

关于致密油气和页岩油气的讨论

张 抗¹ 张葵叶² 张璐璐³

1. 中国石化石油勘探开发研究院 2. 中国能源网研究中心 3. 中国石油大学(北京)研究生院

张抗等. 关于致密油气和页岩油气的讨论. 天然气工业, 2013, 33(9): 17-22.

摘 要 在全球范围内, 非常规油气勘探开发都正在从幕后步入前台, 为了厘清有关概念、明确勘探思路、指导勘探决策, 对致密油气和页岩油气等的勘探开发历程和发展前景进行了讨论。结果认为: ①目前工业开采中广义的致密储层油气主要包括致密砂岩油气、页岩油气、煤层气, 其有效开采依赖于共同的主体技术——水平井和压裂; ②美国的非常规油气开发从致密砂岩油气起步向煤层气、页岩气延伸, 因气价下跌而促进了页岩油的开采; ③近年来页岩气、页岩油成为美国油气产量增速最快的类型, 从而使其成为天然气、石油产量增速最快的国家; ④据最新资源评价结果测算, 页岩油、页岩气分别占世界油、气资源总量的 10%、32%; ⑤近年世界流行的致密油(tight liquids)概念, 其主体是页岩油, 包括天然气液(NGLs, Natural Gas Liquids)和轻质黑油(Light Oil), 生产实践表明, 目前仅能开发致密储层油中的相对轻质者, 因而可称其为轻质致密油(LTO, Light Tight Oil)。

关键词 致密油气 页岩油气 煤层气 美国油气 油气资源量 轻质致密油 资源评价

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2013.09.003

On tight and shale oil & gas

Zhang Kang¹, Zhang Kuiye², Zhang Lulu³

(1. Sinopec Petroleum Exploration and Development Research Institute, Beijing 100083, China; 2. Research Center of China Energy Network, Beijing 100083, China; 3. Graduate School of Petroleum University of China, Beijing 100290, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 33, ISSUE 9, pp.17-22, 9/25/2013. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: Unconventional oil and gas exploration and development have moved from behind the scenes to the stage all over the world. To get a better understanding and make a proper decision, we made a discussion on the E & P history and prospect of unconventional natural gas resources such as tight oil and gas, shale oil and gas, etc. The following findings were obtained. a. In current industrial mining, tight oil & gas, in a broad sense, mainly includes tight sandstone oil & gas, shale oil & gas and coalbed methane (CBM) with the same core exploiting technologies—horizontal drilling and hydraulic fracturing. b. In the USA, exploitation has been extending from tight sand hydrocarbons to coalbed methane and shale gas. The decrease of natural gas prices justified the rapid development of shale oil exploitation in recent years, which makes the USA the fastest growing producer of natural gas and oil. c. The up-to-date survey indicates that shale oil and shale gas account for 10% and 32% respectively of the global cumulative assessed hydrocarbon reserves. d. Tight liquids, an outstanding and popular concept worldwide in recent years, are mainly of shale oil including Natural Gas liquids (NGLs) and Light Oil. It suggests that only relatively light oil can be exploited out of tightly reserved oil. Accordingly, it could be named Light Tight Oil or LTO.

Key words: tight oil & gas, shale oil & gas, coalbed methane, US oil & gas, hydrocarbon resources reserves, light tight oil, resource assessment

作者简介: 张抗, 1940 年生, 教授级高级工程师, 硕士; 从事油气勘探开发、油气和能源发展战略研究工作。地址: (100083) 北京市海淀区学院路 31 号。电话: (010) 82312963。E-mail: zhangkang@pepris.com

1 广义和狭义的致密储层概念

1.1 勘探常规油气藏首先关注储层条件

传统石油地质学理论认为:油气生成于富含有机质的暗色层系,即烃源岩中,其主要是暗色细碎屑岩(页岩、泥岩),也可以是泥质粉砂岩,甚至可包括泥质碳酸盐岩、煤(岩)层。但随着生烃层系成岩作用的进行,有机质经热演化作用而转化成油、气并随着其成岩的致密化而与水一起被排出。流体,特别是较轻的油气得以运移至多孔的岩石中储存。这种保留较多孔隙且连通性较好的地层便是储集层。最常见的好储层是成岩程度不太高的砂岩类和碳酸盐岩类地层,其中的油气可以有很高的富集程度。油气勘探就是去寻找油气、去发现有经济开发价值的烃类赋存。对于仅限于特定区块的油气公司来说,它们最关注的是地下有无储层及其含油气性和开发条件。换言之,传统的常规油气勘探首先关注孔(隙度)、渗(透率)等物性条件好,油气充满程度高的好储层的存在。

1.2 非常规油气藏的各种致密储层

在好储层油气勘探开发程度越来越高的情况下,为了满足日趋增长的消费需求,油气工业便不断到孔渗性能较差的储层进军,从低孔渗(性)储层延伸向致密储层。尽管上述二者之间的界限并没有严格的规定,即使有的国家某个时期有从学术概念出发规定的孔隙度、渗透率值作界定,也往往难以被公认(特别是在不同国家、不同经济可采性的地层和石油品种间)^[1-2],但在生产实践上,却形成了约定俗成并且容易流行的类型划分:从上世纪后期的条件上看,以可否被经济开发来区分常规油气和非常规油气,相应的也划分为两类储层,而只有通过更高水平的技术(如水平井和压裂)才能被有效开发的储层则属致密储层。显然,在后一标准界定下的致密储层可以包括不同类型的高成岩程度、低孔渗性的岩石,除最常见的砂岩类外,还包含碳酸盐岩、页岩、煤层、火山岩等,这就是从学术定义出发的广义致密储层概念。

在对这些致密储层进行非常规油气勘探过程中,针对其不同特点形成了不同的研究和勘探开发分支。首先分离出了易于形成次生孔隙缝洞的碳酸盐岩和火山岩,而后发现煤层和页岩中也可赋存非常规油气,它们分别有了与自己相应的名称,如煤中的煤层气、页岩层系中的页岩气、页岩油等。而剩下最常见的致密砂岩中的油气却逐渐被省去了“砂岩”二字,在生产实践中流行为简称的致密气、致密油。这就形成了狭义的致密储层和致密油气的概念。鉴于目前可用水平井和

压裂为主体技术实现经济开发的仅为致密砂岩、页岩和煤层中的油气,因而在许多文献中广义致密储层和致密油、气可包括以上 3 种,而狭义的致密油、气就仅指在致密砂岩中储集的石油和天然气。你可以指责这样的划分和名称如何的“不科学”,但实践中却同时并行两种概念并频频见诸若干文献,我们应当承认这种语言上的约定俗成。接受上述广义和狭义的概念并注意其不同场合、不同文献中的实际所指。致密(砂岩)油气、页岩油气、煤层气皆可赋存于(广义的)致密储层中,这一概念表达出它们在勘探开发技术上所拥有的许多共性,这一点对认识其发展历程有着重大的启迪。

2 从致密(砂岩)油气到煤层气、页岩油气

2.1 从致密油气到煤层气

在人们不断降低油气经济可采的下限时,相当“自然地”由孔渗参数好的好储层向物性越来越差的储层进军,向致密砂岩领域拓展和延伸。以水平井和压裂为主体的技术系列在致密砂岩储层中得以逐渐发展走向成熟,其大量人造裂缝沟通了储层使其中的油气可较顺畅地汇流入井筒而被采出。气比油分子量小,在致密条件下其可流动性明显大于油,因而在各种致密岩层的烃类开发中总是率先突破气的经济开采。尝到这类新技术甜头的人们开始以其为武器向其他致密储层中的油气探索。美国的油气需求迫切、技术水平高、市场经济条件成熟、政府鼓励支持,再加上有一批富于探索创新精神的企业家和研究者,因而就成为新突破不断涌现的沃土。在这个过程中,首先被突破的就是煤层气,也许这得益于对煤层中含有大量甲烷并常给人类带来灾难事故的认知。从宏观或毫米级尺度上看煤层是致密的,因而所含游离气少且可流动性差。但从微米、甚至纳米级尺度上看煤层仍然存在着大量的孔隙,不但有相当数量的游离气,还有更多的吸附气。在对煤层含气机理深入研究的基础上,辅以水平井、压裂为主体的技术系列逐渐适应于煤层和煤层气的开发,于是煤层气便成为可被经济开发的非常规气的新类型,并从美国推广到全球,特别是澳大利亚、中国等。基于煤岩学组分的特点,煤主要生成甲烷,很少能生成和保存油,因而从经济开发角度只有煤层气而难以见到煤层油。

2.2 从致密油气到页岩气

富含有机质页岩与煤层有某些类似的特征,其所生成的油气部分被排出,但也一定会有相当部分被大量细微颗粒所吸附或者被微米—纳米级孔隙所封闭、

保存。于是,人们依托在攻克致密砂岩、煤层中更趋成熟的技术向页岩中的气、油进军。在页岩类地层水平井钻井、完井和有效压裂的难度更大些,因而它的技术和开采工艺酝酿期(产量很低)就较长。但基于其良好的生烃和保存条件,一旦获得突破就会很快发展,显示出它比致密气、煤层气更大的潜力。

图1很直观地展现出了这个过程。本世纪初美国页岩气仍处在艰苦的技术攻关阶段,2000年产量仅 $122 \times 10^8 \text{ m}^3$,但到2005年已进入技术过关、实施大面积开发的阶段,产量以两位百分数的年增长率快速增长,2008年页岩气产量迅速升到 $600 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。此后因产气量快速上升导致天然气价格的大幅度下降,由本世纪初超过10美元/Btu(1 Btu=1 055 MJ)下降到3美元/Btu左右,使页岩气开发的经济效益大为降低。这一度使美国钻井数量大降并迫使各运营公司以多生产价格仍保持在高位的页岩油的方式来维持其利润。2009年以后钻井数得以重新向高位回升并在2011年以来使开采石油的钻井数量越来越明显的超过天然气。可以这样做的基础是油气的同源和共伴生性,这一特点对常规和非常规油气、致密(砂岩)油气和页岩油气是一样的——只是一套页岩层在同一盆地的不同部位产出油、气的比例,性质有所不同而已。如美国著名的沃斯堡盆地Barnett页岩,向盆地深处热成熟程度高、镜质体反射率 $R_o > 1.1\%$ 的地区以产气为主,而在 R_o 介于 $0.9\% \sim 1.1\%$ 的地区则以同时产天然气和凝析油为主,向更浅处在 R_o 介于 $0.6\% \sim 0.9\%$ 的地区则多产正常轻质原油。当然,从干气到湿气、从气层气到溶解气(伴生气),从凝析油到正常原油(业内常称其为黑油)是逐渐过渡的。这样,对生产者来说,可用基本上相同的技术向同一套页岩的埋深较浅处布井(其单井作业成本还可降低)就可以多产出油少产出气;对凝析油气藏来说,也可用人为控制气层压力的办法使

之多产(凝析)油少产气(而且这种轻质凝析油的经济价值远大于正常原油,特别是重质原油)。这样,在钻井数量回升的背景下,仍可在低气价时做到页岩气、页岩油的产量双双增长。2009—2012年的数年间美国油气产量年增长率达32.5%,又恢复了快速增长的势头。2012年页岩气产量达 $2\,049 \times 10^8 \text{ m}^3$,占全部气产量的37%,已超过致密气的产量。《BP2013年度全球能源展望》进一步表明:美国2012年天然气总产量达 $6\,814 \times 10^8 \text{ m}^3$,增长 $329 \times 10^8 \text{ m}^3$,年增长率达5.1%;而作为世界第二大产气国的俄罗斯当年产气 $5\,923 \times 10^8 \text{ m}^3$,年增长率为-2.4%;美国2012年天然气增产量占全球天然气总增产量的45.3%^[3]。考虑到页岩气的巨大潜力,国际能源署(IEA)和美国能源信息署(EIA)都一再做出其产量持续增长的预测。很可能到2035年左右,美国页岩气的产量将占其天然气总产量的46%,明显超过致密气(22%)和煤层气(8%)的所占比例。当然,届时非常规气的产量也就将明显超过传统的常规气产量。鉴于页岩气快速上产对美国乃至世界油气格局变化的重大影响,“页岩气革命”一词已成为被广泛接受的提法^[4]。

2.3 以页岩油为主体的致密油产量快速增长带来的变化

当人们还在深入探讨页岩气革命对美国能源独立,以及对地缘油气、经济和政治的影响时,美国原油的产量上升却更令人惊诧。但在有关文献上都强调,在传统常规石油(包括陆上、海上和阿拉斯加)产量总体上下降的背景上,使美国改变了数十年石油产量降势^[5]的因素是致密油产量的快速增加(图2)。在这类文献中所指的致密油实际上包括了页岩油和致密砂岩油^[6],显然使用的是笔者在本文开始时就指出的广义的致密油气概念。在有关文献的文图中一提到具体的产地和产层,就显示它们大部分都位于研究者熟知的页岩气产区 and 层系内。实际上,即使在本世纪初伴随页岩气增产,以凝析油为主的页岩油产量就已经在不断增加着(如2004年日产 11.1×10^4 桶,1桶=158.9 L,下同),这就促使美国的石油产量从2006年日产 684.1×10^4 桶的最低点开始了具历史性意义的转降为升,2007年仅增产0.9%,而2008和2009年的平均年增长率为2.3%。在美国开始更加重视页岩油的2009年,所统计的致密油的日产量就达 25×10^4 桶;到2011年为日产 90×10^4 桶,增加了2.6倍,从而使这两年美国石油产量年增长率达4.6%,该年致密油产量占全美石油总产量的11.5%。显然,美国致密油产量和石油总产量都呈加速增长之势。由于产量基数大,使得

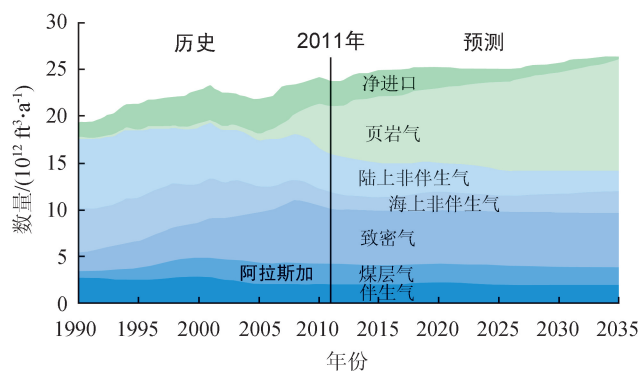


图1 1990—2035年美国天然气来源构成的变化图

注:资料来源于美国能源信息署,2012年:1 ft³=0.28 316 8 m³,下同

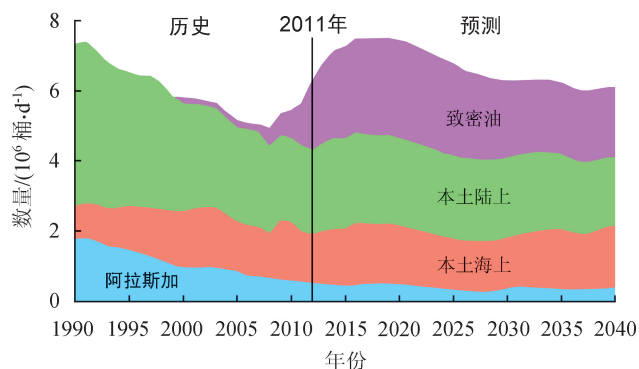


图2 1990—2040美国石油产量构成变化图

注:资料来源于美国能源信息署《2013年初期能源概览》

近年来美国石油年增加量居世界之首。按照EIA的初步统计,2012年上半年致密油产量同比增加9.7%。《BP2013年度全球能源展望》进一步表明:美国2012年原油总产量达 3.949×10^8 t,增长 49.2×10^6 t,年增率达14.2%。“大部分新增产量来自页岩资源”。全球按石油年增率排序列在美国后4位的伊拉克、科威特、加拿大、卡塔尔依次为11.5%、9.2%、7.2%、6.5%;总产量居世界前两名的沙特阿拉伯和俄罗斯年增率分别仅为3.91%、1.5%;美国2012年石油增产量占全球增产量的49.2%^[3]。据EIA预测,2020年美国致密油日产量可达 300×10^4 桶,可占全美石油总产量的36%;进而推测2017年后美国石油产量将有超过沙特阿拉伯的可能。直接受惠于美国的技术和管理,加拿大2011年致密油日产量为 19×10^4 桶,约占其石油总产量的5.4%;预测2035年加拿大原油日产量可达 50×10^4 桶。EIA还预测,2020年中国页岩油日产量将可能超过 20×10^4 桶,阿根廷的内乌达盆地页岩油日产量可达 15×10^4 桶^[7]。

3 对页岩油气资源潜力的新认识

3.1 新一轮资源评价的结果

EIA曾依据从常规油气勘探中获得的关于生烃岩系的主要参数和美国页岩油气勘探开发的第一批成果,做出过对全球页岩油,特别是页岩气资源量的初步测算^[8]。近来又根据致密油研究的新成果在2013年4月的《技术可采页岩油和页岩气资源量报告》中公布了对页岩油资源量评价的新数据。全球页岩气技术可采资源量 $7\,299 \times 10^{12}$ ft³(约为 203.7×10^{12} m³),较2011年的评价增加了 677×10^{12} ft³,增长近10%,占全球天然气资源量的32%;全球页岩油技术可采资源量为 $3\,450 \times 10^8$ 桶(约为 470.6×10^8 t),较2011年的

评价增加了 $3\,130 \times 10^8$ 桶,增长了10倍,占全球原油资源量的10%。报告单独评价了美国,预测其页岩油、页岩气技术可采资源量分别为 580×10^8 桶(约为 79.1×10^8 t)、 567×10^{12} ft³(约为 16×10^{12} m³),分别占美国油、气资源总量的26%和27%,分别使包括页岩油气在内原计算的油、气资源量增长了35%和38%。该报告中除美国以外的41个国家的页岩油技术可采资源量为 $2\,870 \times 10^8$ 桶(约为 391.5×10^8 t),占其原油资源量的9%;页岩气技术可采资源量 $6\,634 \times 10^{12}$ ft³(约为 187.7×10^{12} m³),占其天然气资源量的32%,分别使41个国家包括页岩油气在内原计算的油、气资源量增长了10%和48%。按照这一测算,页岩油资源量最为丰富的国家依次为俄罗斯、美国、中国、阿根廷、利比亚、委内瑞拉、墨西哥,这7国页岩油技术可采资源量合计为2440亿桶(约为 332.8×10^8 t),占全球总量的71%;页岩气资源最丰富的国家依次为中国、阿根廷、阿尔及利亚、美国、加拿大、墨西哥,这6国页岩气技术可采资源量 $4\,407 \times 10^{12}$ m³,占全球总量的60%^[9]。与上述评价相应,普华永道公司发布《页岩油——下一次能源革命》的报告,预测2035年全球页岩油日产量将达 $1\,400 \times 10^4$ 桶,占届时石油产量的12%^[7]。笔者计算,所预测的2035年页岩油产量相当于2011年世界石油总产量的16.8%。

3.2 对新资源评价的分析

笔者分析,上述对页岩油气资源评价的结果中还透露出以下信息:

1)这次页岩油气资源评价扩大了评价的国家(达42个)和盆地,这是所计算总量增大的原因之一。但尚有若干地区未计算在内,如中东和里海地区。

2)以经过更多研究和勘探开发的美国为例,其新的计算值比原先值有大幅度提高。以前某些文献认为:美国对其页岩气潜力的上次评价言过其实,新评价大幅降低了其测算值。这显然是片面的一家之言。从以上两条可以得出推论:今后的评价可能还会再提高其资源量测算值,这与中外常规油气资源评价的变化趋势是一致的^[10-11]。

3)按照目前资源评价的结果,页岩油、页岩气分别占全球已评价油、气资源总量的10%、32%,由于目前美国以外地区的页岩油的实际资料明显偏少,可以认为这个10%的比例明显偏低。美国整体研究程度较高,但对页岩油的认识仍显不足,其页岩油、页岩气分别占全国已评价油、气资源总量的26%、27%,故可认为从宏观构成和现今的技术—经济水平上看,页岩油、页岩气至少可占石油、天然气全部技术可采资源量的

1/4 以上。

4)从测算的可采资源量气油比看,若以 $1\ 000\ \text{m}^3$ 气折合 $1\ \text{t}$ 油匡算,全球的气油比为 4.3,以研究程度较高的美国计,气油比为 2.0。作为非常规油气之一的页岩油气资源有较高的气油比,恰恰说明了其对油、气的不同赋存和采出机理,页岩中的油比气被保留更难、采出亦更难。

5)新资源评价中对各国页岩油的排序与目前包括常规石油和部分非常规石油(重稠油和沥青砂岩油)潜力的认识基本一致,但页岩油前 7 名中没有加拿大这个以沥青砂岩油丰富而著称者。在页岩气的排序中,美国研究者的两次评价都把中国排列为第一。对此,部分中国学者有着不同的意见。笔者认为,外国学者对中国油气保存条件差的特点估计不足,测算值有偏高的可能性。但即使按中国目前发表的不同测算值来计算,全国页岩气总的可采资源量也多在 $10 \times 10^{12}\ \text{m}^3$ ^[11]。显然,中国页岩油气资源从总体上看是丰富的。某些业外人士认为美国专业机构对中国页岩油气潜力的较高评价是欺哄中国的“阴谋论”,实属无稽之谈。

4 关于致密油的讨论

4.1 轻质致密油

面对着异军突起的致密油发展,IEA 在 2013 年 5 月于巴黎召开了其能源展望工作组的专题会议,参加者有全球一流公司和研究机构的首席代表(CEO),中国亦有专家参会。会议的名字为“致密油革命的未来”(The future of tight liquids revolution,据冯丽雯《“致密油革命”的启示》,中国能源网研究中心 2013 年 6 月 5 日)。会议所讨论的致密油包括两部分:LTO(Light Tight Oil)和 NGLs(Natural Gas Liquids 天然气液)。LTO 的正确译名应为轻质致密油,但有人却不当地翻译为轻紧油^[12]。而天然气液的主体为凝析油(Condensate Oil),不言而喻亦为轻质油,但它却可比生产者常称的黑油中的轻质原油分子中的碳原子数更少,因而更轻、色更浅、流动性更好,价格也更高。看来,目前流行的致密油概念中存在着其为轻质(Light)的定语。这就道破了致密储层中石油开发的“天机”。由于油的分子比气大、采出更难,因而以目前技术能在致密类储层中实现经济开发的只能是其中油质相对轻的部分。油质趋重、流动性趋差者经济开采困难,是致密油进一步开拓的指向。而真正的重(稠)油已属非常规油,在致密储层(砂岩、页岩、碳酸盐岩)中的经济开采尚不过关。故在目前讨论的致密油前加上轻质(Light)的定语是国外常见的说法。

4.2 页岩气革命的深入和延续

前述的 IEA2013 年能源展望工作组的专题会议还打出了“致密油革命”的旗号,此称谓已开始在西方可流行。笔者注意到在近期能源研究中“革命”成为出现频率颇高的词汇。注意节能和消费侧管理被称为能源消费革命,在能源生产构成中着力新能源的发展被称为新能源革命,甚至在天然气水合物中取得了一些进展但还谈不上经济开发时就耸人听闻地冠之于“可燃冰革命”……滥用的结果是使人难以接受,反倒抹杀了其关键性的进展。退一步说,由于东西方文化的差异,西方人乐于把重要进展誉为革命,而中国人往往仅把“革命”一词赋予特别重大、带有根本性甚至颠覆性的改变。目前页岩气革命的提法已日趋流行,对其在油气、能源,甚至经济和地缘政治上的影响已有较深入的探讨^[3]。这一变革已从页岩气延伸到页岩油、致密油,提高了对非常规油气整体地位的认识并使勘探开发的技术水平大幅度提高,进而推动油气地质学理论的创新^[13]。笔者认为这都可以看作页岩气革命的深入和延续,而不必要冠以使业内人士眼花缭乱的某某革命之名。

可以说,页岩气革命使原来未放在找油气目标内的页岩层系成为油气勘探的目的层系、生产层系,在本世纪中期可成为重要(对某些国家和地区甚至可成为首要)的开采对象。这一重大创新和突破产生了深远的影响、引起不断扩大的连锁反应。它已开始改变着世界和主要生产国消费国的能源构成,引导着新世纪能源发展的方向。它正改变着世界油气—能源的空间格局和地缘关系,引起世界经济和国际关系的微妙变化。页岩气革命推动着能源独立的“美国梦”进入实现的过程,没有理由说这种梦想不可能在条件类似的地区以某种方式复制。总之,全球,特别是迫切希望自己国家可持续发展的中国人,正对此密切关注。

参 考 文 献

- [1] 马新华,贾爱林,谭健,等.中国致密砂岩气开发工程与实践[J].石油勘探与开发,2012,39(5):572-579.
MA Xinhua, JIA Ailin, TAN Jian, et al. Tight sand gas development technologies and practices in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(5): 572-579.
- [2] 邹才能,陶士振,侯连华,等.非常规油气地质[M].北京:地质出版社,2011:1-25.
ZOU Caineng, TAO Shizhen, Hou Lianhua, et al. Unconventional petroleum geology [M]. Beijing: Geology Press House, 2011: 1-25.
- [3] 英国石油公司.BP 世界能源统计年鉴[G].伦敦:英国石油

- 公司,2013:1-45.
- BP Statistical review of world energy [G]. London: BP, 2013:1-45.
- [4] 张抗.美国能源独立和页岩气革命的深刻影响[J].中外能源,2012,17(12):1-16.
- ZHANG Kang.The implications of US energy independence and shale gas revolution[J].Sino-Global Energy,2012,17(12):1-16.
- [5] 国土资源部油气资源战略研究中心.世界油气资源信息手册[M].北京:地质出版社,2009:212-216.
- Strategic Research Center for Oil & Gas Resources of the Ministry of Land and Resources. World oil & gas resources information [M]. Beijing: Geological Press House, 2009: 212-216.
- [6] 美国能源信息署.2013 年能源概览:早期发布和短期能源概要[G].华盛顿:美国能源信息署,2013.
- The U.S. Energy Information Administration (EIA). Annual energy outlook 2013;Early release and short-term energy outlook[G].Washington,D.C.;EIA,2013.
- [7] 庞晓华.页岩油引发全球能源革命[N].中国化工报,2013-03-04(4).
- PANG Xiaohua.Shale oil, a trigger of world energy revolution[N].China Chemical Industry News,2013-03-04(4).
- [8] 张抗,谭云冬.世界页岩气资源潜力和开采现状及中国页岩气发展前景[J].当代石油石化,2009,17(3):9-12.
- ZHANG Kang, TAN Yundong.The status of world shale gas resources potential and production status as well as development prospect of China's shale gas[J].Petroleum & Petrochemical Today,2009,17(3):9-12.
- [9] 罗佐县.全球页岩油气储量乐观[N].中国石化报,2013-06-21(5).
- LUO Zuoxian.Abundant world shale oil & gas reserves [N].China Petrochemical News,2013-06-21(5).
- [10] 国土资源部油气资源战略研究中心.全国石油天然气资源评价[M].北京:中国大地出版社,2010:13-85.
- Strategic Research Center for Oil & Gas Resources of the Ministry of Land and Resources.Nationwide oil & gas resources estimates[M].Beijing: China Land Press,2010: 13-85.
- [11] 张大伟,李玉喜,张金川,等.全国页岩气资源潜力调查评价[M].北京:地质出版社,2012:1-124.
- ZHANG Dawei, LI Yuxi, ZHANG Jinchuan, et al.China shale gas resources potentials,survey and evaluation[M]. Beijing:Geological Press House,2012:1-124.
- [12] 范德胡芬.非常规油气如何改变能源行业[J/OL].能源,2013(5):34-35.
- MARIA FANDEHU FINN.Effects of Unconventional oil and gas on energy supply and prices[J/OL].Energy,2013(5):34-35.
- [13] 张抗.页岩气革命带来油气地质学和勘探学的重大创新[J].石油科技论坛,2012,31(6):37-41.
- ZHANG Kang.Shale gas revolution leads to major creation for oil and gas geology and exploration[J].Oil Forum,2012,31(6):37-41.

(收稿日期 2013-07-08 编辑 居维清)