油开发实践显示,重复压裂能够有效提高了产能,在某些区块,重复压裂井的初始产能甚至高于新井初始产能。

3.2 鼓励政策

国际上,各国对页岩油的开发都有相当程度的鼓励和补贴,以此提高页岩油的竞争力,降低页岩油开发成本,促进技术进步,扶持产业发展。

美国方面,政府通过减税和直接补贴的方式,鼓励企业进行页岩油开发^[37]。根据 1980 年《原油意外获利法》,对常规油气因原油涨价(与 1979 年相比)获得的额外利润征税,并将该税收收入定向补贴给非常规能源开发,鼓励新型能源的勘探开发。根据 1997 年《纳税人减负法案》,美国对非常规能源开发实行税收减免,减轻企业负担。美国还对生产非常规能源的油气井进行直接补贴,2006 - 2010 年五年期间,补贴额度达到每 t 油当量 25.05 美元。此外,美国政府还设立了非常规油气资源研究基金,从 20 世纪 80 年代开始,先后投入了 60 多亿美金。加拿大方面^[37],对页岩油气等高风险投入的矿产行业给予税收补贴鼓励,可以同时享有联邦政府和省政府的税收优惠政策,在生产前的投入税收全免,生产后税收减免 30%。俄罗斯^[38]对页岩油和海上石油勘探开发实施税收减免,按照矿层的渗透性指数等因素,减免系数最高为 80%。巴热诺夫组等 4 个页岩油区块,可享受零税率政策。

4 我国资源分布特征和勘探进展

我国页岩油资源潜力较大,但是由于各个研究机构评价标准不统一,评价结果存在较大的差异,资源规模尚未形成共识。2012 年,自然资源部油气资源战略研究中心评价数据显示,我国页岩油地质资源量 402.67 亿 t,技术可采资源量 37.06 亿 t,主要分布在松辽盆地白垩系、东部断陷盆地古近系、鄂尔多斯盆地三叠系、准噶尔盆地二叠系和四川盆地侏罗系^[39]。2014 年底,EIA 和 ARI^[20]联合对中国页岩油进行评价,结果显示,我国页岩油技术可采资源量 43.93 亿 t,排名世界第三位,主要分布在四川盆地、塔里木盆地、准噶尔盆地、松辽盆地、扬子地台、江汉盆地和苏北盆地。2019 年,中国石化评价我国页岩油地质资源量为最低为 74 亿 t,最高可达 372 亿 t^[40]。

目前,我国页岩油勘探开发取得重要进展,正在逐步走向商业化开发。近年来,中国地质调查局、中国石油、中国石化和延长石油加大了页岩油勘查开发力度,在不同盆地取得了多个层系的重要发现和突破,包括渤海湾盆地大港油田沧东凹陷和准噶尔盆地吉木萨尔凹陷等多地获得页岩油工业油流,已经开工建设页岩油油田。各个盆地的最新勘探进展如表 3 所示。

表3 我国各页岩油盆地最新勘探进展

Table 3 Latest exploration progress of shale oil basins in China

盆地	储量	进展情况(截至2019年4月)
鄂尔多斯盆地	延长组长7段预测资源量105亿t,已落实储量规模20亿t	完井试油29口,其中13口获得工业油流,其中宁148井获24.23t/d的高产油流。
准噶尔盆地	吉木萨尔凹陷中二叠统芦草沟组资源量25.5亿t,目前井控资源量11.12亿t	已完成水平井37口,投产28口,日产油369.5t,直井43口。目前吉木萨尔页岩油油田已经在建,照规划,到2021年,吉木萨尔页岩油油田产量将达100万t,2025年达200万t,预计稳产8年
渤海湾盆地	济阳坳陷预测资源量40.45亿t,沧东凹陷孔店组二段资源量超过6.8亿t	济阳坳陷有利面积1105km ² ,40口井获工业油流,其中樊159井日产19.7t;沧东凹陷15口井获工业油流,其中官1701H和官1702H压裂初产达61t/d,已稳产300天,平均日产22t
松辽盆地	北部落实资源量12.7亿t,控制储量2.57亿t;南部远景资源量156亿t,三级储量1.85亿t	北部已有28口水平井,压裂试油22口,累产31万t;南部新380、黑197等4口井获工业油流,已提交储量1136万t
江汉盆地	预测储量4169万t	主力层潜34-10韵律层有利面积95km ² ,目前已有50口钻井试油获工业油流
四川盆地	页岩油主要发育在侏罗系,成熟度较高,为凝析型页岩油,属新类型页岩油,未进行储量预测	14口井已获得工业油流,元坝9井日产16.6t,元坝HF-1井日产14t,目前正在涪陵进行3口攻关试验井钻探

目前,我国页岩油开发还存在一些问题,制约着我国页岩油产业的发展。(1)资源家底不明。目前国内对页岩油认识不统一,缺乏针对陆相页岩油的资源评价方法标准和参数体系,造成我国页岩油资源家底不明。(2)勘探手段不强。与北美海相页岩油不同,我国页岩油资源主要为陆相,富集机理和分布规律不清,已有的地球物理勘探方法甜点预测难度大,制约了页岩油的勘探效果。(3)开发技术不成熟。我国陆相富有机质页岩黏土含量高,可压性差,大部分中高成熟度页岩油埋深大于3500m,目前开发技术仍在探索阶段,水平井钻完井和储层压裂改造技术还不成熟,成本仍然较高。

5 结论与建议

从国际上看,页岩油商业开采是政策长期扶持下的高技术产业,技术革命是降低成本、商业开发的必由之路。在资源密集程度不高的情况下,必须转变开发思路,通过提高技术密集程度,切实降低开发成本,提高开采效率。根据我国实际,提出以下几点建议:

(1)系统开展全国页岩油资源潜力评价。全面系统对比国际和国内资源赋存状态,在国家层面制定科学的页岩油地质评价标准,以富有机质页岩层系和泥地比为主线,定义页岩油的地质概念,统一认识,研究提出设立页岩油新矿种。在此基础上,确立页岩油评价标准,开展全国页岩油资源调查评价,摸清家底。

(2)充分发挥科技创新作用,推动公益性地质调查先行先试。充分利用公益性地质调查的基础性

优势,做好页岩油勘探开发的“试验田”。通过国家实验室等平台,发挥科技创新的引领作用,大力推动先进技术的开发和应用。在降低开发成本的基础上,争取重大突破,建设页岩油勘探开发示范区。通过公益性地质调查展示页岩油商业开发前景,引领油公司积极跟进。

(3)保持政策扶植力度。《能源发展“十三五”规划》指出,在“十三五”期间,要“支持鄂尔多斯、松辽、渤海湾等地区超低渗油、稠油、致密油等低品位资源和页岩油、油砂等非常规资源勘探开发和综合利用”。国内主管部门应当借鉴国外经验,保持长期稳定的政策扶持和财政补贴,通过减税、定向补贴等方式,保障企业生产性科研投入,在甜点预测、水平井钻进、储层压裂改造等方面促进技术创新,推动中国的“页岩油革命”。

参考文献:

- [1] 李玉喜,张金川.我国非常规油气资源类型和潜力[J].国际石油经济,2011,19(3):61-67.
- [2] 张抗.从致密油气到页岩油气——中国非常规油气发展之路探析[J].中国地质教育,2012,21(2):9-15.
- [3] 周庆凡,杨国丰.致密油与页岩油的概念与应用[J].石油与天然气地质,2012(4):541-544.
- [4] 景东升,丁锋,袁际华.美国致密油勘探开发现状、经验及启示[J].国土资源情报,2012(1):18-19.
- [5] 姜在兴,张文昭,梁超,等.页岩油储层基本特征及评价要素[J].石油学报,2014,35(1):184-196.
- [6] 童晓光.非常规油的成因和分布[J].石油学报,2012,33(增刊一):20-26.
- [7] 贾承造,郑民,张永峰.中国非常规油气资源与勘探开发现状[J].石油勘探与开发,2012,39(2):129-136.
- [8] 张君峰,毕海滨,许浩,等.国外致密油勘探开发新进展及借鉴意义[J].石油学报,2015,36(2):127-137.

- [9] 赵文智, 胡素云, 侯连华. 页岩油地下原位转化的内涵与战略地位[J]. 石油勘探与开发, 2018(4): 537-545.
- [10] 贾承造, 郑民, 张永峰. 非常规油气地质学重要理论问题[J]. 石油学报, 2014, 35(1): 1-10.
- [11] 王大锐. 致密油与页岩油开发面临的挑战——访国家能源致密油气研发中心副主任朱如凯[J]. 石油知识, 2016(6): 10-11.
- [12] 王茂林, 程鹏, 田辉, 等. 页岩油储层评价指标体系[J]. 地球化学, 2017(2): 178-190.
- [13] 邹才能. 常规与非常规油气聚集类型、特征、机理及展望——以中国致密油和致密气为例[J]. 石油学报, 33(2): 173-187.
- [14] 杨智, 邹才能, 付金华, 等. 大面积连续分布是页岩层系油气的标志特征——以鄂尔多斯盆地为例[J]. 地球科学与环境学报, 2019, 41(4): 459-474.
- [15] Donald L. Gautier, Gordon L. Dolton, Kenneth I. Takahashi, etc. 1995 national assessment of United States oil and gas resources: results, methodology, and supporting data[R]. Denver: U. S. Geological Survey, 1996.
- [16] Unconventional oil subgroup of the resource & supply task group. Unconventional oil[R]. Washington D. C.: national petroleum council, 2011.
- [17] NEB. Tight oil developments in the western Canada sedimentary basin[R]. Calgary: national energy board, 2011.
- [18] Natural Resources Canada. Geology of Shale and Tight Resources [EB/OL]. [2019-06-25]. <https://www.nrcan.gc.ca/energy/sources/shale-tight-resources/17675>, 2016-08-23.
- [19] EIA. Oil and gas supply module of the national energy modeling system; model documentation 2018 [R]. Washington, DC: energy information administration, 2018.
- [20] Advanced resources international. EIA/ARI world shale gas and shale oil resource assessment[R]. Arlington: U. S. Energy Information Administration, 2015.
- [21] 王文庸. 全球致密油资源潜力及分布特征研究[D]. 北京: 中国石油大学, 2016.
- [22] EIA. Oil and gas supply module[R]. Washington, D. C.: U. S. Energy Information Administration, 2019.
- [23] BP. BP statistical review of world energy[R]. London: BP p. l. c., 2019.
- [24] EIA. Annual energy outlook 2019, with projections to 2050 [R]. Washington, DC: U. S. Energy Information Administration, 2019.
- [25] NEB. Canada's energy future 2017 supplement, conventional, tight and shale oil production[R]. Calgary: National Energy Board, 2017.
- [26] 刘新, 安飞, 肖璇. 加拿大致密油资源潜力和勘探开发现状[J]. 大庆石油地质与开发, 2018, 37(6): 172-177.
- [27] 梁新平, 金之钧, Alexander Shpilman, 等. 俄罗斯页岩油地质特征及勘探开发进展[J]. 石油与天然气地质, 2019, 40(3): 478-490.
- [28] 姜向强, 田纳新, 殷进垠, 等. 阿根廷内乌肯盆地页岩油气资源潜力[J]. 石油地质与工程, 2018(3): 55-63.
- [29] 澳大利亚发现大储量页岩油[J]. 石油石化节能, 2013(2): 20-20.
- [30] 方欣欣, 苑坤, 林拓. 利比亚页岩油气资源潜力分析[J]. 中国矿业, 2017, 26(s2): 25-29.
- [31] 中国能源报. 日本鲇川油气田页岩油实现商业化生产[EB/OL]. <http://www.china-nengyuan.com/news/60406.html>, 2014-04-21.
- [32] Jamie Webster. Going global: Tight oil production [R]. Washington, DC: IHS, 2014.
- [33] 叶海超, 光新军, 王敏生, 等. 北美页岩油气低成本钻井技术及建议[J]. 石油钻采工艺, 2017(5): 26-32.
- [34] Elizabeth Dilts, Sabina Zawadzki. Bakken crude breakeven prices as low as \$58/bbl in 2014 [EB/OL]. [2014-04-02]. <http://www.reuters.com/article/2014/04/02/energy-crude-bakken-idUSL1N0MU21Z20140402>.
- [35] 盛湘, 张焯. 国外页岩油开发技术进展及其启示[J]. 石油地质与工程, 2015, 29(6): 80-83.
- [36] 方文超, 姜汉桥, 孙彬峰, 等. 致密油藏特征及一种新型开发技术[J]. 科技导报, 2014, 32(7): 71-76.
- [37] 梁涛, 常毓文, 许璐, 等. 北美非常规油气蓬勃发展十大动因及对区域油气供需的影响[J]. 石油学报, 2014, 35(5): 890-900.
- [38] 孙张涛, 田黔宁, 吴西顺, 等. 国外致密油勘探开发新进展及其对中国的启示[J]. 中国矿业, 2015(9): 7-12.
- [39] 自然资源部油气资源战略研究中心. 全国页岩气资源潜力调查评价及有利区优选[R]. 北京: 自然资源部, 2012.
- [40] 金之钧, 白振瑞, 高波, 等. 中国迎来页岩油气革命了吗?[J]. 石油与天然气地质, 2019, 40(3): 451-458.

引用格式: 方圆, 张万益, 马芬, 成丽芳, 史飞洲. 全球页岩油资源分布与开发现状[J]. 矿产保护与利用, 2019, 39(5): 126-134.

FANG Yuan, ZHANG Wanyi, MA Fen, CHENG Lifang, SHI Feizhou. Research on the global distribution and development status of shale oil[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2019, 39(5): 126-134.