

国内外非常规油气资源勘探开发现状及建议

雷群 王红岩 赵群 刘德勋

(中国石油勘探开发研究院廊坊分院)

雷群等.国内外非常规油气资源勘探开发现状及建议.天然气工业,2008,28(12):7-10.

摘要 随着中国经济的快速发展,国内常规油气的开发生产已不能满足经济发展的需要,必须寻求新的出路。当前,世界各国都很重视非常规油气资源的开发和利用,油砂、油页岩和煤层气等已经在部分国家实现了有效开发。为此,详细分析了世界油砂、油页岩和煤层气等非常规油气资源的勘探开发现状;简述了中国石油天然气股份有限公司在油砂、油页岩和煤层气等非常规能源方面所开展的工作;指出了中国非常规油气勘探开发存在的难题;最后提出了加快中国非常规油气勘探开发业务发展的建议。

关键词 非常规油气资源 页岩气 油砂 煤层气 勘探开发 现状 发展

随着世界经济发展对油气需求的不断增加,常规油气资源已不能满足这种需求的快速增长,人们纷纷把目光转向非常规油气资源。非常规油气资源以其储量巨大、分布集中、开发技术日趋进步等特点成为世界石油市场的新宠。

非常规油气资源是指不能用常规的方法和技术手段进行勘探开发的另一类资源,其埋藏、赋存状态与常规油气资源有较大的差别,开发难度大、费用高。非常规油气资源主要是指油页岩、油砂矿、煤层气、页岩气、致密砂岩气等。我国非常规油气资源十分丰富,发展非常规能源对保障国家能源安全、改善环境、煤炭安全生产、解决“三农”(农业、农村、农民)问题等都具有重要的战略意义。

一、油气资源供需现状

据美国《油气杂志》估计,截至2003年底,全球石油剩余探明储量为 $1\ 804.90 \times 10^8$ t,全球天然气剩余探明可采储量为 175.08×10^{12} m³。据专家预测,世界石油产量到2015~2020年将达到顶峰,此后便走“下坡路”。这意味着随着石油消费的增长快于石油生产的增长,世界石油市场将渐趋紧张^[1]。而近年来,亚太地区能源消费是全球增长最快的地区,10年间该地区能源产量在世界生产总量中只增长了0.5%,但消费总量却从19.9%猛增到26.9%,其增速远远高于世界其他地区。亚太地区石油供给

缺口及由此引起的持续扩大对外依存度,将是中国石油安全不可回避的问题。近年来,随着经济的快速发展,我国的石油供需矛盾也日益明显。1993年,我国成为石油净进口国。2007年石油进口量近 2×10^8 t,对外依存度高达47%。数据表明:我国在未来一定时期内,石油的对外依存度将达到一个相当高的比例,成为仅次于美国的世界第二大石油消费国^[2]。此外,中国国内常规石油资源战略接替存在难度,陆上东部大多数油田已进入开发中晚期,出水比出油还多,中西部地区石油储量虽然较大,但投资大、技术复杂、勘探程度不高。如果没有新的非常规替代能源,缺油的状况难以改变。因此,我国有必要加快理论创新,研发新工艺新技术,促进非常规油气资源的有效开发,以缓解我国油气资源短缺的局面。

二、非常规油气资源分布

1. 世界非常规油气资源丰富,潜力巨大

据美国能源部能源信息署最新统计,世界页岩油资源量可达 $4\ 110 \times 10^8$ t,比传统石油资源量($2\ 710 \times 10^8$ t)多50%以上,主要分布在美国、中国、俄罗斯、加拿大、扎伊尔、巴西、爱沙尼亚、澳大利亚等国家^[3]。根据美国地质调查局(USGS)统计,世界油砂可采资源量约为 $6\ 510 \times 10^8$ bbl(1 bbl=0.158 987 m³),占世界石油可采总量($20\ 370 \times 10^8$ bbl)的32%,已经成为世界能源结构的重要组成部分

作者简介:雷群,1963年生,教授级高级工程师,博士;中国石油天然气股份有限公司高级技术专家,现任中国石油勘探开发研究院副院长兼廊坊分院院长,本刊第六届编委会委员,先后发表学术论文40余篇,编写专著9部,多次获得国家级及省部级奖项。地址:(065007)河北省廊坊市。电话:(010)69213526。E-mail:lqn_828@163.com

分。全球油砂资源分布很不均衡,主要分布在北美洲、俄罗斯、拉丁美洲和加勒比海等国家和地区^[4]。全球煤层气资源量为 $256.3 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 约为常规天然气资源量的 50%; 其中俄罗斯、加拿大、中国、美国和澳大利亚 5 国的煤层气资源量占到了全球总量的 90%。全球页岩气资源量为 $456.24 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 主要分布在北美、中亚和中国、拉美、中东和北非、前苏联等国家和地区。全球致密气资源量为 $209.72 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 主要分布在北美、拉美、前苏联、中亚和中国、中东和北非等国家和地区^[5]。从世界范围来讲, 非常规油气资源是极其丰富的, 是常规油气的最佳补充能源。

2. 中国非常规油气资源丰富, 开发潜力巨大

2006 年全国油页岩资源评价结果表明, 我国页岩油地质资源量为 $476.44 \times 10^8 \text{ t}$, 居世界第二位。主要分布在东部区、青藏区和中部区。页岩油探明储量为 $20 \times 10^8 \text{ t}$, 主要分布在吉林、广东、辽宁等省^[6]。我国油砂资源量为 $59.7 \times 10^8 \text{ t}$, 主要分布在陆上西部和东部盆地, 重点分布在准噶尔、柴达木、松辽、鄂尔多斯、塔里木、四川等盆地中。11 个主要盆地占全国油砂地质资源总量的 97.6%, 可采资源总量的 97.5%^[4]。全国煤层气总资源量为 $36.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 居世界第三位, 其中 1 000 m 以浅的煤层气可采资源量为 $6.27 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。资源量大于 $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 的 8 个盆地合计煤层气资源量为 $28 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 占总资源量的 76%。我国页岩气资源潜力也十分巨大, 据统计, 页岩气的远景资源量可达 $100 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 相当于常规天然气资源量的两倍, 主要分布在四川盆地。我国致密砂岩气资源量约为 $12 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 部分与常规气存在着交叉^[5]。从我国国情出发, 积极发展非常规油气资源的勘探开发, 可以弥补油气资源供应的不足。

三、非常规油气资源开发现状

1. 非常规油气资源越来越受到重视, 进行了商业性开发

油页岩的开发历史悠久, 形式多样。目前, 世界上油页岩的 69% 用于发电、供热, 25% 用于提炼页岩油, 6% 用于建筑、农业等方面。2006 年世界油页岩产量超过 $100 \times 10^4 \text{ t}$, 主要集中在中国、爱沙尼亚、巴西、澳大利亚等国。我国页岩油的生产主要集中在辽宁抚顺矿业集团, 2005 年产量为 $20 \times 10^4 \text{ t}$, 2007 年产量接近 $30 \times 10^4 \text{ t}$ ^[7]。

加拿大是目前世界上唯一实现油砂商业化开采

的国家, 2002 年油砂油产量为 $4 810 \times 10^4 \text{ t}$, 占 Alberta 省石油供给量的 48%, 2005 年产量为 $6 170 \times 10^4 \text{ t}$, 2006 年产量增加到 $7 280 \times 10^4 \text{ t}$ 。

目前, 美国、加拿大、澳大利亚 3 个国家已经开始煤层气的商业化生产。2006 年产量分别达到 $540 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $18 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $60 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。中国 2007 年煤层气产量为 $3.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[8]。

美国已对密歇根、印第安纳等 5 个盆地的页岩气进行了商业性开采, 页岩气年产量超过 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占其天然气年总产量的 3%, 成为一种重要的天然气资源。美国 900 个气田中致密砂岩气生产井超过 40 000 口, 年产气量达 $1 000 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[9]。

2. 引领科技发展, 解决技术难题

(1) 创新地质理论, 指导非常规油气资源勘探

油砂成矿主要在前陆盆地, 其成因有以下几种: ①丰富的烃源岩是油砂成矿的物质基础; ②山前挤压为油气的运移提供了动力; ③不整合面和断层为油气的运移提供了良好的通道; ④斜坡区广布的三角洲砂体为油砂成矿提供了良好的储集层; ⑤储层出露地表, 大气中的水进入储层, 水洗作用和生物降解作用促进了原油的降解稠化。

美国绿河油页岩的形成主要有 3 个成因: ①巨型的古绿河湖为油页岩成矿提供了广阔空间。绿河湖的面积超过 $65 000 \text{ km}^2$, 由于尤因塔山抬升并向西延伸, 绿河湖被分割成了几个沉积盆地。②适宜的沉积环境是油页岩形成的必要条件。存在超过 1 000 万年的绿河湖, 主要处于温暖的亚热带环境, 局部时期的气候变化引起湖水蒸发, 增加了水体高盐度、高碱性。③大量繁殖藻类提供了丰富的生油母质。始新世绿河湖水的温暖碱性环境有利于蓝—绿藻的大量繁殖, 为后期油页岩的形成提供了丰富的生油母质^[10]。

(2) 改造油气储层, 加快低渗透技术的开发

①根据储层特点, 不断改进压裂技术。在对页岩气井的压裂过程中, 采用了相对密度较轻的支撑剂, 取得良好效果。新型支撑剂的相对密度在 1.25~1.75, 远小于相对密度为 2.65 的石英砂。新型压裂技术具有易于将压裂液输送到裂隙网络的末端、压裂液的黏度低和伤害低等特点。②二次压裂技术, 有效提高了页岩气单井产量。对页岩气井进行二次压裂, 可使其产量接近或超过初次压裂的产量。Newark 东区块的老井采用二次压裂技术, 增产页岩气 $1 472 \times 10^4 \text{ m}^3$ (占总产量的 68%)。③水平井技术适用于多种低渗储层的开发。应用水平井技术可

以使无裂缝或少裂缝通道的页岩气藏得到有效开发。水平井技术具有沿着应力较低的方向钻进利于压裂改造、水平井段进行水泥固井、采用射孔完井以及大排量注入等特点。④不断创新的煤层气开发技术,大大提高了产量。新的煤层气开发技术具有以下特点:洞穴完井技术在井筒附近形成渗透率增强带;定向水平井可有效开发低渗透储层;氮气解堵;应用注 N_2/CO_2 技术,以提高气井采收率^[6]。

(3) 形成油页岩、油砂矿多种开发技术

油页岩的干馏工艺主要有巴西 Petrosix 干馏工艺、爱沙尼亚 Kiviter 干馏工艺、我国抚顺干馏工艺、俄罗斯 Galoter 干馏工艺和澳大利亚 ATP 干馏工艺。随着科学技术的不断进步,干馏技术正朝着低污染、高效率的方向发展。近几年,油页岩原位开采工艺技术引起人们越来越多的关注。当前只有壳牌公司的 ICP 技术进行了中试试验,被美国能源部评为最为成熟的原位开采技术。原位开采工艺的特点是采收率高、占地少、成本低,对环境几乎没有任何破坏^[11]。

油砂的分离方法主要有两种:水洗法和干馏法。地上油砂的分离主要采用热碱水洗方法。2005年加拿大 Syncrude 公司利用水洗工艺每天生产轻质油 35×10^4 bbl。加拿大在干馏油砂油方面也做了大量的研究工作^[12]。

3. 中国石油大力发展非常规油气资源

(1) 中国石油油砂工作起步早,走在国内前列

中国石油天然气股份有限公司(以下简称中国石油)已经在准噶尔、四川和二连等盆地开展了大量的油砂资源勘探工作,寻找到大量高品质油砂资源。经过初步评价,准噶尔、塔里木、柴达木及松辽等盆地的油砂资源量为 44.3×10^8 t。通过室内分析实验研究和现场放大试验研究,将油砂分为亲水性油砂和亲油性油砂,并针对不同地区、不同性质的油砂,优选了不同的分离方法。2005年中国石油在准噶尔盆地西北缘进行了水平式和立式炉干馏工艺试验;2006年开展了油砂水洗分离试验。现场试验结果表明:18 t 油砂可分离出 1 t 原油,为油砂的大规模商业性开发提供了参考依据。

(2) 中国石油重视油页岩产业,开展了大量工作

2006年开展了油页岩资源评价,共钻浅井 60 口,其中在柳树河盆地钻井 32 口,控制 100 m 以浅油页岩面积 10 km^2 ,探明页岩油储量 296×10^4 t;在巴格毛德地区钻井 6 口,控制 200 m 以浅油页岩面积 40 km^2 ,初步控制页岩油储量 1.6×10^8 t。

(3)开展多年技术攻关,实现煤层气商业性开发
煤层气开采分为地面开采和井下抽采两种方式。中国石油矿权内资源量为 $14.3 \times 10^{12} \text{ m}^3$,其中埋深 1 000 m 以浅为 $2.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$,分别占全国的 60% 和 38%;截至 2006 年底,累计探明煤层气储量 $352 \times 10^8 \text{ m}^3$,控制储量 $1\,254 \times 10^8 \text{ m}^3$,预测储量 $690 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。截至 2007 年底,煤层气产能达 $3 \times 10^8 \text{ m}^3$,预计到 2010 年,年产能将增加到 $15 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。经过技术攻关,中国石油已经摸索出低成本钻探技术:采用水源系列钻井,将井身结构一分为二,利用清水泥浆作为钻井液。高效的钻探技术使开发井的每米进尺费用由原来的 2 000 元降低为 550 元。

四、非常规油气资源勘探开发难题

当前我国非常规油气资源的勘探开发尚处于初级阶段,没有系统的认识,没有系统的配套技术,面临着诸多经济上和技术上的困难和问题。这些难题主要体现在以下方面:

(1) 非常规油气地质条件具有复杂性和特殊性

非常规油气藏成藏条件复杂,储层致密,非均质性强,不同类型资源各具特点。油页岩和致密砂岩属于低渗透储层,渗透率极低。煤层气储层具有含气非均质性强、渗透率低、储层压力低、含气饱和度低等特点。

(2) 部分开发技术适用性差,不成熟

目前非常规油气的开发主要借鉴常规油气的经验,尚未形成独特的技术。对于压裂增产施工过程中裂缝形成机理还不清楚,需要进一步研究。另外,还存在分支井钻井失败率高,未进行过油页岩原位开采技术现场试验,地球物理勘探技术很难对油砂层进行识别等难题。

(3) 综合利用效率低,环境污染严重

在油砂、油页岩的开发利用过程中,产生的三废(废水、废气、废渣)有可能对环境造成极大的影响,目前还没有提出有力的应对措施。

五、几点建议

随着非常规油气资源基础理论水平的不断提高和配套工艺技术的不断创新,非常规油气资源必将提升我国能源保障能力,在我国能源体系中发挥举足轻重的作用。有效合理地开发利用非常规能源,需注意以下几个方面:

(1) 创新地质理论,加快油气资源勘探开发

针对不同非常规油气的成藏(矿)特点及储层特

征,研究不同的富集成藏(矿)主控因素,通过科学合理的储层评价技术,优选出高产富集有利区。尤其是渗透区域评价理论及技术、高产富集主控因素研究和不同地质条件下优质储层评价技术方面需要进行深入研究。综上不难看出,不管采用何种方式,都需要创新理论和技术,这是加快非常规资源开发和利用的基础,也是亟待解决的问题。

(2) 优化改进现有开发工艺技术,提高经济效益

国内已有的非常规油气勘探开发技术多数借鉴常规油气的技术或引进的国外技术,成本相对较高、适用性较差,没有形成非常规的独特技术。优化改进现有工艺技术,研发低成本、低污染,适合于不同储层地质条件的技术成为当务之急。需要进一步研究开发低污染、低成本钻完井技术,水平井和多分支井钻完井技术,复杂构造条件下的钻完井、多储层复合完井技术和低渗储层高效压裂技术。

(3) 发展综合利用技术,缓解环境压力

在开发非常规油气资源的同时,采用多种途径综合利用资源,处理好废水、废气、废渣问题,变废为宝,保护生态环境,走可持续发展道路。

(4) 坚定信心,加快非常规油气资源开发

在非常规油气资源勘探开发上,应该坚定信心,不断寻找高产富集区、优质资源区,并进行先导性开发,总结规律,改进已有工艺技术,创新技术理论,解决重大技术难题。

参 考 文 献

- [1] 冯连勇,赵林,赵庆飞.石油峰值理论及世界石油峰值预测[J].石油学报,2006,27(5):139-142.
- [2] 邱中建,方辉.对我国油气资源可持续发展的一些看法[J].石油学报,2005,26(2):1-5.
- [3] 李景明,王红岩,赵群.中国新能源资源潜力及前景展望[J].天然气工业,2008,28(1):149-153.
- [4] 贾承造.油砂资源状况与储量评估方法[M].北京:石油工业出版社,2007:26-28.
- [5] 章柏洋,朱建芳.世界非常规天然气资源的利用与进展[J].中国石油和化工经济分析,2006(9):42-45.
- [6] 刘招君,董清水,叶松青,等.中国油页岩资源现状[J].吉林大学学报:地球科学版,2006,6(6):869-876.
- [7] 钱家麟,王剑秋,李术元.世界油页岩开发利用动态[J].中外能源,2008,13(1):11-15.
- [8] 李旭.世界煤层气开发利用现状[J].煤炭加工与综合利用,2006(6):41-46.
- [9] 张金川,金之钧,袁明生.页岩气成藏机理和分布[J].天然气工业,2004,24(7):15-18.
- [10] BURNHAM ALAN K. Comparison of the acceptability of various oil shale processes[R].[S.l.]:26th Oil Shale Symposium Program,2006.
- [11] 高杰,李文.加拿大油砂资源开发现状及前景[J].中外能源,2006,11(4):9-11.
- [12] 邢定峰,龚满英,刘蜀敏,等.加拿大油砂沥青加工方案研究[J].石油规划设计,2007,18(1):10-14.

(修改回稿日期 2008-10-22 编辑 居维清)