

美国页岩油气勘探开发现状与发展前景

周庆凡，杨国丰

(中国石化石油勘探开发研究院)

摘要：目前美国已发现并成功开发了12个主要页岩油气区带。页岩油气证实储量总体呈增长趋势。截至2016年底，美国的页岩气证实储量为209.8万亿立方英尺，约占当年美国天然气总证实储量的61.5%；致密油证实储量为155.55亿桶，占当年美国原油和凝析油总证实储量的44%。2017年，美国页岩气平均产量为460.5亿立方英尺/日，产量增长主要来自马塞勒斯、伊格尔福特、海因斯维尔、巴奈特、奈厄布拉勒、二叠纪盆地、尤提卡等区带；页岩油平均产量为469万桶/日，增长主要来自二叠纪盆地、巴肯和伊格尔福特等三大页岩区。受2014年油价下跌影响，美国页岩油气作业钻机明显减少，但自2016年中期开始恢复增长。根据预测，页岩油气还将持续增长，是未来美国油气产量增长的主要来源。

关键词：美国；页岩油；页岩气；储量；产量；作业钻机数；待完井井数；产量增长

Status and prospects of shale oil & gas exploration in the United States

ZHOU Qingfan, YANG Guofeng

(SINOPEC Petroleum Exploration and Production Research Institute)

Abstract: Currently, 12 major shale oil and gas plays have been discovered and successfully developed in the United States. Proved reserves of oil and gas in shale plays increased dramatically. By the end of 2016, shale oil and gas reserves in the US had reached 15.5 Bbbl and 209.8 Tcf respectively, which made up 44% and 61.5% of proved reserves there. In 2017, the US produced 46.05 Bcf/d shale gas and 4.69 MMbbl shale oil (includes tight oil). Marcellus, Eagle Ford, Haynesville, Barnett, etc. are the main shale gas plays and shale oil is mainly produced from Permian Basin, Bakken and Eagle Ford plays. The price collapse in 2014 already has affected drilling activities in shale plays, which have recovered since mid-2016. Shale oil and gas will be the growth engine of oil and gas production in the US.

Key words: the United States; shale oil; shale gas; reserve; production; rotary rig count; DUC; production growth

的占比持续提高，2014和2015年都超过了50%，2016年更是超过60%（见图2）。

从资源的地区分布上看，宾夕法尼亚州的页岩气资源最丰富，其次是得克萨斯州、西弗吉尼亚州、俄克拉荷马州、俄亥俄州、路易斯安那州、北达科他州和阿肯色州（见图3）。截至2016年底，美国页岩气证实储量为209.8万亿立方英尺（较2015年增加34.2万亿立方英尺），约占当年美国天然气总证实储量的61.5%。其中阿巴拉契亚盆地马塞勒斯区带的页岩气证实储量最多，占美国页岩气总证实储量的40%以

上，其次为伊格尔福特、伍德福德、沃尔夫坎普与博恩斯普林、巴奈特、尤提卡、海恩斯维尔/博西尔和费耶特维尔（见表1）。

1.3 美国页岩油储量

截至2016年底，美国致密油证实储量为155.55亿桶（比2015年增加39.53亿桶），占当年美国原油和凝析油总证实储量的44%，其中97%以上的页岩油证实储量来自七大页岩油区带（见表2）。巴肯区带的页岩油证实储量为52.26亿桶，名列第一；二叠纪盆地沃尔夫坎普和博恩斯普林区带的页岩油储量大大

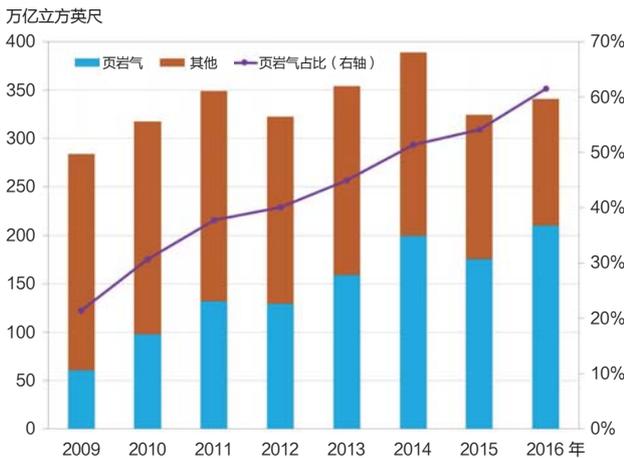


图2 美国天然气证实储量构成及页岩气占比变化

资料来源：U.S. Crude Oil and Natural Gas Proved Reserves, Year-end 2016[R]. EIA, 2018

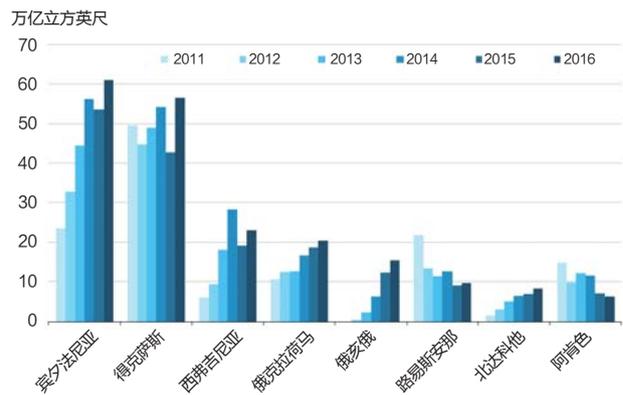


图3 美国主要页岩气资源州的证实储量变化

资料来源：U.S. Crude Oil and Natural Gas Proved Reserves, Year-end 2016[R]. EIA, 2018

表1 美国主要盆地页岩气证实储量

单位：万亿立方英尺

盆地/地区	区带	2015年	2016年
阿巴拉契亚盆地	马塞勒斯	72.7	84.1
沃斯堡盆地	巴奈特	17.0	16.8
墨西哥湾盆地西部	伊格尔福特	19.6	22.7
得克萨斯—路易斯安那盐盆	海恩斯维尔/博西尔	12.8	13.0
阿纳达科盆地	伍德福德	18.6	20.2
阿科马盆地	费耶特维尔	7.1	6.3
阿巴拉契亚盆地	尤提卡	12.4	15.5
二叠纪盆地	沃尔夫坎普与博恩斯普林	3.0	19.1
其他地区		12.3	12.1
美国总计		175.6	209.8

注：表中马塞勒斯区带储量仅指该区带在宾夕法尼亚州和西弗吉尼亚州的储量

资料来源：U.S. Crude Oil and Natural Gas Proved Reserves, Year-end 2016[R]. EIA, 2018

表2 美国主要盆地页岩油证实储量

单位: 亿桶

盆地/地区	区带	2015年	2016年
威利斯顿盆地	巴肯	50.3	52.26
二叠纪盆地	沃尔夫坎普与博恩斯普林	7.82	49.6
墨西哥湾盆地西部	伊格尔福特	42.95	41.63
阿纳达科盆地	伍德福德	3.84	3.89
丹佛盆地	奈厄布拉勒	4.60	2.25
阿巴拉契亚盆地	马塞勒斯	1.43	1.39
沃斯堡盆地	巴奈特	0.33	0.22
其他		4.75	4.31
美国总计		116.02	155.55

资料来源: U.S. Crude Oil and Natural Gas Proved Reserves, Year-end 2016[R]. EIA, 2018

幅增长近42亿桶, 至49.6亿桶, 超出伊格尔福特区带, 排名第二; 伊格尔福特区带则以41.63亿桶的页岩油证实储量排名第三。

2 美国页岩油气产量

2.1 美国页岩气产量

美国页岩气开发最早可以追溯到1821年的第一口气井, 距今已有近200年的历史, 但页岩气大规模开发起于上世纪90年代末, 米切尔 (Mitchell) 能源公司在沃斯堡盆地巴奈特區带的页岩气开发技术突破——巴奈特页岩气开发的成功拉开了美国页岩气革命的大幕。根据EIA的统计, 2008年以来的10年间, 美国页岩气产量持续快速增长, 除2016年9、10月出现过较明显下降外, 几乎未受近年油气价格低迷的影响。2017年, 美国页岩气平均产量为460.5亿立方英尺/日, 比上年增加了约7%, 2018年前6个月的平均产量已超过500亿立方英尺/日 (见图4)。

目前, 美国页岩气产量增长主要来自马塞勒斯、伊格尔福特、海因斯维尔、巴奈特、奈厄布拉勒、二叠纪盆地、尤提卡等区带。其中, 阿巴拉契亚地区 (包括马塞勒斯和尤提卡) 是美国页岩气产量最大、增长最快的地区, 该区2017年的产量约为240亿立方英尺/日, 约占美国页岩气总产量的52%, 2018年前6个月产量已超过270亿立方英尺/日。马

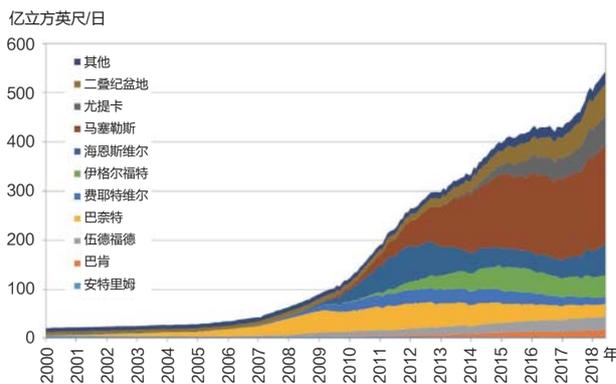


图4 2000-2018年美国页岩气产量变化

资料来源: EIA, 2018-08

塞勒斯是阿巴拉契亚区和全美最大的页岩气产区, 2017年的产量接近190亿立方英尺/日, 2018年前6个月平均产量约为200亿立方英尺/日。阿纳达科地区 (包括伍德福德、STACK、SCOOP等页岩区)、二叠纪盆地、伊格尔福特和海因斯维尔4个地区的页岩气产量均在60亿立方英尺/日左右。巴肯和奈厄布拉勒页岩区以页岩油为主, 页岩气产量相对较低。

2.2 美国页岩油产量

美国的页岩油开发始于上世纪50年代的威利斯顿盆地, 但产量一直较低。2000年以来, 美国页岩气开发获得突破带来天然气产量快速增长, 导致美国国内天然气价格大幅下跌, 并长期保持在较低水平, 页岩气开发效益下降甚至亏本。2005年前后,

页岩气公司开始转向页岩油开发，美国的页岩油开发取得一系列重大进展，页岩油产量从2009年开始进入快速增长期。然而受低油价影响，美国页岩油产量在2015年3月达到468万桶/日的阶段峰值后，出现连续18个月的递减，2016年9月达到375万桶/日的阶段低值后持续快速回升。2017年，美国页岩油平均产量为469万桶/日，2018年前6个月产量已超过560万桶/日（见图5）。

美国页岩油产量增长主要来自二叠纪盆地、巴肯和伊格尔福特等3大页岩区。二叠纪盆地是目前美国最大的页岩油产区，产量已超过200万桶/日，且仍呈上升趋势，其页岩油产自斯普拉贝里、博恩斯普林、沃尔夫坎普、特拉华（Delaware）和耶索-格洛列塔（Yeso-Glorieta）5个区带。威利斯顿盆地的巴肯页岩区带是美国致密油开发的发源地，在2014年12月到达122万桶/日的峰值产量后，连续两年产量呈总体下降趋势，2016年底一度降至92万桶/日，但2017年以来产量恢复增长，2017年底超过110万桶/日，2018年6月，巴肯区带的页岩油产量已恢复至122万桶/日的峰值水平，目前是美国第三大页岩油产区。伊格尔福特区带是继巴肯区带之后发展起来的页岩油产区，于2015年3月达到产量峰值，产量约为162万桶/日，曾是美国第一大页岩油产区，但随后产量持续下降，后被二叠纪盆地超出，目前伊格尔福特区带的页岩油产量近140万桶/日，位居第二。

3 作业钻机数与完钻待完井并数

3.1 作业钻机数变化

作业钻机数是反映页岩气和致密油勘探开发活动的一项重要指标，也与页岩气和致密油产量有密切关系。近10年，美国页岩气和致密油产量的快速增长与作业钻机数快速增长密不

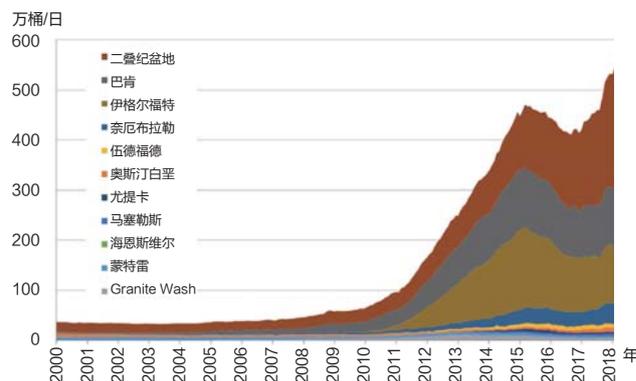


图5 2000-2018年美国主要页岩区带页岩油产量变化

资料来源：EIA，2018-08

可分。从美国主要页岩区带2007年以来投入作业钻机数的变化情况可知，因为各区带投入勘探开发的时间差异，作业钻井数量增长时间先后有异，作业钻机达到高峰的时间也有所不同，但在2010-2015年期间，各区带都经历了作业钻机数增长并达到高峰的过程。受2014年下半年油价断崖式下跌并一直低迷导致美国页岩油气投资大幅压缩的影响，作业钻机数陡然下降，直到2016年6月左右，这一局面才开始扭转，作业钻机数量恢复增长（见图6）。

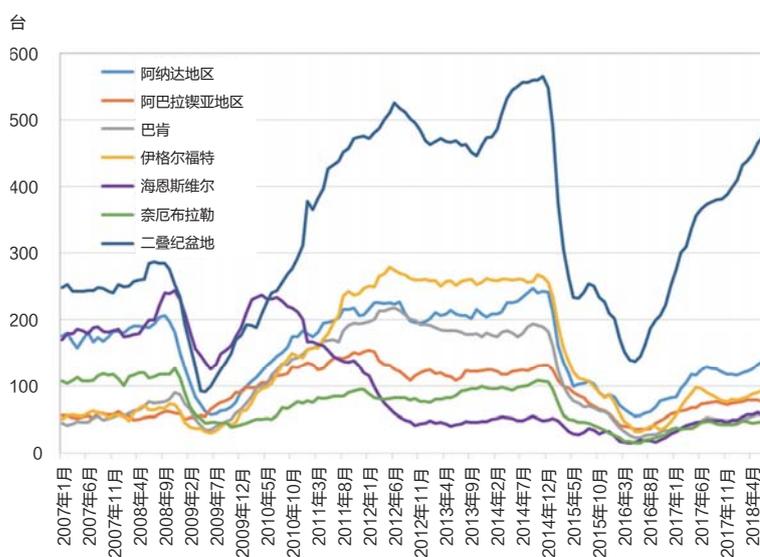


图6 美国主要页岩油气区带作业钻机数变化

资料来源：Drilling Productivity Repo[R]. EIA, 2018-08

3.2 完钻待完井井数增加

为应对长期低迷的油气价格环境，美国从事页岩油气作业的公司调整了策略，在压缩勘探开发投资、把有限投资集中到页岩油气的核心区等措施的同时，采取了先钻井延迟完井的策略，使得近几年主要页岩区的完钻待完井（DUC）的页岩油气井数量不断上升。2017年平均完钻待完井井数超过6100口，是自EIA统计这类井以来的年度最高水平。2018年初以来更是快速增加，前6个月的平均完钻待完井井数已超过7500口，其中6月份的完钻待完井井数超过了7900口，创下月度最高水平（见图7）。

4 页岩油气产量增长前景

4.1 页岩气产量增长前景

根据EIA最新发布的《能源展望2018》预测，无论是在“基准”情景下（见图8），还是在“高油气资源与技术”情景中（见图9），美国的页岩气（包含致密气区带中的伴生气，下同）在2050年之前都将保持较快增长趋势，在天然气总产量中的占比不断加大。在“基准”情景下，2050年之前，页岩气都将是美国天然气产量增长的主要领域；到2050年，页岩气将为美国贡献约3/4的天然气产量，马塞勒斯和尤提卡等东部页岩区带的持续开发是页岩气产量增长的主要动力。墨西哥湾地区的伊格尔福特和海恩斯维尔区带是美国第二大页岩气产区，在2030年产量趋平。技术进步和作业运行的完善或将不断降低成本，同时提高单井最终产量，这对未来页岩气产量增长具有重要影响。据BP预测，2015-2035年，美国页岩气是全球天然气供应增长的主要来源（见图10）。

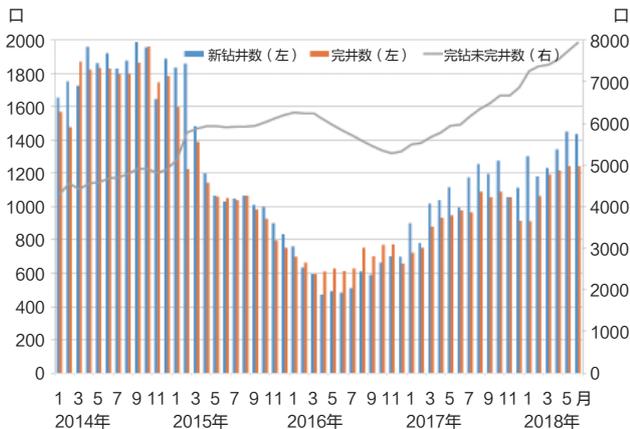


图7 2014年以来美国主要页岩区带的完钻待完井井数变化
 资料来源：Drilling Productivity Report[R]. EIA, 2018-08

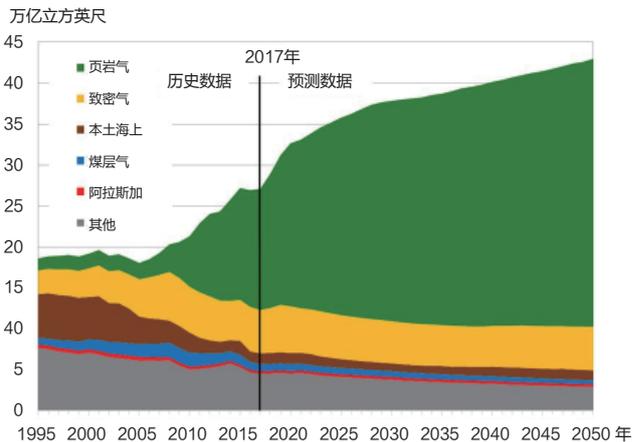


图8 基准情景美国天然气产量预测

资料来源：Annual Energy Outlook[R]. EIA, 2018

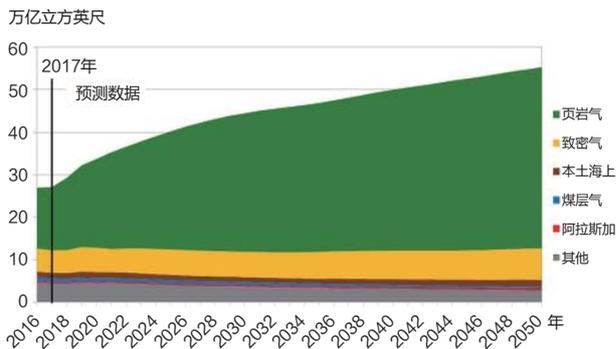


图9 高油气资源与技术情景下美国天然气产量预测

资料来源：Annual Energy Outlook[R]. EIA, 2018

页岩气产量增长的主要动力。墨西哥湾地区的伊格尔福特和海恩斯维尔区带是美国第二大页岩气产区，在2030年产量趋平。技术进步和作业运行的完善或将不断降低成本，同时提高单井最终产量，这对未来页岩气产量增长具有重要影响。据BP预测，2015-2035年，美国页岩气是全球天然气供应增长的主要来源（见图10）。

4.2 页岩油产量增长前景

目前，页岩油已经在美国的石油产量中占据了半壁江山，未来这一比例仍将持续增加，是未来美国石油产量增长的主要动力。按照EIA的预测，在

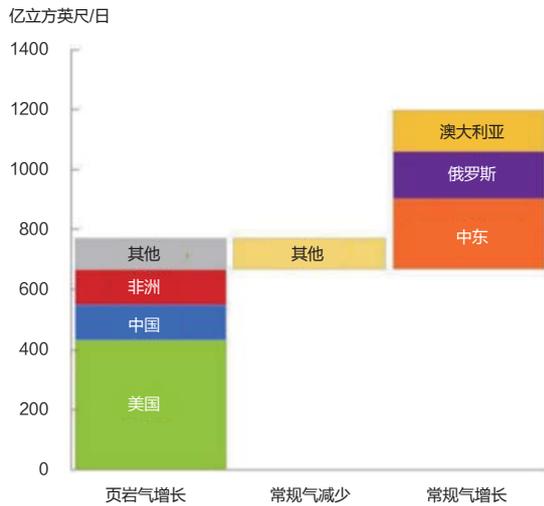


图10 2015-2030年全球天然气供应增长预测

资料来源: BP Energy Outlook 2017

“基准”情景下，随着油价复苏和成本降低，2040年之前美国页岩油产量都将保持稳定增长态势，最高可接近800万桶/日；之后会缓慢下降，到2050年会降至750万桶/日左右，约占美国石油总产量的70%（见图11）。2030年之后，由于主要页岩油产区生产条件变差和单井产率下降，页岩油产量难以快速增长，将保持基本稳定，美国原油总产量将维持在1100万~1200万桶/日的水平。二叠纪盆地将是美国页岩油产量增长的主要来源，到2050年，二叠纪盆地页岩油在美国页岩油总产量中的占比将从目前的

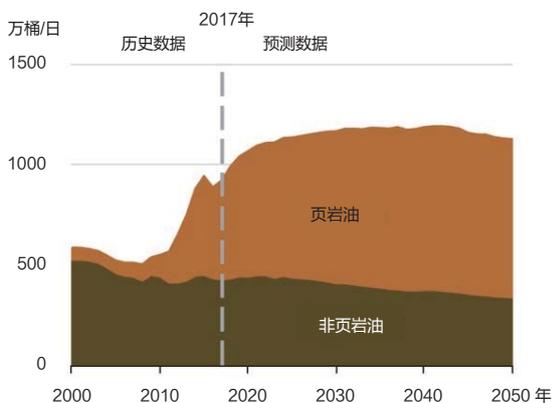


图11 基准情景美国原油产量增长预测

资料来源: Annual Energy Outlook[R]. EIA, 2018

36%增至43%，巴肯和伊格尔福特区页岩油产量占比将分别为20%和17%。

在“高油气资源与技术”情景下，即基于具有较高的单井估算最终可采量（EUR）、较大的页岩油资源基础和长期的技术进步的前提下，由于资源基础大、开发成本低，页岩油产量将呈快速增长态势。到2050年页岩油产量将达到1200万桶/日，美国石油总产量将增至1800万桶/日，页岩油约占美国原油总产量的2/3（见图12）。在“低油气资源与技术”情景下，即低于基准情景的预期，页岩油产量在预测区间内先呈短期增长，在2025年前后达到峰值，然后进入较长期的下降通道，2030年之后页岩油产量不足美国原油产量的一半，美国原油产量也将随之呈下降趋势，到2050年，美国原油产量将低于目前水平（见图13）。

按照BP的预测，美国页岩油产量增长速度和范围具有明显的不确定性，这取决于融资获得、支撑快速扩张所需的其他投入以及经济可采资源总量。在“渐进转型”情景下，美国页岩油产量增长约500万桶/日，2030年前后达到1000万桶/日峰值。这种情景下的钻机数与目前大致相当，生产力水平未来10年将提高40%，从现在至2040年，累计产量

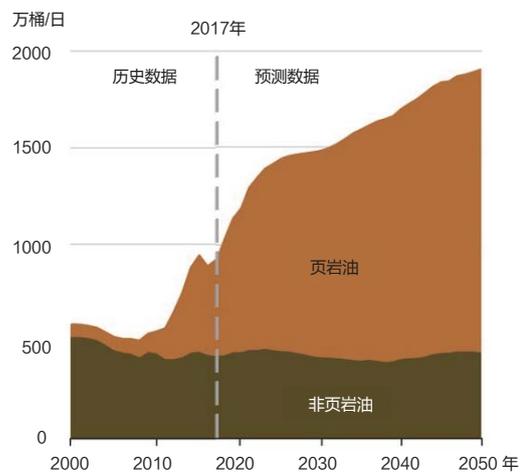


图12 高油气资源与技术情景美国原油产量增长预测

资料来源: Annual Energy Outlook[R]. EIA, 2018

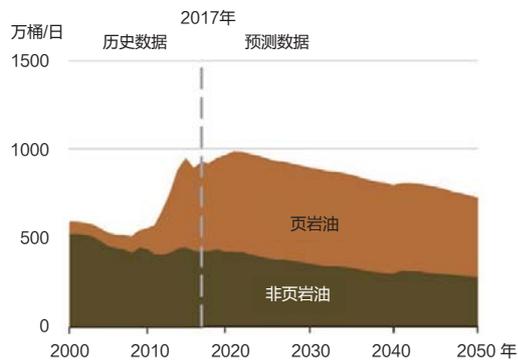


图13 低油气资源与技术情景美国原油产量增长预测

资料来源: Annual Energy Outlook[R]. EIA, 2018

将达约700亿桶。然而，美国页岩油也有可能增长速度更快或增长时间跨度更长。如果融资和资源可获得性使快速扩张成为可能（“提前达峰”情景），到2025年钻机数量翻倍，保持相同生产力，美国页岩油会提前达到峰值，产量达1200万桶/日。如果在预测期内开采资源总量不变，那么此后其产量会快速下降。还有一种“更多资源”情景，可能由生产能力提高所致。如果累计产量比“渐进转型”前景下提高50%，那么美国页岩油产量到2030年有可能增长到约1500万桶/日，并且将这个水平保持到2040年（见图14）。

综上所述，尽管2014年油价断崖式下跌对美国页岩油气勘探开发产生了影响，页岩油区作业钻机数一度有明显减少，但是美国页岩气产量基本保持增长，页岩油产量经历短期下降后恢复增长，又创历史新高。这主要得益于技术进步、开发策略改变等措施的降本增效。根据美国能源信息署和BP的预



图14 美国页岩油产量增长预测

资料来源: BP Energy Outlook 2018

测，在未来较长一段时间，美国页岩油气产量将持续增长，具有良好的发展前景。

参考文献:

- [1] EIA. Shale in the United States[R]. 2017-01.
- [2] EIA. U.S. Crude Oil and Natural Gas Proved Reserves, Year-end 2016[R]. 2018.
- [3] EIA. Drilling Productivity Report[R]. 2018-08.
- [4] EIA. Annual Energy Outlook[R]. 2018.
- [5] EIA. Short-Term Energy Outlook[R]. 2018-06.
- [6] BP. Energy Outlook[R]. 2018.

收稿日期: 2018-08-22

编辑: 黄佳音

编审: 刘远