

# 世界页岩气

## 资源与勘探开发技术

江怀友 宋新民 安晓璇 齐仁理 孔 强

能源安全影响到国家经济的发展和  
社会稳定,世界各国通过各种渠道解决  
自身的能源问题,其中最重要的手段之  
一就是寻找替代能源。非常规油气资源  
已经在全球能源结构中扮演着重要的角  
色。非常规天然气资源包括煤层气、致  
密气(即低渗透率砂岩气藏)、页岩气。  
美国非常规天然气产量已占到本国产量  
的近二分之一。全球非常规油产量超过  
 $7500 \times 10^4 \text{t}$ ,非常天然气产量超过  
 $1800 \times 10^9 \text{m}^3$ 。

页岩气藏在20世纪70年代中期以前  
仍被归入非经济可采资源,随着天然气  
价格的增长、开发技术的提高以及对天  
然气的依赖和天然气进口的增长,逐渐  
变为经济可采资源。页岩气由于其资源  
潜力巨大和经济效益显著而被各国政府  
及能源公司所重视。美国和加拿大拥有  
页岩气的勘探开发成熟技术,美国目前  
已对密西根、印第安纳等5个盆地的页岩  
气进行商业性开采,2005年页岩气产量  
达到 $198 \times 10^9 \text{m}^3$ ,成为一种重要的天然气  
资源。

### 一、世界页岩气资源现状

#### 1. 页岩气储量

从全世界范围看,泥、页岩约占全部  
沉积岩的60%,页岩气资源前景巨大。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(表1)。

表1 世界主要地区页岩气储量

地区	页岩气 ( $\times 10^{12} \text{m}^3$ )
北美	108.79
拉丁美洲	59.95
西欧	14.44
中欧和东欧	1.1
前苏联	17.75
中东和北非	72.15
非洲沙哈拉地区	7.76
中亚和中国	99.9
太平洋 (经济合作和发展组织)	65.5
亚太其他地区	8.89
南亚	0
世界	456.24

中国南方志留系地层中,发育黑色页  
岩,有机碳含量大多达10%~15%,演化  
程度高,可形成的页岩气资源潜力大。四  
川盆地为古生代海相沉积背景下形成的  
富含有机碳页岩,与美国东部地区页岩  
气发育盆地相似。四川盆地威远地区和泸  
州地区的页岩气资源潜力为( $6.8 \times 10^{12} \text{m}^3$   
~ $8.4 \times 10^{12} \text{m}^3$ ),相当于四川盆地的常规  
天然气资源总量。

中国松辽白垩系、江汉盆地的第三  
系、渤海湾盆地、南华北、柴达木以及酒  
泉盆地均具有页岩气资源。

#### 2. 页岩气产量

页岩气产量与储层性质有关。影响  
储层性质的因素有:储层内流体的流动;  
大的孔喉,有利于油气的流动;有好的水

当前国际能源供需矛盾突出,能源安全日益成为各  
国关注的焦点,页岩气资源勘探开发备受世界瞩  
目,页岩气是主体位于暗色泥页岩或高碳泥页岩  
中,以吸附或游离状态为主要存在方式的天然气聚  
集。页岩气储层孔隙度一般为4%~5%,渗透率小  
于1mD。世界页岩气储量为 $456.24 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。主要分  
布在北美、中亚和中国、拉美、中东和北非、前苏联。  
页岩气勘探方法有地质法、地球物理法、地球化学  
勘探法、钻井法。水平井、压裂法是目前页岩气开发  
主要技术。



图1 美国近年页岩气井数增加图

动力系统;良好的开采技术。目前美国有  
页岩气井4259口,图1为美国近年页岩  
气井数增加情况。年产量已跃升至( $168 \sim$   
 $204) \times 10^9 \text{m}^3$ 。预测2010年美国页岩气产  
量将占天然气总产量13%。

### 二、页岩气资源勘探技术

页岩气勘探方法有地质法、地球物  
理法、地球化学勘探法、钻井法、采用多  
学科综合勘探是页岩气勘探发展方向。

页岩气藏因为页岩自身的有效基质  
孔隙度很低,主要由大范围发育的区域  
性裂缝,或热裂解生气阶段产生异常高  
压在沿应力集中面、岩性接触过渡面或  
脆性薄弱面产生的裂缝提供成藏所需的  
最低限度的储集孔隙度和渗透率。通常  
孔隙度最高仅为4%~5%,渗透率小于  
1mD。

页岩在地层组成上,多为暗色泥  
岩与浅色粉砂岩的薄互层。在页岩中,  
天然气的赋存状态多种多样。除极少量  
的溶解状态天然气以外,大部分均以吸



附状态赋存于岩石颗粒和有机质表面,或以游离状态赋存于孔隙和裂缝之中。吸附状态天然气的赋存与有机质含量密切,其中吸附状态天然气的含量变化于20%~85%之间。页岩气介于煤层吸附气(吸附气含量在85%以上)和常规圈闭气(吸附气含量通常忽略为零)之间。页岩气成藏体现出了非常复杂的多机理递变特点,体现为成藏过程中的无运移或极短距离的有限运移,因此页岩气藏具有典型煤层气、典型根缘气和典型常规圈闭气成藏的多重机理(表2)。

表2 页岩气与煤层气天然气对比表

	页岩气	煤层气	天然气
成因类型	有机质热演化成因,生物成因	有机质热演化成因,生物成因	有机质热演化成因,生物成因,原油裂解成因
主要成分	甲烷为主,少量乙烷、丙烷等	甲烷为主	甲烷为主,乙烷、丙烷等含量变化较大
成藏特点	自生、自储、自保	自生、自储、自保	生、储、盖合理组合
分布特点	受页岩分布控制,有广布性	受煤层分布控制,有广布性	受生、储、盖组合控制
储集方式	吸附气和游离气并存,吸附气占20%~80%	吸附气为主,占80%以上	游离气为主
埋藏深度	200m及以深,最浅8.2m	风化带以下,一般大于300m	一般大于500m
资源潜力	不清	$37 \times 10^{12} \text{m}^3$	$44 \times 10^{12} \text{m}^3$
开采特点	排气降压解析开采	排水降压解析开采	自然压力开采

页岩气藏的形成是天然气在烃源岩中大规模滞留的结果。页岩气藏是“自生自储”式气藏,运移距离极短,其现今保存状态基本上可以反映烃类运移时的状态,即天然气主要以游离相、吸附相和溶解相存在。在生物化学生气阶段,天然气首先吸附在有机质和岩石颗粒表面,饱和后则富余的天然气以游离相或溶解相进行运移,当达到热裂解生气阶段,由于压力升高,若页岩内部产生裂缝,则天然气以游离相为主向其中运移聚集,受周围致密页岩烃源岩层遮挡、圈闭,易形成工业性页岩气藏。由于扩散作用对气态烃的运移能起到相当大的作

用,天然气继续大量生成,会因生烃膨胀作用而使富余的天然气向外扩散运移,故此时不论是页岩地层本身还是薄互层分布的砂岩储层,均表现为普遍的饱含气性。

在陆相盆地中,湖沼相和三角洲相沉积产物一般是页岩气成藏的最好条件,但通常位于或接近于盆地的沉降—沉积中心处,导致页岩气的分布有利区主要集中于盆地中心处。从天然气的生成角度分析,生物气的产生需要厌氧环境,而热成因气的产生也需要较高的温度条件,因此靠近盆地中心方向是页岩气成藏有利区域。

### 三、页岩气开发技术

开采页岩气层需要采取某种增产措施和特殊的钻井和完井方法。目前多采用水平井或斜井开采,斜井钻进是开发透镜状气藏可选择的最佳方法,而水平井将成为开发边缘海相和海相席状砂岩的最佳方法。从水平井中获得的最终采收率是直井的3倍,而费用只相当于直井的2倍(图2)。

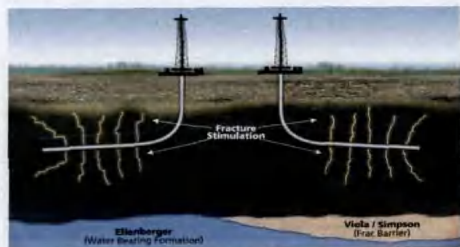


图2 水平井开发页岩气层

页岩储层改造技术,要求针对页岩储层特点优选压裂层位和施工工艺,才能取得比较好的开发效果和经济效益。对于埋藏较浅、地层压力较低的储层通常采用N<sub>2</sub>泡沫压裂。清水压裂的压裂液中一般已加入适量抑制剂,但仍要求储层中膨胀性蒙脱石含量不能很高,原因是其水敏性强,遇水易膨胀、分散和运移,导致岩石渗透率下降,所以,利用X-衍射和SEM测试结果分析黏土矿物的类型和含量十分必要。

### 四、页岩气资源勘探开发热点国家

#### 1. 美国

2007年美国天然气钻井、产量、储量增长主要为页岩气(图3)。其他产量有所

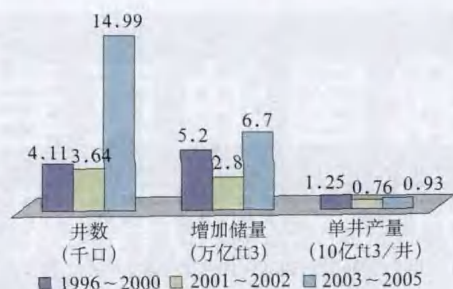


图3 美国近年页岩气储量增长情况

下降,由于页岩气的飞速增长,使得总产量得到了增长。

#### 2. 加拿大

加拿大非常规天然气协会(CSUG)认为西部(包括British Columbia北部Bowser盆地)Colorado页岩段、侏罗系及古生界页岩和东南部的泥盆系页岩具有开发的潜力。British Columbia油气委员会已核准的白垩系和泥盆系页岩气试验区块共计22个。西加拿大沉积盆地页岩气产量有望在2008年得到突破。2008年3月,在北美洲东北部的哥伦比亚北部偏远地区发现了一套泥盆纪的页岩气藏,有望成为北美洲最大的储气盆地。

#### 3. 中国

页岩气在中国具有良好的勘探前景,对页岩气的勘探研究也已经逐步展开。在四川盆地、鄂尔多斯盆地、渤海湾盆地、松辽盆地、吐哈盆地、江汉盆地、吐哈盆地、塔里木盆地、准噶尔盆地等均有页岩气成藏的地质条件,局部有机碳含量在30%以上,发现了典型页岩层中局部的天然气富集。其中,暗色页岩发育的地区和层位是需要重点研究的领域和目标。图4为中国天然气产量预测图<sup>[12]</sup>。

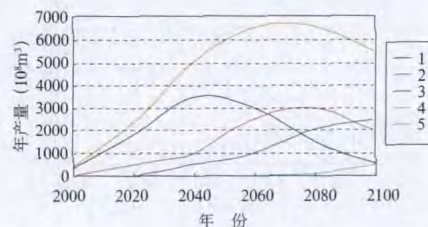


图4 中国天然气产量预测图(据范柏江, 2007)

1—常规天然气;2—煤层气、致密砂岩气、生物气、无机气;3—页岩气、水溶气;4—天然气水合物;5—天然气总量



# 我国油页岩资源开发利用现状与前景

高致远 雪 鸿

油页岩在我国的蕴藏量十分丰富,储量大约为2万亿吨,相当于800亿吨页岩油,仅次于美国、巴西、俄罗斯,居世界第四位。我国已探明和预测油页岩总储量为4831.7亿吨。按含油率6%折算,页岩油的地质储量达289.9亿吨。若按每33~35吨油页岩生产1吨页岩油折算,可生产142亿吨页岩油,接近我国到目前为止累计探明的天然石油储量总和。

高油价促使油页岩的开发利用逐渐升温。近几年来,随着世界原油价格上涨,油页岩炼油成本降低,我国的油页岩工业与世界一样,重新趋于活跃。从2004—2006年,我国共评价了84个油页岩含矿区,分布面积约18万平方公里,油页岩远景储量约2万亿吨,折合页岩油800亿吨,其中海南油页岩储量在24亿吨以上,单个矿区连片储量排全国第一位,主要分布在儋州长坡一带。目前,中国正进行油页岩开发利用的矿区分布于辽宁省抚顺、广东省茂名、吉林省桦甸、汪清和甘肃省岷山岭等地区。

辽宁抚顺油页岩矿是目前国内最大的油页岩生产基地,已探明地质储量35亿吨,仅东部露天矿可采储量就达4.3亿吨,平均含油率7.01%,按年开采650万吨计算,可以维持生产65年以上。抚顺页岩油工业始建于1928年,在1930—1980年的50年中,共加工油页岩约4.26亿吨,制取

页岩油约1408.5万吨。1959年年产页岩油达78万吨,为历史最高水平。我国油页岩开采经验丰富,技术成熟,新兴的用页岩尾矿和废渣生产水泥、砌块等产业更是蒸蒸日上。抚顺矿业集团页岩炼油厂已被国家发改委列为全国唯一的油母页岩综合利用示范基地。

在新一轮全国油气资源调查评价中,吉林省的油页岩资源探明储量居全国首位,约占全国总量的一半以上。吉林省已探明油页岩储量为174亿吨,预测资源总量接近3000亿吨。已探明储量的174亿吨约占全国油页岩探明总量的55.5%,其含油率最高可达21%~22%,平均为5%~6%,按平均含油率5%计算,可开采石油8.7亿吨。吉林省油页岩资源有以下四大特点,一是已探明的储量贫矿多富矿少,约169亿吨含油率在5.1%~5.95%之间;二是储量相对集中,主要在农安县和前郭县两地,保有储量约为169亿吨,占全省总量的97%以上;三是适合露天开采的矿床少,大部分位于基本农田保护区之内;四是油页岩造岩矿物的灰分是烧制陶粒的理想材料。吉林省将应用壳牌公司技术开发当地油页岩,壳牌公司拥有目前世界上最先进的地下转化工艺技术(ICP),这种技术不需破土开矿,非常适合吉林省油页岩大部分埋藏于平原耕地之下的特点和生态省建设的要求。地下

转化工艺技术是壳牌公司投入巨资研发出的一项最先进的开采油页岩及其他非常规资源的专利技术,它通过地下加温,使油页岩在地下进行裂解,再通过相关通道将油、气分别提取出来。这一方法不仅占地少(几乎不占耕地),而且对环境破坏非常小,没有空气污染,成本更低而产品价值更高。尽管该项技术现在还未完全商业化,但关键的工艺、设备等技术问题都已解决,并在美国科罗拉多和加拿大艾伯塔省进行了商业示范。由吉林光正矿业开发有限公司和壳牌(中国)有限公司合作组建的壳牌吉林能源控股有限公司于2006年4月成立。该合作企业将勘探和开发吉林省的油页岩资源。由壳牌(61%)和吉林光正(39%)投资的吉林壳牌合作企业将进行为期两年的油页岩地质勘探工作,该合作企业的长远目标是实现油页岩资源的商业开发,以生产清洁、优质的运输燃料及其它能源和化工产品。根据壳牌公司在北美ICP技术的研发及对当地油页岩资源的勘察情况,预计该技术将于2006年进入商业示范阶段,合资公司将于2006年开始示范运作,经过2~3年示范,2010年后开始全面商业生产,预计年产1400万吨轻油,总投资200亿美元。

近几年,石油价格的迅猛上涨使油页岩的开发利用逐渐升温。总投资高达

## 五、结论与认识

开采页岩气层需要采取某种增产措施和特殊的钻井和完井方法。采用水平井或斜井开采,斜井钻进是开发透镜状气藏的最佳方法,而水平井将成为开发边缘海相和海相席状砂岩的最佳方法。裂缝的发育程度是页岩气运移

聚集、经济开采的主要控制因素之一,仅有少数天然裂缝十分发育的页岩气井可直接投入生产,其余90%以上的页岩气井需要采取压裂等增产措施沟通天然裂缝,提高井筒附近储层导流能力。

通过对世界页岩气资源勘探开发现

状研究,实现页岩气资源优化利用,改善勘探开发效果,必将为全球页岩气资源的高水平、高效益勘探开发和可持续发展提供理论及实践依据□

(本文受“中国石油科技重大专项“中国石油天然气可持续发展战略研究”资助)