

引用: 张福祥, 李国欣, 郑新权, 等. 北美页岩革命时代带来的启示 [J]. 中国石油勘探, 2022, 27(1): 26-39.

Zhang Fuxiang, Li Guoxin, Zheng Xinquan, et al. Enlightenment from the post shale revolution era in North America [J]. China Petroleum Exploration, 2022, 27(1): 26-39.

北美页岩革命时代带来的启示

张福祥¹ 李国欣² 郑新权² 吴奇³ 李志斌¹ Qi Zhang¹ 王久涛¹ 张玲毓¹

(1 海峡能源有限公司; 2 中国石油勘探与生产分公司; 3 中国石油咨询中心)

摘要: 2014 年国际油价暴跌并持续低位运行, 2016 年开始北美迎来了主要从事页岩油气开发能源公司的倒闭潮。2020 年 6 月 28 日美国页岩油气开发先导者 Chesapeake 能源公司宣布破产保护, 引起了全球能源行业的高度关注。业界议论更多的是页岩油气开发能否可持续发展, 甚至有人认为北美页岩油气开发可能是新的庞氏骗局。通过总结美国页岩革命的兴起、发展、成果、社会效益及其成功的原因, 从多个维度对低油价导致的美国页岩油气危机进行分析, 对比 Chesapeake 能源公司和 EOG 能源公司两家典型的主要从事页岩油气开发公司截然不同的发展路径和结果, 总结得出当前低油价环境下页岩油气得以持续开发的基本条件为: 拥有良好的油气资产, 具备自身成本控制和盈利能力, 保证现金流为正, 控制投资风险, 力图对国内非常规油气发展有一定的启示。

关键词: 非常规油气发展; 美国页岩革命; 页岩危机; 页岩可持续发展; Chesapeake; EOG

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1672-7703.2022.01.003

Enlightenment from the post shale revolution era in North America

Zhang Fuxiang¹, Li Guoxin², Zheng Xinquan², Wu Qi³, Li Zhibin¹, Qi Zhang¹, Wang Jiutao¹, Zhang Lingyu¹

(1 Intercontinental Strait Energy Technology Co., Ltd.; 2 PetroChina Exploration & Production Company;

3 CNPC Consulting Center)

Abstract: The international oil price plummeted in 2014 and continued to operate at a low level. Since 2016, North America energy companies mainly engaged in shale oil and gas development have ushered in the bankruptcies. On June 28, 2020, Chesapeake Energy Company, the leader of shale oil and gas development in the United States, announced bankruptcy protection, attracting great attention of the global energy industry. The industry concerns more about whether shale oil and gas development can be sustainable, and some even regard that shale oil and gas development in North America may be a new Ponzi scheme. By summarizing the rise, development, achievements, social benefits and the reasons for the success of the American shale revolution, the shale oil and gas crisis in North America are analyzed from multiple factors which is caused by low oil prices, and the development paths and results of Chesapeake and EOG, the two typical energy companies mainly engaged in shale oil and gas development in North America are compared. Finally, the basic conditions for the sustainable development of shale oil and gas under the current low oil price environment are summarized, including high-quality oil and gas assets, cost control and profitability, positive cash flow, and investment risk control, so as to provide some enlightenment for the development of unconventional oil and gas in China.

Key words: unconventional oil and gas progress, American shale revolution, shale crisis, shale sustainable development, Chesapeake, EOG

第一作者简介: 张福祥 (1961-), 男, 山东青州人, 硕士, 1999 年毕业于长江大学, 教授级高级工程师, 享受国务院政府特殊津贴, 现主要从事非常规油气资源钻完井工程及压裂增产工作。地址: 北京市海淀区北三环中路 39 号, 邮政编码: 100088。E-mail: zhangfuxiang@seetc.cn

收稿日期: 2021-11-15; 修改日期: 2021-11-29

0 引言

自2005年开始,全球非常规油气活动开始兴起。在迄今16年的高速发展中,北美页岩油气经历了两次革命:第一次页岩革命(也称作页岩气革命)始于2005年(主要是2007—2010年),实现了北美页岩气爆炸式增长;第二次页岩革命由2014年油价暴跌引发,此次页岩革命(也称作页岩油革命)是为了对冲低油价给油气生产商带来的巨大冲击,以革命性降低开发成本、提高单井产量为主题。

在第二次页岩革命期间,大量页岩油气公司申请破产,但同时也有很多公司挺过寒冬并取得不错的业绩。本文对两个从事页岩油气生产的典型公司Chesapeake能源公司和EOG能源公司,结合油气价格变化,在油气资产、经营战略、油气产量、经济指标等方面进行对比,分析两家公司的兴衰,总结了页岩油气在低油价环境中得以持续开发的基本条件,如资产分布、成本控制、现金流、投资风险控制等。此外,还对美国面临的页岩危机从地质、资本和政策等角度做出分析,结合国内现状,对国内非常规油气发展提出了一些思考和建议。

1 北美页岩革命发展历程回顾

1.1 北美页岩革命的兴起与发展

北美页岩油气开发自2005年开始,经历了16年的高速发展,期间经过了3个阶段。

第一阶段从2005年到2010年,即第一次页岩革命。第一次页岩革命发起于巴内特页岩气,包括南部的鹰滩、海因斯维尔及东部的马塞勒斯页岩气等主力产区,主体技术是“水平井+水力压裂”。

第二阶段从2011年到2014年,页岩气革命促使美国本土天然气产量快速增长,天然气价格持续走低(折合人民币仅0.5~0.7元/m³),导致从事页岩气开发的生产商利润下滑。而当时的国际油价处于80~120美元/bbl的高位运行,各油气作业者开始探索使用“水平井+水力压裂”方法开采页岩油,并率先在北部的威利斯顿盆地巴肯页岩油开展先导性开发试验,实现了对巴肯页岩油的规模效益开发,随后扩展到对二叠盆地页岩油大规模开发。

第三阶段从2015年至今,即第二次页岩革命。由于2014年国际油价暴跌并持续低位运行,页岩油相对于常规油藏技术需求更高、开发成本更高、单井产量更低,各油气生产商为了对冲低油价带来的经营困境,引发了新一轮旨在提高钻完井效率、降低建井成本、提高单井产量的页岩革命^[1]。

1.2 页岩革命取得的巨大成果

美国页岩革命使得美国本土油气产量在16年内快速增长,其中页岩气产量从2007年开始高速增长(图1)。2020年12月,天然气日产量为32×10⁸m³(折年产11680×10⁸m³),页岩气日产量为20×10⁸m³(折年产约7300×10⁸m³),占比为63%,天然气开发完成了从常规到非常规的转变。

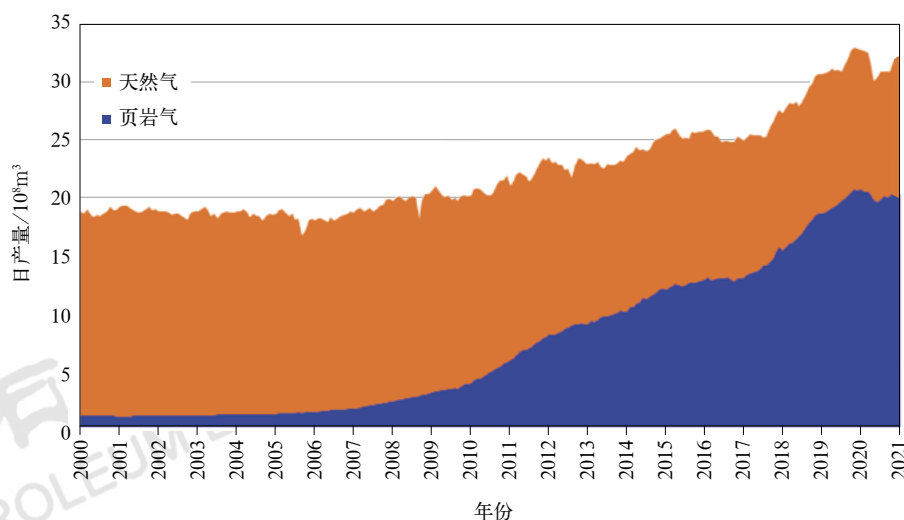


图1 美国页岩气产量与天然气产量对比图

Fig.1 Comparison between shale gas production and total natural gas production in the United State

自 2011 年各油气生产商开始使用“水平井 + 水力压裂”开发页岩油,页岩油产量开始快速增长(图 2),2014 年已经超越非页岩、墨西哥湾深水和阿拉斯加三大主力产油区域,成为美国原油产量的第一大来源。

从美国致密油(含页岩油)和原油产量对比(图 3)可以看出,2011 年致密油产量开始快速增长,2019 年日产量达到 $100 \times 10^4 \text{t}$ (折年产 $3.65 \times 10^8 \text{t}$),而此时的美国原油日产量为 $160 \times 10^4 \text{t}$ (折年产 $5.84 \times 10^8 \text{t}$),致密油日产量占原油日产量的 61%,原油开发完成了从常规到非常规的转变。

美国页岩革命使得美国成为世界上最大的产油国并实现了能源独立(图 4)^[3]。2018 年,美国超越沙特阿拉伯和俄罗斯成为世界上最大的原油生产国^[4]。

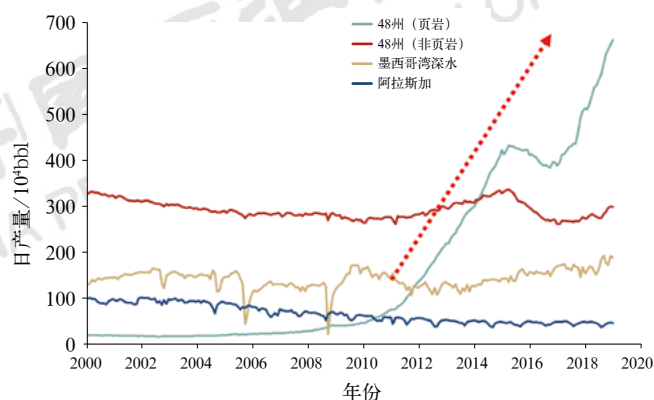


图 2 美国页岩油产量增长曲线^[2]

Fig.2 Growth curve of shale oil production in the United States^[2]

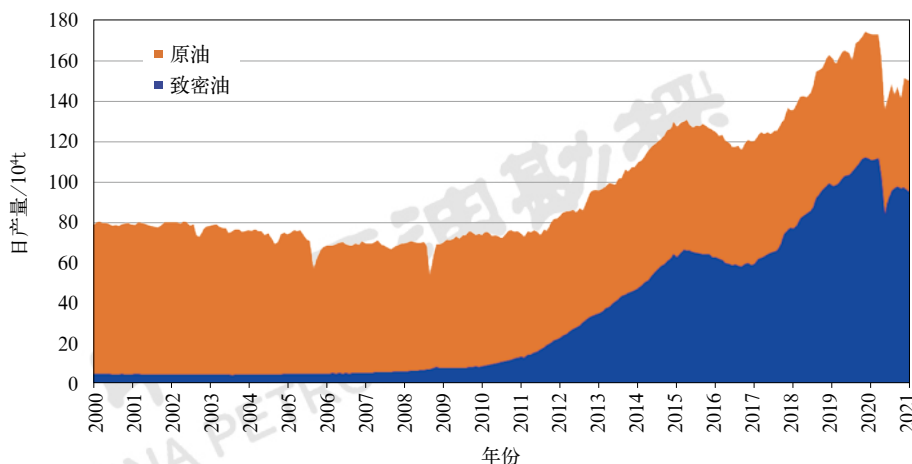


图 3 美国致密油产量与原油产量对比图

Fig.3 Comparison between tight oil production and total crude oil production in the United States

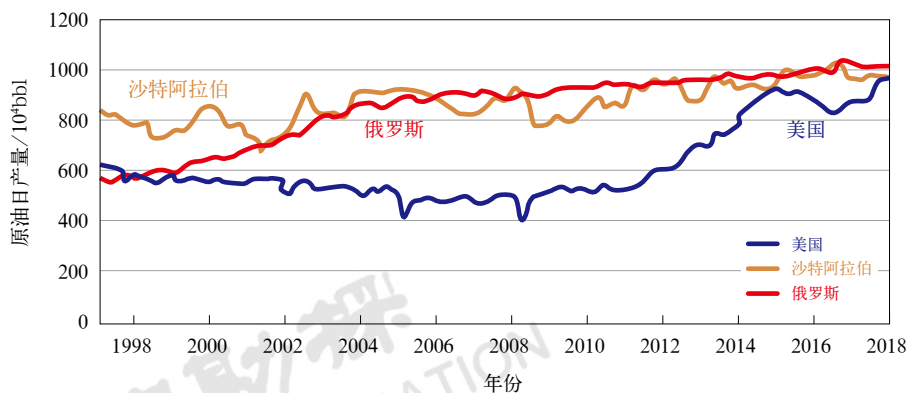


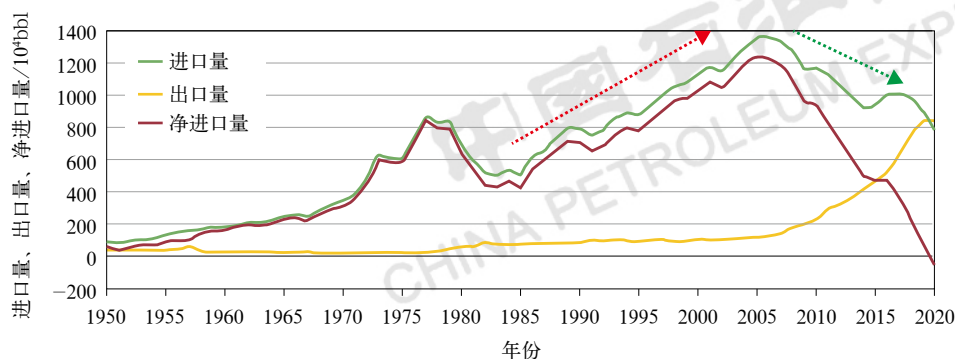
图 4 三大原油生产国产量对比图^[3]

Fig.4 Comparison of production of the three major oil producing countries^[3]

1.3 页岩革命产生的巨大社会效益

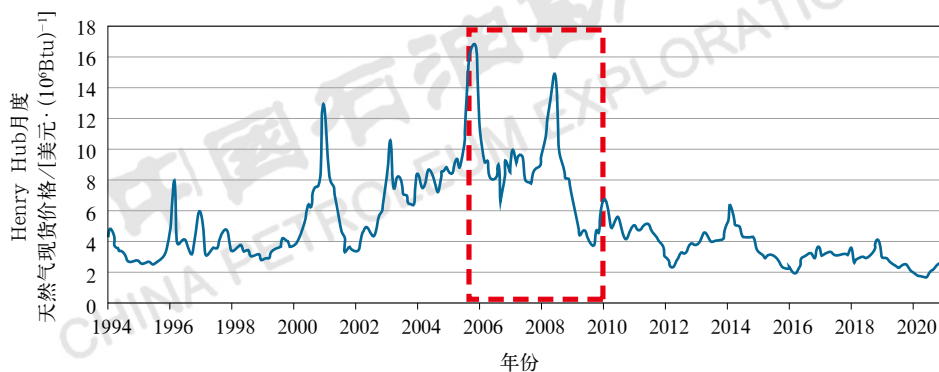
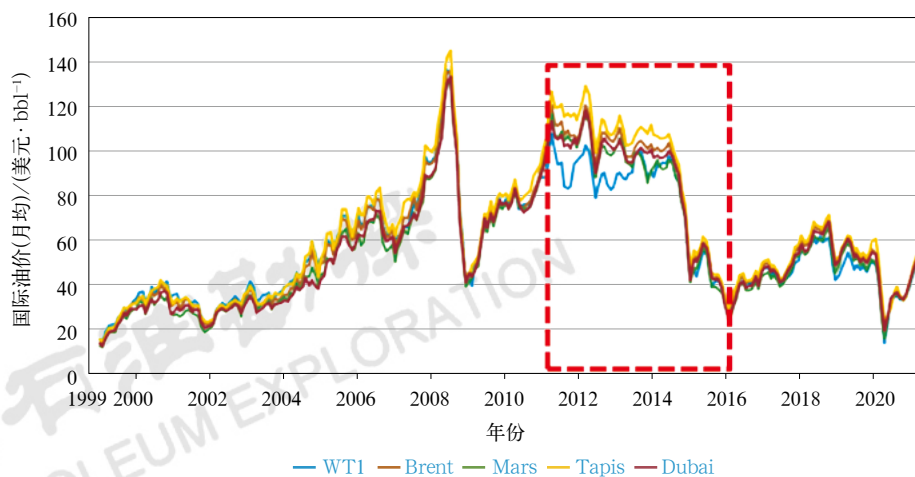
1985 年至 2005 年,美国石油进口量逐年上升,2005 年峰值超过 $1200 \times 10^4 \text{bbl/d}$,当年仅进口石油就要花费 2600 亿美元。自第一次页岩革命后,从

2005 年至 2020 年,美国石油进口量持续下跌。2020 年,美国石油出口量约为 $851 \times 10^4 \text{bbl/d}$,而石油进口量约为 $786 \times 10^4 \text{bbl/d}$,使得美国自 1950 年以来首次变成石油净出口国。美国页岩革命使得美国对外原油依存度大幅下降,实现了能源独立(图 5)。

图 5 美国 1950—2020 年石油进口量、出口量和净进口量曲线图^[5]Fig.5 Oil imports, exports and net imports of the United States from 1950 to 2020^[5]

此外，两次页岩革命使得国际油价与美国国内气价大幅降低。2020 年美国国内平均天然气价格为 2.05 美元/10⁶Btu^①，折合人民币约 0.5 元/m³，创 20 年来新低（图 6）^[6]。国际油价从 2016 年以后

持续低位运行（图 7）^[7]，5 年来主要维持在 40~60 美元/bbl 之间（平均为 45 美元/bbl）^[8-9]。美国国内民众和企业均用到了更为廉价的石油及天然气资源，满足了国民经济发展对能源的需求。

图 6 美国 1994—2020 年天然气价格走势图^[6]Fig.6 US natural gas price trend from 1994 to 2020^[6]图 7 1999—2021 年国际油价走势图^[7]Fig.7 International oil price trend from 1999 to 2021^[7]

① 1Btu=1055.056J。

1.4 页岩革命成功的原因

美国页岩革命成功的原因主要归于以下6个方面：第一，美国的很多土地是私有的，土地所有者拥有丰富的地下矿产和碳氢化合物资源。这就使得美国能源公司可以通过土地收购获取更多的区块，从而达到迅速扩张和产量提升的目的。第二，美国的法律法规和税收政策促进了油气行业的发展，例如，美国允许私有企业自由经营，政府管制较少，并提供了一个稳定的、可持续的许可审批流程。第三，早期华尔街和私募股权向页岩油气资源市场注入了大量的资本，美国的低利率环境也给了银行和私人投资者强烈的意愿将资金借贷给页岩油气公司。2014年，美国国内给页岩油气公司的贷款总额接近2500亿美元。第四，2011年至2014年连续4年的平均油价均高于90美元/bbl，这足以让页岩油开发商有很大的利润空间，推动了页岩油气公司的迅速发展和扩张。第五，美国的石油生

产商和油服公司不断地试验新技术、新方法，试图获取更多的产量，这也使得美国的页岩开采技术一直处于世界领先水平。第六，美国庞大的基础设施网络、管道和炼油厂，保障了其油气产量的快速上升^[10]。

2 北美页岩油气是否能够可持续发展

2.1 低油价带来的北美页岩油气危机

页岩革命的成功大幅提高了美国国内油气产量，增加了全球石油的供应量，最终导致全球原油供应过剩，自2014年国际油价大幅下跌（图7），因此也迎来了中小油公司大规模倒闭潮与裁员潮。

2014年至2016年间，油价暴跌导致美国上百家页岩油气公司申请破产（图8）^[11-13]，同时裁员数十万人。2019—2020年间，申请破产的数量增加了51%，达到87个。截至2020年底，美国页岩油气公司的破产申请总数达到250个^[14]。

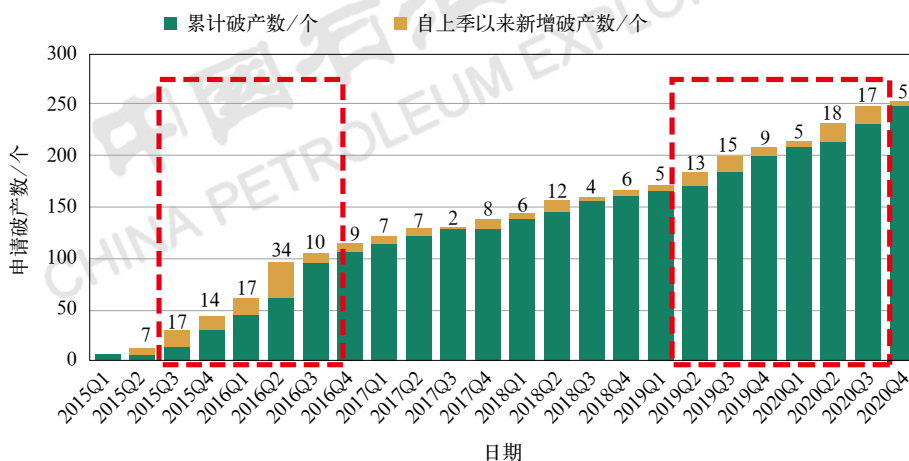


图8 美国自2015年以来每个季度申请破产的油气公司数量统计图

Fig.8 Number of Oil and gas companies filing for bankruptcy in the United States every quarter since 2015
2015Q1 表示2015年第一季度，下同

此次危机中虽然有很多公司破产，但也有很多公司不仅很快度过了危机，而且实现了可持续发展，下文通过两个典型能源公司发展过程、经营战略、风险控制等方面的对比，分析以页岩油气开发为主的能源公司可持续开发的必要条件。

2.2 美国页岩气开发先导者 Chesapeake 能源公司的兴衰

2020年新型冠状病毒在世界范围的扩散蔓延给油气市场带来沉重的打击。疫情导致全球燃料需求下降三分之一，国际油价再次暴跌至40美元/bbl。

这也再次迫使美国大量油气公司申请破产，虽然申请破产的公司数量不及2016年，但当时破产公司的规模均相对较小，债务金额也较低，而这次申请破产的公司里就包括早期从事页岩油气资源开发的 Chesapeake 能源公司，其总债务超过110亿美元。

Chesapeake 能源公司由 McClendon 和 Tom Ward 创办，他们用借来的5万美元起家。该公司于1993年上市，并很快开始试验水平井钻井和水力压裂技术，以开发当时认为毫无开采价值的页岩地层（《页岩革命》一书就讲述了 Chesapeake 能源公司早期对

页岩气的探索过程)。Chesapeake 能源公司成立初期, 平均每年花费 10 亿美元来获取从得克萨斯州到宾夕法尼亚州的开采权。在 Chesapeake 能源公司巅峰时期, 在美国的天然气产量超过了除埃克森美孚公司以外的

任何一家公司, 成为全美第二大天然气生产商(图9), 市值高达 380 亿美元^[15]。2020 年 Chesapeake 能源公司申请破产, 引起国际石油界的震动, 使大家更加关注页岩油气资源能否可持续发展^[16]。

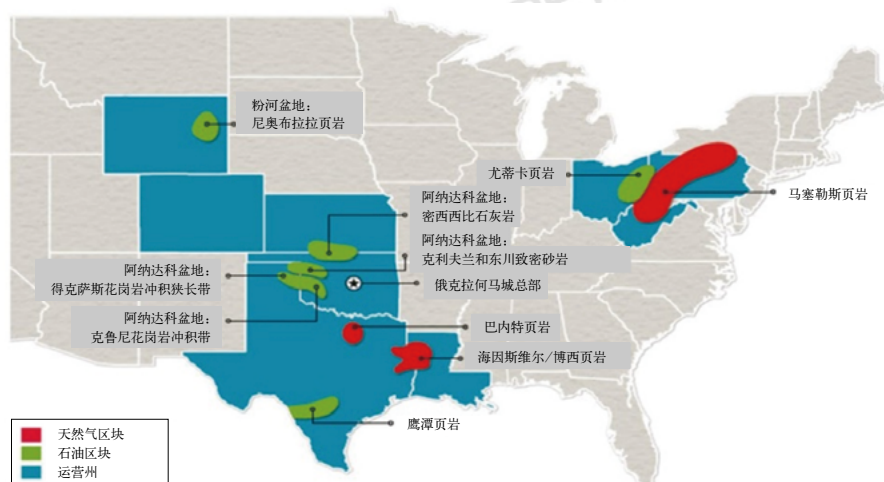


图9 Chesapeake 能源公司美国油气资产分布图

Fig.9 Distribution of oil and gas assets in the United States of Chesapeake Energy Company

导致页岩巨头 Chesapeake 能源公司破产的 7 个直接原因:

(1) 油气资产与市场不匹配。Chesapeake 能源公司拥有的区块以天然气资产为主, 而石油资产处于桶油成本较高的落基山前。在第一次页岩革命后, 2010—2020 年期间美国国内的天然气价格一直处于低位运行 (2 美元 / 10^6 Btu)。由于 Chesapeake 能

源公司天然气业务占比过大, 不但没有享受到 2010—2014 年高油价带来的红利, 反而受到了天然气价格下降的拖累。

(2) 营业收入持续下降(图10)。Chesapeake 能源公司 2014 年的营业收入是 200 亿美元, 到 2020 年下降至 52 亿美元, 降幅高达 74%。

(3) 亏损幅度屡创新高。2015 年亏损 146.4 亿

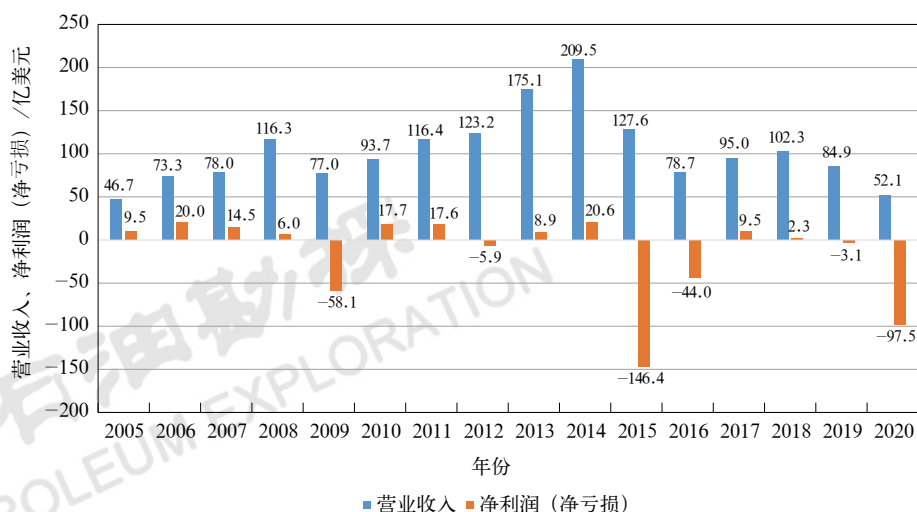


图10 Chesapeake 能源公司 2005—2020 年营业收入和净利润 (净亏损)

Fig.10 Revenue and net profit (net loss) of Chesapeake Energy Company from 2005 to 2020

美元, 2020年亏损97.5亿美元。

(4) 资产负债率过高(图11)。2010—2014年 Chesapeake 能源公司的资产约为400亿美元, 年均总负债为160亿美元, 资产负债率约为40%; 2015—2020年, Chesapeake 能源公司的资产大幅缩水至

约100亿美元, 资产负债率上升为80%; 2020年, Chesapeake 公司的总负债接近总资产的两倍。

(5) 油气产量持续下降(图12)。由2014年的油气产量 2.58×10^8 bbl 油当量下降到2020年的 1.63×10^8 bbl 油当量, 降幅达37%。

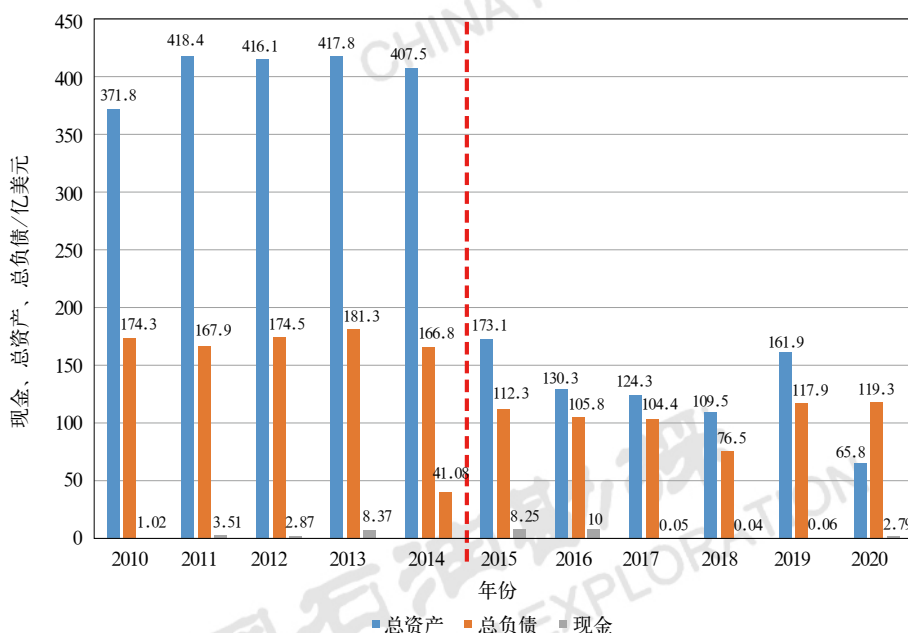


图11 Chesapeake 能源公司2010—2020年现金、总资产和总负债

Fig.11 Cash flow, total assets and total liabilities of Chesapeake Energy Company from 2010 to 2020

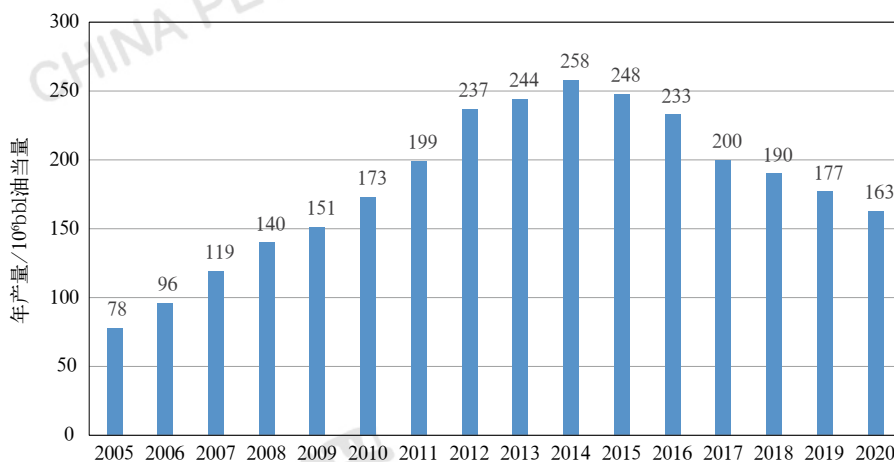


图12 Chesapeake 能源公司2005—2020年油气年产量

Fig.12 Annual production of Chesapeake Energy Company from 2005 to 2020

(6) 投资扩张与收购。Chesapeake 能源公司在2019年经营情况很不好的时候仍然斥巨资40亿美元收购了 WildHorse 资源开发公司。

(7) 现金流长期为负(图13)。Chesapeake 能源公司在2010年至2020年11年中, 只在2014年第二季度和2018年第一季度中产生了正的现金流, 其

他时间均为负。

2.3 EOG 能源公司的可持续发展之路

EOG 能源公司创立于1985年, 总部位于美国得克萨斯州休斯敦市, 为美国最大的独立石油与天然气公司之一(图14)。EOG 能源公司在经历了2015年

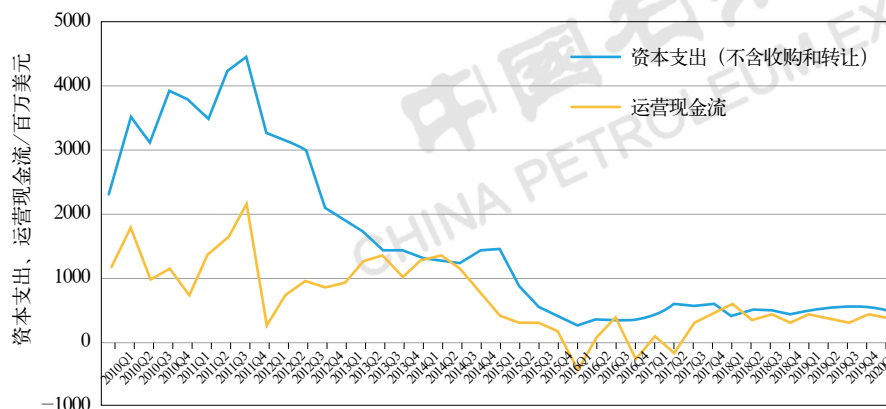


图 13 Chesapeake 能源公司 2010—2020 年季度资本支出和运营现金流

Fig.13 Chesapeake energy's quarterly capital expenditure (blue line) and operating cash flow (yellow line) from 2010 to 2020

2010Q1 表示 2010 年第一季度，下同



图 14 EOG 能源公司在美国油气资产分布图

Fig.14 Distribution of oil and gas assets in the United States of EOG Energy Company

和 2016 年的石油危机后营业收入和净利润快速恢复，2018 年和 2019 年已经基本恢复到 2014 年的水平。出色的债务管理和现金储备保证了 EOG 能源公司可以平稳地度过油气市场的艰难时期。

EOG 能源公司的良好表现原因如下^[17]：

(1) 拥有良好的油气资产。EOG 能源公司主力区块均位于桶油成本较低的二叠盆地、鹰滩和巴肯。2011—2014 年期间，国际油价一直处于高位运行（100 美元 /bbl 左右），EOG 能源公司大力转型进入原油业务，获得了高油价下的经营红利。

(2) 油气产量持续上升（图 15）。2019 年油气

产量接近 3×10^8 bbl 油当量（ 4000×10^4 t 油当量）。即便是在 2020 年，EOG 能源公司的油气产量依然保持在 2.75×10^8 bbl 油当量（ 3900×10^4 t 油当量）。

(3) 营业收入稳步上升，盈亏能力平稳可控（图 16）。EOG 能源公司 2017—2020 年期间仍能维持 100 亿美元以上的营业收入，只是在 2015 年、2016 年和 2020 年石油危机时期产生了亏损，但亏损幅度并不是很大。

(4) 极低的资产负债率。EOG 能源公司一直将公司债务控制在一个较低的水平，即使是在石油危机期间，其过去 10 年每年的资产负债率长期控制在 25% 以内（图 17）。

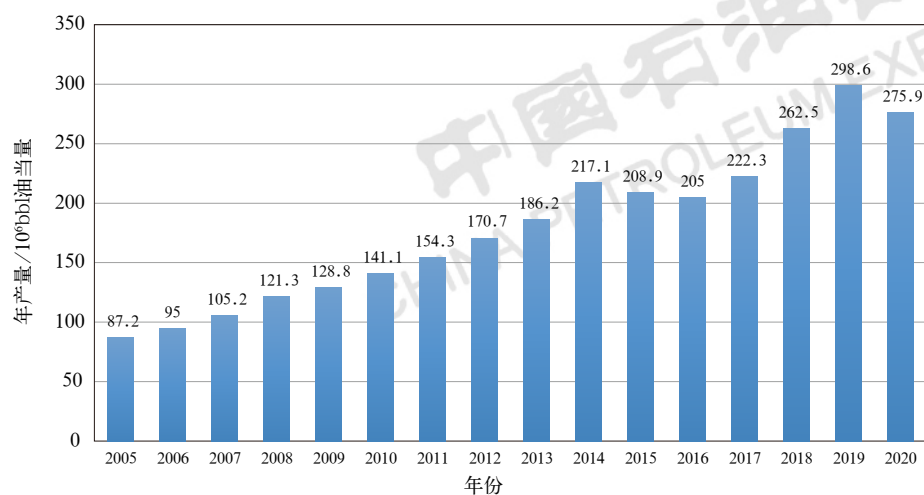


图15 EOG 能源公司 2005—2020 年油气年产量变化图

Fig.15 Annual production change of EOG Energy Company from 2005 to 2020

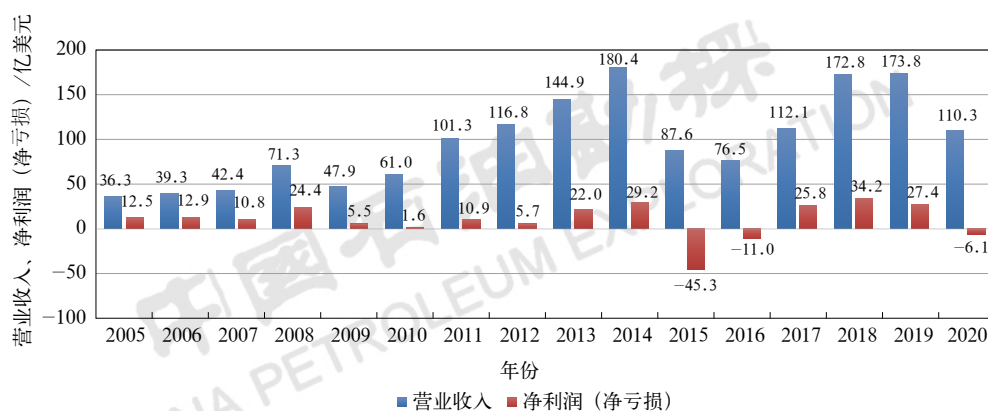


图16 EOG 能源公司 2005—2020 年营业收入和净利润 (净亏损)

Fig.16 Revenue and net income (net loss) of EOG Energy Company from 2005 to 2020

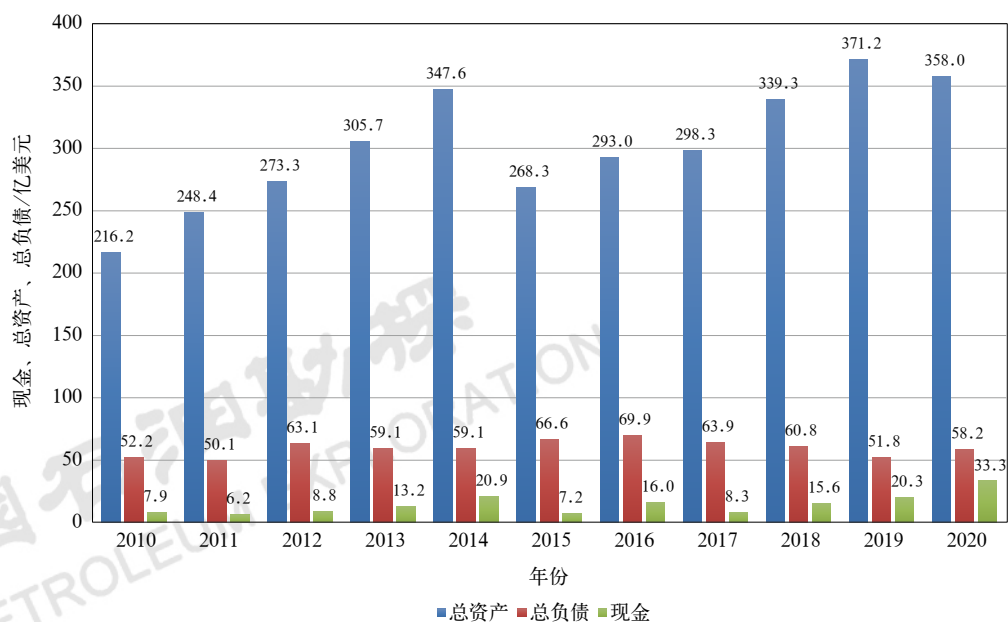


图17 EOG 能源公司 2010—2020 年现金、总资产和总负债

Fig.17 Cash flow, total assets and total liabilities of EOG Energy Company from 2010 to 2020

2.4 非常规（页岩）油气资源可持续发展的条件

(1) 拥有良好的油气资产。油气作业者无法控制石油及天然气价格时，拥有好的油气资产可以更好地应对油气市场的变化。对比 EOG 和 Chesapeake 两家能源公司（图 18），2010 年 EOG 能源公司转型页岩油，其主力区块位于桶油成本较低的二叠盆地、鹰

滩和巴肯。2011 年以后 EOG 能源公司的原油产量一直高于 Chesapeake 能源公司 3~4 倍，2011—2014 年高油价期间，获得高额回报。Chesapeake 能源公司以天然气资产为主，石油资产位于桶油成本高的落基山，2010—2020 年，天然气价格一直位于低位运行，导致营业收入持续下降、现金流长期为负，陷入经营困境。

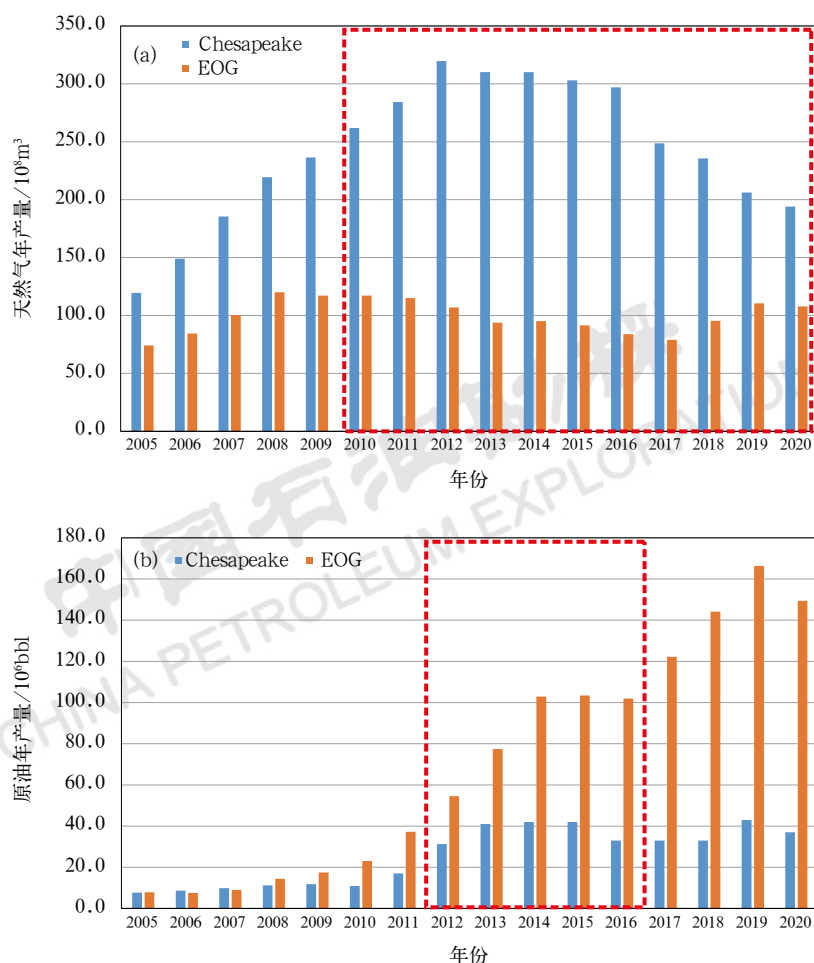


图 18 Chesapeake 能源公司与 EOG 能源公司原油、天然气年产量对比图^[6-7]

Fig.18 Comparison of annual crude oil and gas production between Chesapeake Energy Company and EOG Energy Company^[6-7]

(2) 自身成本控制和盈利能力。2014 年国际油价暴跌并持续低位运行，各油气生产商为了对冲低油价带来的巨大经营压力，通过延长水平段长度（大幅度提高钻井效率）和增大压裂规模（疯狂压裂）来提高单井产量和单井 EUR，同时大幅度降低建井成本，在非常规油气资源技术进步方面 EOG 能源公司是业界公认做的最好的。

(3) 保证现金流为正，控制投资风险。EOG 能源公司现金流控制较好，风险管控有效，走向更加可

持续发展之路；而 Chesapeake 能源公司则长期现金流为负，在 2019 年经营困难的情况下仍然斥巨资进行公司并购，导致更大的风险与危机。

通过两次页岩革命，作为美国页岩油主力产区的二叠盆地，其产量占美国本土石油总产量的 1/3，平均桶油成本为 37 美元；鹰滩东部区域平均桶油成本为 48 美元（图 19）。即使油价在 40~50 美元/bbl 之间，非常规（页岩）资源也具备可持续发展的条件^[18]。

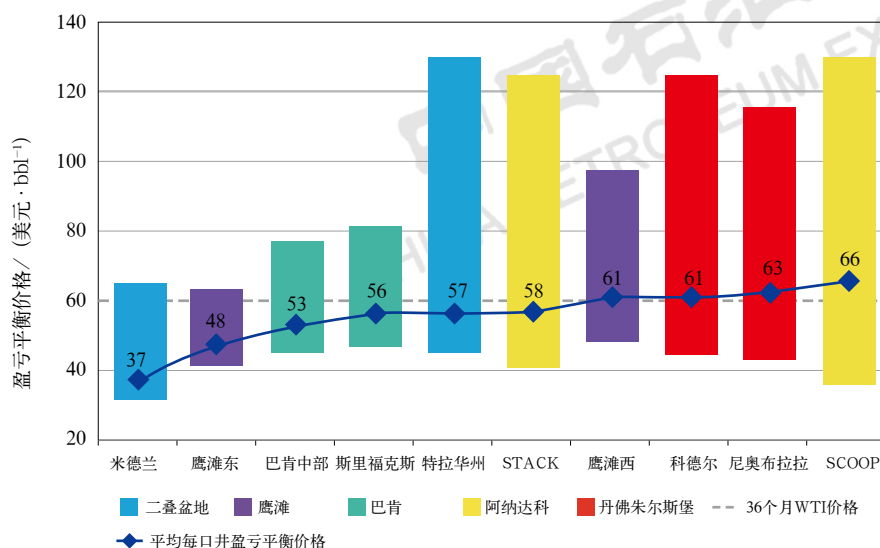


图 19 美国 48 州各非常规区块平均桶油盈亏平衡价格

Fig.19 Average breakeven price per barrel of oil in unconventional blocks in 48 states of the United States

2.5 美国页岩油气资源发展面临的挑战

通过大量数据和事例分析可以得出结论：北美非常规（页岩）油气可持续发展毋庸置疑。但在页岩革命时代，页岩油气发展仍然会面临新的挑战，主要表现在地质、资本和政策 3 个方面^[19]。

(1) 从地质上来讲，虽然美国页岩盆地覆盖的面积非常广阔，然而实际的甜点区却要小得多。随着页岩油气规模开发，优质甜点区越来越少，资源接替与产能提升依然面临巨大挑战。以巴肯地区为例，大部分油气产量仅来自很少的几个县（邓恩县、麦肯齐县、蒙特莱尔县、威廉姆斯县），只能依靠打加密井来维持产量增长（图 20）。再如主力产区二叠盆地，页岩油面积大、地质结构复杂，其产量来自不同的层段。随着新井数量的持续增加，二叠盆地也面临着类似的问题，产量增速也在放缓，只能依靠甜点区外部打井及甜点区内部打加密井维持产量。

(2) 从资本因素上来讲，页岩油气开发投资巨大，在低油价下回收期长，且自由现金流长期为负，无法为投资人获取可观的投资收益（图 21）。投资者对页岩油气行业投资兴趣减小，页岩油气行业逐步失去资本市场的青睐。页岩油气生产商融资成本逐渐增加，私募股权所募集资金的总额在 2015 年达到最高点后开始逐年下滑（图 22）。

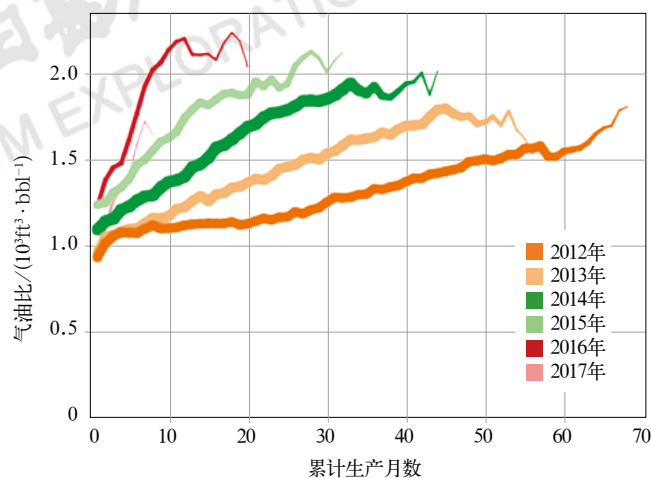


图 20 巴肯地区新井平均气油比

Fig.20 Average gas to oil ratio of new wells in Bakken area

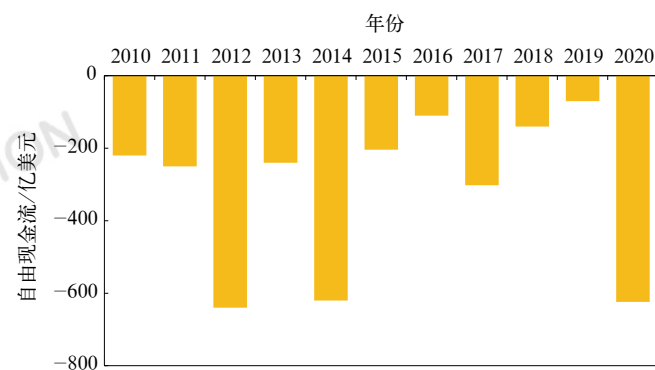


图 21 美国页岩油气公司 2010—2020 年平均自由现金流

Fig.21 Average free cash flow of US shale oil and gas companies from 2010 to 2020

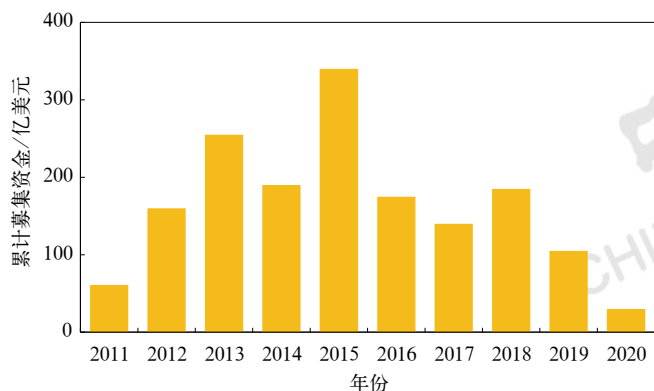


图 22 美国页岩油气公司 2011—2020 年从私募股权所募集资金的总额

Fig.22 Total funds raised by US shale oil and gas companies from private equity from 2011 to 2020

(3) 从政策上来讲, 税收优惠大幅减少(图 23)。自 2015 年以来, 美国政府对化石能源的税收优惠逐年减少, 从 2015 年的 60 亿美元减少到了 2020 年的 20 亿美元, 降幅接近 60%。美国新一届政府承诺将

大力发展清洁能源, 更加重视气候变化和环境问题, 总体看油气行业的监管将更加严格。美国计划 2035 年通过向可再生能源过渡实现无碳发电, 到 2050 年美国实现碳中和, 新能源政策将导致美国原油需求下降, 抑制美国页岩油气产量的恢复^[20]。

3 对国内非常规油气资源发展的启示

3.1 国内非常规油气资源加大勘探开发力度的必要性

20 多年来, 国内油气需求快速增长, 对外依存度不断攀升, 2019 年原油和天然气对外依存度分别达 72.5% 和 45.2%, 未来需求仍将持续增长。但中国油气勘探开发历经半个多世纪的发展, 部分主力含油气盆地已进入常规油气资源勘探开发中后期阶段, 非常规油气成为增储上产的主力, 特别是新发现油气资源劣质化显著, 且这种趋势呈逐年递增态势。这就需要加大国内勘探开发力度, 特别是加快非常规资源开启动用, 保障国家油气供给安全。

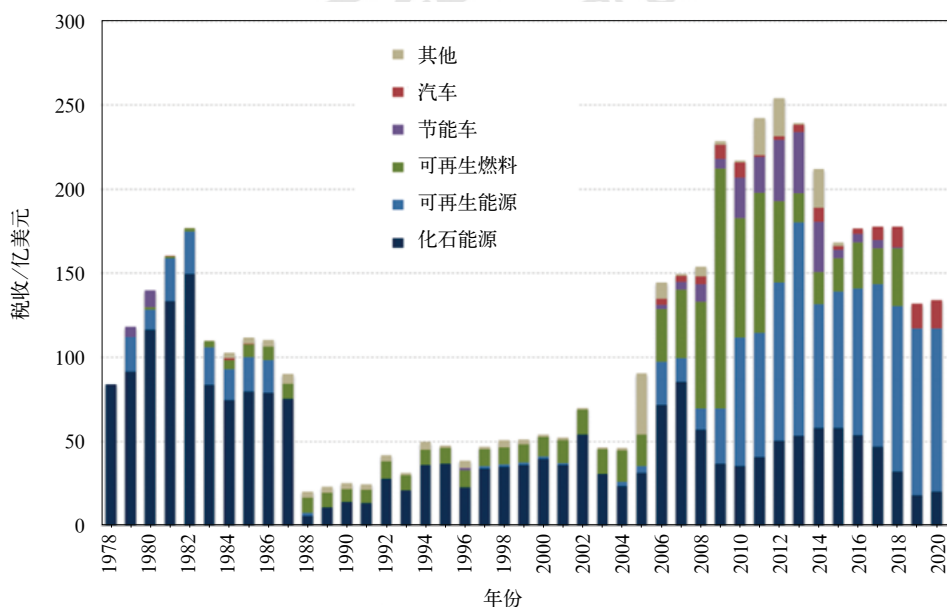


图 23 美国历年来对能源行业的税收优惠政策

Fig.23 Preferential tax policies for the energy industry in the United States over the years

3.2 国内非常规油气资源潜力及勘探开发进展

中国页岩油气资源丰富, 主要集中在四川、鄂尔多斯、准噶尔、松辽、柴达木和渤海湾等盆地^[21], 相对北美, 国内的非常规油气(特别是页岩油气)勘探起步相对较晚(晚 5~7 年), 但经过“十二五”和“十三五”期间持续勘探评价、先导性试验、示范

区建设已经取得了重大进展, 致密气、页岩气、致密油/页岩油相继已形成规模产能。一是形成了鄂尔多斯盆地致密气大气区^[22]: 截至 2018 年底, 长庆油田已探明致密气地质储量 $4.38 \times 10^{12} \text{m}^3$, 可采储量为 $2.31 \times 10^{12} \text{m}^3$, 落实了苏里格和盆地东部两个万亿立方米级大气区和盆地南部两个规模储量接替区。2018 年盆地致密气产量为 $235 \times 10^8 \text{m}^3$, 2019 年产量为

$256 \times 10^8 \text{m}^3$ 。二是中国石油在四川盆地川南页岩气累计探明地质储量 $10610 \times 10^8 \text{m}^3$, 2018 年中国石油、中国石化在川南和涪陵页岩气年产量为 $100 \times 10^8 \text{m}^3$, 2020 年年产达到 $200 \times 10^8 \text{m}^3$ ^[23-24]。三是 2020 年陆上致密油/页岩油已探明地质储量 $7.37 \times 10^8 \text{t}$, 建成产能 $400 \times 10^4 \text{t/a}$ 以上。

3.3 国内非常规油气资源开发面临的挑战

北美海相致密油、页岩油地质条件相对优越, 沉积环境、地质构造稳定, 分布面积广、厚度大, 热演化程度高、埋深适中, 页岩层系压力高、含油饱和度高、气油比高、流动性较好^[25]。而中国不同沉积盆地不同类型陆相页岩层系具有纵横向相变快、单层厚度小、热演化程度偏低、压力系数低、流体黏度高(准噶尔盆地吉木萨尔页岩油地面原油密度为 $0.888 \sim 0.918 \text{g/cm}^3$, 50°C 时黏度为 $73 \sim 300 \text{mPa}\cdot\text{s}$) 等特点^[26]。由于中国陆上页岩油气复杂的地质条件, 客观上对开发技术要求更高, 开发桶油成本也更高^[27]。

美国二叠盆地东部的米德兰凹陷 Wolfcamp 页岩层埋深为 $2000 \sim 2500 \text{m}$, 2018 年后全部采取超长水平井开发(平均水平段长度为 3000m), 钻井周期为 $15 \sim 25$ 天、单井压裂 $35 \sim 40$ 级, 压后初期日产量 IP30 为 $200 \sim 300 \text{m}^3$, 单井建井投资为 500 万 ~ 550 万美元, 桶油成本在 $25 \sim 40$ 美元之间, 1.5 年可收回投资。国内页岩油已经全部采取水平井开发, 水平段长度普遍在 $1500 \sim 2000 \text{m}$ 之间, 钻井周期为 $40 \sim 60$ 天, 压裂级数为 $25 \sim 30$ 级, 压后初期日产量 IP30 为 $30 \sim 100 \text{m}^3$, 单井建井成本为人民币 3000 万 ~ 5000 万元(约 500 万 ~ 800 万美元), 桶油成本为 $60 \sim 70$ 美元。

长期来看, 减少碳排放是全人类共同的发展目标, 作为化石能源的石油需求量会逐渐减少, 供给过剩导致长期低油价将可能是常态(当然也不排除有短时间的高油价)。国内油气勘探开发也将逐渐进入非常规时代, 保证低油价下的效益开发将是实现国内常规油气资源向非常规油气资源转变的唯一途径。

3.4 国内非常规油气资源可持续发展的条件

北美经过两次页岩革命, 度过 2014 年到 2020 年 7 年间低油价带来的页岩危机, 实现油气产量的跨越式增产, 主要是依赖于 4 个方面: 一是寻找更好的区块, 并对区块进行评价分类, 如康菲公司按桶油成本将区块标为 30 美元区、35 美元区和 40 美元区, 并

按照当期油价开发不同的区块。二是持续不断的技术创新, 大幅度提高钻井效率、降低开发成本、提高单井产量和 EUR。三是全市场化的竞争机制。2019 年北美石油工业界最流行的一句话是 “One day one mile” (一天钻一英里), 在二叠盆地如果一家钻井承包商钻一口水平井超过一个月, 那么就不会再有油公司给予业务。正是因为有了高度市场化的竞争机制, 油公司和油服公司才能共同致力于不断提高钻井效率、降低建井成本。四是政府给予优惠的税收政策。北美页岩革命积累了丰富的理论认识和关键技术, 形成了卓越的管理理念和先进的管理模式, 对助推中国页岩油气革命、加快资源高效开发利用具有重要的指导意义。

4 结论

北美页岩革命经过十几年的发展, 取得了巨大成功, 无论是天然气还是原油的开发均完成了从常规到非常规的转变, 使得美国对外原油依存度大幅下降, 实现了能源独立, 也为美国民众和企业带来了巨大的社会效益。在非常规油气资源开发的过程中, 以 Chesapeake 能源公司为代表的企业纷纷破产, 但同时也不乏 EOG 之类的公司保持良好的运转。其原因在于是否具备良好的油气资产、做好成本控制以保障稳定的盈利能力, 同时要保障现金流、控制投资风险。国内油气需求快速增长, 对外依存度不断攀升, 非常规油气资源是增储上产的重要方向。北美页岩革命时代对国内非常规油气资源可持续发展具有重要的借鉴意义, 油田公司寻找非常规油气盆地优势区块及优质甜点区, 加大技术创新力度, 建立并充分运用市场化竞争机制, 同时还要努力争取政府税收优惠政策。

参考文献

- [1] Hughes J D. Energy: a reality check on the shale revolution[J]. Nature, 2013, 494(7437): 307-308.
- [2] Mine Yücel, Michael D Plante. GDP gain realized in shale boom's first 10 years[EB/OL]. (2019-08-20). <https://www.dallasfed.org/research/economics/2019/0820>.
- [3] U.S. Energy Information Administration. The United States is now the largest global crude oil producer[EB/OL]. (2018-09-12). <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=37053>.
- [4] Manescu C B, Nuño G. Quantitative effects of the shale oil revolution[J]. Energy Policy, 2015, 86: 855-866.
- [5] U.S. Energy Information Administration. Monthly Energy Review[EB/OL]. (2021-03-25). <https://www.eia.gov/>

- totalenergy/data/monthly/archive/00352103.pdf.
- [6] U.S. Energy Information Administration. In 2020, U.S. natural gas prices were the lowest in decades[EB/OL]. (2021-01-07). <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=46376>.
- [7] U.S. Energy Information Administration. What drives crude oil prices?[EB/OL]. (2021-10-20). https://www.eia.gov/finance/markets/crudeoil/spot_prices.php.
- [8] Salisu A A, Adediran I A. The US shale oil revolution and the behavior of commodity prices[J]. *Econometric Research in Finance*, 2018,3(1):27-53.
- [9] Monge M, Gil-Alana L A, de Gracia F P. US shale oil production and WTI prices behaviour[J]. *Energy*, 2017,141:12-19.
- [10] Hefner III R A. The United States of gas: why the shale revolution could have happened only in America[J]. *Foreign Affairs*, 2014,93(3):9-14.
- [11] Bataa E, Park C. Is the recent low oil price attributable to the shale revolution?[J]. *Energy Economics*, 2017,67:72-82.
- [12] Kilian L. The impact of the shale oil revolution on US oil and gasoline prices[J]. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2016,10(2):185-205.
- [13] Aguilera R F, Radetzki M. The shale revolution: global gas and oil markets under transformation[J]. *Mineral Economics*, 2014,26(3):75-84.
- [14] Salmon S. Booms and busts: preserving mother nature while staring into the abyss of bankruptcy[J]. *Texas Tech Administrative Law Journal*, 2014,16:465.
- [15] Miller Jeff, Evans Lesley, Keith Yankowsky. Unconventional Resources - Chesapeake's Integrated Workflow[C]. SPE/AAPG/SEG Unconventional Resources Technology Conference, 2013.
- [16] 李志欣, 王坤, 刘婧瑶. 美国切萨皮克能源公司破产重组原因分析与启示[J]. *石油科技论坛*, 2020,39(6):62-67.
Li Zhixin, Wang Kun, Liu Jingyao. Analysis of reasons for US Chesapeake Energy Corporation's bankruptcy and restructuring[J]. *Petroleum Science and Technology Forum*, 2020,39(6):62-67.
- [17] Weijermars Ruud, Steve Watson. Unconventional—natural—gas business: TSR benchmark and recommendations for prudent management of shareholder value[J]. *SPE Economics & Management*, 2011,3(4):247-261.
- [18] Jacobs Trent. Shale EOR delivers, so why won't the sector go big?[J]. *Journal of Petroleum Technology*, 2019,71(5):37-41.
- [19] Rassenfoss Stephen, Whitfield Stephen, Trent Jacobs. Unconventional resources technology conference highlights shale as an international business[J]. *Journal of Petroleum Technology*, 2017,69(9):46-57.
- [20] Donnelly John. Comments: shale enters a new phase[J]. *Journal of Petroleum Technology*, 2019,71(12):12.
- [21] 赵文智, 贾爱林, 位云生, 等. 中国页岩气勘探开发进展及发展展望[J]. *中国石油勘探*, 2020,25(1):31-44.
Zhao Wenzhi, Jia Ailin, Wei Yunsheng, *et al.* Progress in shale gas exploration in China and prospects for future development[J]. *China Petroleum Exploration*, 2020,25(1):31-44.
- [22] 杜燕, 刘超, 高潮, 等. 鄂尔多斯盆地延长探区陆相页岩气勘探开发进展、挑战与展望[J]. *中国石油勘探*, 2020,25(2):33-42.
Du Yan, Liu Chao, Gao Chao, *et al.* Progress, challenges and prospects for continental shale gas exploration and development in the Yanchang exploration area of the Ordos Basin[J]. *China Petroleum Exploration*, 2020,25(2):33-42.
- [23] 邹才能, 赵群, 丛连铸, 等. 中国页岩气开发进展、潜力及前景[J]. *天然气工业*, 2021,41(1):1-14.
Zou Caineng, Zhao Qun, Cong Lianzhu, *et al.* Development progress, potential and prospect of shale gas in China[J]. *Natural Gas Industry*, 2021,41(1):1-14.
- [24] 孙焕泉, 周德华, 蔡勋育, 等. 中国石化页岩气发展现状与趋势[J]. *中国石油勘探*, 2020,25(2):14-26.
Sun Huanquan, Zhou Dehua, Cai Xunyu, *et al.* Progress and prospects in shale gas development of Sinopec[J]. *China Petroleum Exploration*, 2020,25(2):14-26.
- [25] 李国欣, 覃建华, 鲜成钢, 等. 致密砾岩油田高效开发理论认识、关键技术与实践: 以准噶尔盆地玛湖油田为例[J]. *石油勘探与开发*, 2020,47(6):1185-1197.
Li Guoxin, Qin Jianhua, Xian Chenggang, *et al.* Theoretical understandings, key technologies and practices of tight conglomerate oilfield efficient development: a case study of the Mahu oilfield, Junggar Basin, NW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2020,47(6):1185-1197.
- [26] 李国欣, 朱如凯. 中国石油非常规油气发展现状、挑战与关注问题[J]. *中国石油勘探*, 2020,25(2):1-13.
Li Guoxin, Zhu Rukai. Progress, challenges and key issues in the unconventional oil and gas development of CNPC[J]. *China Petroleum Exploration*, 2020,25(2):1-13.
- [27] 唐玮, 梁坤, 冯金德, 等. 低油价下美国页岩油困境对我国油田勘探开发的启示[J]. *石油科技论坛*, 2020,39(4):26-30.
Tang Wei, Liang Kun, Feng Jinde, *et al.* Enlightenment from dilemma of US shale oil development under low oil prices[J]. *Petroleum Science and Technology Forum*, 2020,39(4):26-30.