

资源开发

页岩气资源分布、开发现状及展望

安晓璇¹, 黄文辉¹, 刘思宇¹, 江怀友²

(1. 中国地质大学 海相储层演化与油气富集机理教育部重点实验室, 北京 100083)

2. 中国石油经济技术研究院, 北京 100011)

摘要: 目前页岩气资源勘探开发已成为世界焦点, 研究表明世界页岩气的资源量为 $636.283 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。美国页岩气资源丰富, 广泛分布于美国的南部、中部及东部。中国也拥有丰富的页岩气资源, 据初步评价与美国页岩气资源量大体相当, 但目前我国页岩气开发还处于初级阶段。美国是页岩气勘探开发技术最先进, 开发最全面的国家, 加拿大也有较长的页岩气开发历史。由于页岩气储层渗透率低, 开采难度大, 因此我们需要学习国外先进技术, 开发一套适合我国页岩气储层的钻井开采工艺, 同时需要国家的大力支持, 推动我国页岩气产业的发展。

关键词: 页岩气; 页岩气资源量; 开发现状; 展望

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

文章编号: 1673-2464(2010)02-0103-07

THE DISTRIBUTION, DEVELOPMENT AND EXPECTATION OF SHALE GAS RESOURCES

AN Xiao-xuan¹, HUANG Wen-hui¹, LIU Si-yu¹, JIANG Hua-you²

(1. The Education Ministry Key Laboratory of Marine Reservoir Evolution and Hydrocarbon

Accumulation Mechanism, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

2. Institute of Economics and Technology, CNPC, Beijing 100011, China)

Abstract The exploration of shale gas resources becomes a focus of the world. The natural gas resources are $636.283 \times 10^{12} \text{ m}^3$ in the world. Shale gas resources are rich in America, most of them are distributed in southern, central and eastern parts. There also are plenty of shale gas resources in China, nearly the same quantity as in America. In America there is the most advanced exploration and exploitation technology, and it is the only country which has the highest exploitation method. Canada has a long history of shale gas exploration and exploitation. China is still at the beginning for the shale gas exploitation. The permeability of the shale rocks is normally very low, so it is difficult to be exploited. Therefore, we need to learn the advanced foreign technology to develop a set of exploitation methods to develop our shale gas reservoirs, and we need the support from the government, increasing environmental protection while development.

Key words shale gas; shale gas resources; exploitation method; exploration expectation

1 页岩气概述

页岩气是指那些聚集在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^[1]。在页岩气藏中, 天然气不仅存在于泥页岩, 也存在于夹层状的粉砂岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩和砂岩地层中。

收稿日期: 2009-11-20 修订日期: 2010-03-08 责任编辑: 车遥。

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目 (2008ZX05000-014); 长江学者和团队创新发展计划 (RT0864)。

第一作者简介: 安晓璇 (1984—), 女, 硕士生, 主要从事碳酸盐岩储层评价研究。E-mail: an2003xuan@yahoo.com.cn

页岩气藏烃源岩多为沥青质或富含有机质的暗色泥页岩和高碳泥页岩，有机质含量一般为 4% ~ 30%，是普通烃源岩的 10~ 20倍。天然气的生成来源于生物作用、热成熟作用或两者的结合。

页岩自身的有效孔隙度很低，页岩气藏主要是由于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 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{[2]}$ 。

天然气以多种状态存在于页岩中。少数为溶解状态天然气，大部分为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。吸附状天然气的赋存与有机质含量密切，它与游离状天然气含量之间呈彼消长关系，其中吸附状态天然气的含量变化于 20% ~ 85% 之间。

2 页岩气资源现状

现今不断攀升的能源需求和巨大的资源压力，天然气价格的增长、开发技术不断提高以及人们对天然气的依赖，使得页岩气成为天然气工业化勘探的重要领域和目标。

据统计，世界页岩气的资源量为 $636.283 \times 10^{12} \text{ m}^{3[3]}$ ，相当于煤层气和致密砂岩气的总和。主要分布在北美、中亚和中国、中东和北非、拉丁美洲、前苏联等地区。页岩气研究较早开始于美国。目前美国已发现丰富的页岩气资源，拥有世界领先的勘探开发技术，取得了丰富的成果，并已进入页岩气开发的快速发展阶段。加拿大是开发页岩气资源的另一个重要国家，西部地区大约有 $15.6 \times 10^{12} \sim 24.4 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 的页岩气储量，目前页岩气已成为加拿大重要的替代能源，已实现了对页岩气的商业性开发，但还处于初级阶段。中国是继美国和加拿大之后，正式开始页岩气资源勘探开发的国家，我国页岩气资源丰富，据初步评价与美国页岩气资源量大体相当，但目前我国页岩气领域刚刚开始发展，页岩气藏的研究相对欠缺，页岩气勘探开发技术还尚未成熟，与常规天然气和煤层气相比页岩气仍属起步阶段。据初步估计，欧洲的可开采页岩气达 $11.3 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。目前，欧洲也逐步开展页岩气勘探，如英国、法国、德国、奥地利、波兰、匈牙利

和瑞典^[4]。

2.1 美国

美国是最早研究页岩气的国家，早在 1821 年就成功钻探了世界第一口页岩气井。从 20 世纪 70 年代开始，美国政府大力支持页岩气开发，有效推动了页岩气发展。

2000 年，美国页岩气年产量为 $122 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。2005 年，美国有页岩气井 40 000 余口，年产量 $168 \times 10^8 \sim 196 \times 10^8 \text{ m}^{3[4]}$ 。2007 年，仅 NewarkEast 页岩气田的年产量就达 $217 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，美国页岩气总年产量接近 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占美国天然气总量的 8% 以上^[5]。2009 年，美国页岩气产量接近 $1\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，超过我国常规天然气的年产量^[6]。

页岩气开采技术的突破使美国天然气储量增加了近 40%，因此页岩气在美国扮演着至关重要的角色，已成为美国重要供给能源之一。美国页岩气资源量十分丰富，其地质资源量高达 $141.6 \times 10^{12} \sim 169.9 \times 10^{12} \text{ m}^{3[3]}$ 。技术可采资源量（Lew is 页岩除外）在 $9.5 \times 10^{12} \sim 23.2 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 之间。其中以 Ohio 页岩的地质资源量和技术可采资源量最多。目前页岩气的主产区以及潜在产区主要分布于美国的南部、中部及东部（图 1）。著名的页岩气区块包括：南部 Marcellus、Barnett、Haynesville、Fayetteville 页岩气区块以及位于东部、中东部的 New Albany 和 Antrim 页岩气区块等。据 Chesapeake 能源公司预测，美国四大页岩产区的储量^[7]见表 1。

表 1 美国四大页岩产区的储量 10^{12} m^3	
页岩气产区	页岩气储量
Barnett 页岩	21
Fayetteville 页岩	16~ 18
Haynesville 页岩	14~ 20
Marcellus 页岩	6.4

2.1.1 Barnett 页岩

Barnett 页岩位于德克萨斯 Fort Worth 盆地中部，随着勘探技术的不断提高其技术可采储量逐年增长（图 2）。1996 年 Barnett 页岩技术可采储量仅为 $8.5 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，2002 年以后发展迅猛，2004 年达到 7.419×10^{11} ，到 2008 年该区页岩气的技术可采储量上升到 $1.8 \times 10^{12} \text{ m}^{3[3]}$ 。

Barnett 页岩是美国最早的页岩气产区，产层位

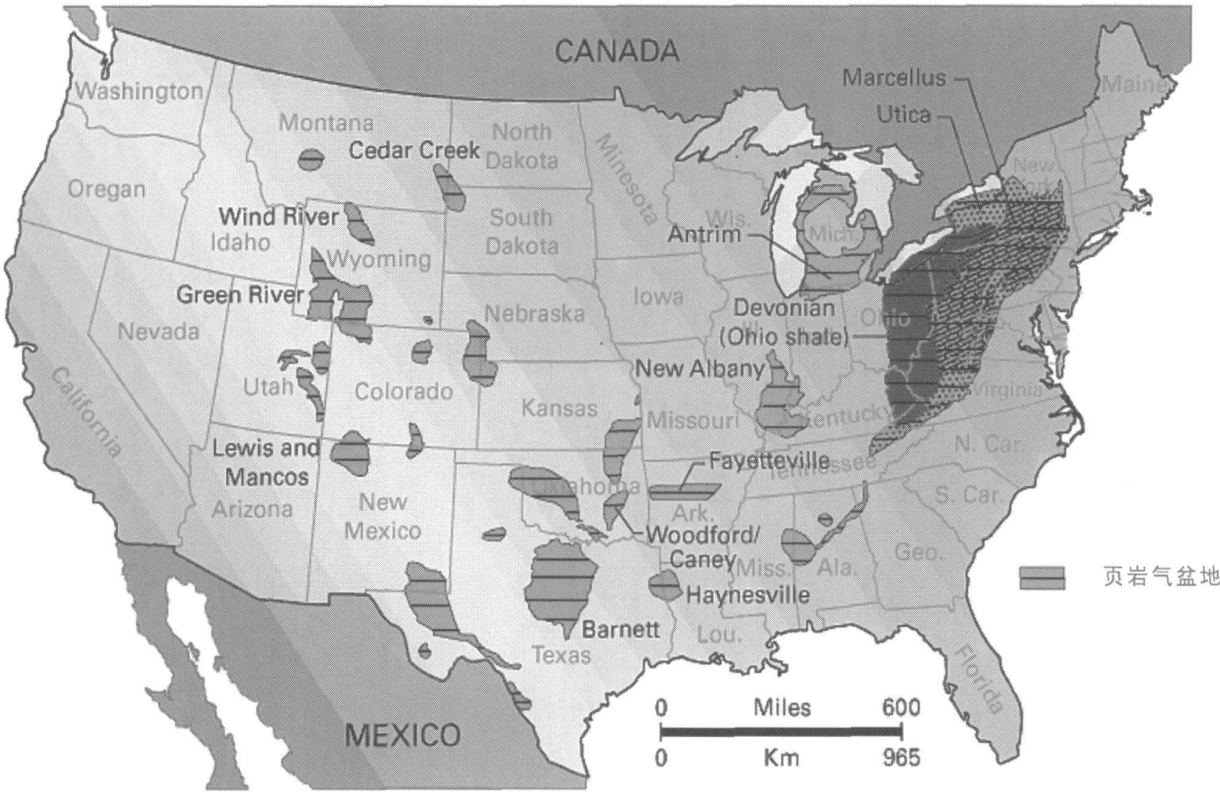


图 1 美国已发现的页岩气区块分布图

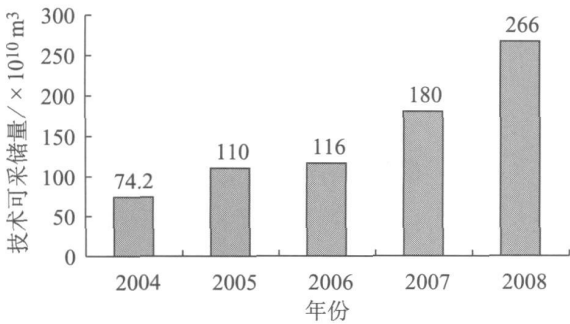


图 2 Barnett页岩气技术可采储量增长

于地下 1 981~ 2 895 m, 其储层厚度为 35 m, 孔隙度为 4.5%, 渗透率为 $250 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 产气量为 $1.4 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。Barnett富有机质黑色页岩主要由含钙硅质页岩和含粘土灰质泥岩构成。最早发现的页岩气产于该区块的东部, 随后向西逐步发现页岩气储层。1999年, Barnett页岩气产量几乎为零。2005年, 达到 $1.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 其中水平井的产量巨大。2007年, Barnett页岩为美国提供了 $2.5 \times 10^9 \text{ m}^3$ 页岩气。2009年产量增长到 $1.1 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{d}$ [7]。

2. 1. 2 Marcellus页岩

Marcellus页岩位于纽约西部、宾夕法尼亚州、俄亥俄州以及维吉尼亚西部, 是美国页岩气储层面积最大的页岩, 其面积约为 $17 \times 10^4 \text{ km}^2$, 甚至超过了希腊国土的面积 [8]。

Marcellus页岩气潜在产能巨大。储层较浅, 位于地下 610.0~ 2 438.2 m 范围内, 储层厚为 91.4~ 304.8m。据报道最初产能为 $1.4 \times 10^4 \sim 11.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 据预测该地区页岩气总储量相当于得克萨斯 Barnett页岩气的总储量 [8- 9]。

2. 1. 3 Fayetteville页岩

Fayetteville页岩位于阿肯色州 Arkoma盆地。页岩厚度 15~ 168 m, 深度位于 457~ 1 981 m, 预计储量为 $1.6 \times 10^{14} \sim 1.8 \times 10^{14} \text{ m}^3$ 。开发技术的提高使得该地区页岩气产量快速增加, 据报道, 该地区直井的最初产量为 $0.5 \times 10^4 \sim 1.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 水平井技术使产量增加到 $2.8 \times 10^4 \sim 9.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ [10]。

Fayetteville页岩的分布范围尚未知晓, 因此需要进一步研究, 有望发现更多的页岩气资源。

2. 1. 4 New Albany页岩

New Albany页岩位于伊利诺伊州的南部以及印

地安娜州和肯塔基州。埋藏深度为 152~1 493 m, 厚 30.5~122.0 m。垂直井的最初产能为 $7.0 \times 10^4 \sim 21.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 而水平井的最初产能达到 $5.7 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ 。Illinois盆地 98% 的油气来源于 New Albany黑色页岩, 该页岩形成于深水环境, 富含有机质, 某些层段有机质含量高达 20%^[10-12]。

2.1.5 Antrim页岩

Antrim页岩是位于密歇根州的较浅的页岩气储层。Antrim黑色页岩有机质丰度高, 热成熟度 R_o 较低未进入生油窗, 产气区位于盆地北部 Michigan湖和 Huron湖之间高角度裂缝发育带, 埋深 120~600 m, 厚 36~180 m, 页岩气以吸附气为主, 含气量 $1.415 \sim 2.83 \text{ m}^3/\text{t}$ 含气高低与有机碳含量呈现良好的正相关性。

目前, 该地区拥有 9 000 多口井, 累计产量为 $7.0 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。单井产量为 $1.4 \times 10^4 \sim 1.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ^[3]。虽然该地区页岩气最初产量较低, 但生产井长期保持稳产, 而且埋藏浅, 钻井费用低, 因此是个不错的页岩气产区。

2.1.6 Haynesville页岩

Haynesville页岩是个令人瞩目的页岩储层开发区, 位于路易斯安那州北部以及得克萨斯州东部, 埋深于地下 3 048 m 高温高压的环境下 (底部温度 194℃, 压力 20 670~27 580 kPa)。这里发现的黑色页岩层厚达 45~90 m, 其天然气储量预计在 $3 \times 10^{12} \sim 7 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 上限储量能够满足美国 12 年的能源需求。Haynesville页岩并不是美国页岩气储量面积最大的地区。但勘探的结果显示, 他很有可能是产量最高的页岩气藏之一。

2.2 加拿大

除美国以外, 加拿大是另一个对页岩气进行规模性开发的国家。页岩气现已成为加拿大重要的替代能源。加拿大页岩气资源分布广、层位多, 预测页岩气资源量超过 $28.3 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 其西部地区大约有 $15.6 \times 10^{12} \sim 24.4 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 的页岩气储量^[13], 其中不列颠哥伦比亚地区的白垩系、侏罗系、三叠系和泥盆系的页岩气资源量约 $7.1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。加拿大西部的沉积盆地大部分由页岩组成, 据阿尔伯特地质调查局研究表明, 该地区存在 15 个有利的页岩气储层。

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。截至 2006 年, 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^[14-15]。

据美国油气杂志 2008 年 3 月 24 日报道, 在北美洲东北部的不列颠哥伦比亚北部偏远地区发现了一套泥盆纪的页岩气藏, 该地区有望发现北美洲最大的储气盆地。该区带的 Muskwa 页岩分布于卡尔加里东北部的 Horn River 盆地, 面积为 566.6 km^2 , 预计含气资源量为 $2.8 \times 10^{13} \text{ m}^3$ ^[16], 是约翰逊县 Barnett 页岩的 2 倍。Muskwa 页岩和 Barnett 页岩的埋藏深度相当, 但 Muskwa 页岩厚度更大、渗透性更好 (储层厚度为 530 m, 孔隙度为 4%, 渗透率 $230 \text{ m} \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 产气量 $1.9 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{km}^2$)、地质结构更简单, 而且不含水。

加拿大页岩气开发还处于初级阶段, 只有有限的资源被开发利用, 大规模的商业性开采还尚未进行。2007 年页岩气开发在加拿大发生了巨大变化。目前许多公司投入大量资金, 应用先进技术来勘探阿尔伯特、不列颠哥伦比亚、萨斯喀彻温省、魁北克、安大略、新斯科舍等地区的页岩气资源 (图 3)^[17], 其中 Horn River 盆地和 Montney 深盆地最重要盆地。页岩气有望成为加拿大重要的天然气资源之一。

2.3 中国

页岩气在中国具有良好的勘探前景, 其总地质储量预计可达 $150 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ^[18]。首先我国的地质条件有利于页岩气的富集。我国海相沉积面积广, 烃源岩发育良好、演化程度高。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、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^[2]。富集层位主体存在于中、古生界地层中, 以及东部地区的新生界^[19]。

四川盆地下志留统烃源岩约 $60 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$, 预计下古生界海相页岩气平均可采资源量约 $3.0 \times 10^8 \sim 3.5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。在四川盆地华蓥山以西的下寒武统筇竹寺组和以东的下志留统龙马溪组厚层页岩发育区, 其页岩具有干酪根生烃、成岩作用以及构造应力产生裂缝的条件, 是未来页岩气资源的勘探方向。据初步估算, 该地区页岩气资源相当于整个四川盆地的常规天然气资源总量^[20]。其中威远



图 3 加拿大页岩气储层分布图

地区、阳高寺和九奎山的 158口井在复查中普遍见显示，尤其是 1966年完钻的威 5井，钻遇九老洞页岩段发现气浸与井喷，后测试日产气 $2.46 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

在吐哈盆地吐鲁番坳陷水西沟群地层广泛发育了暗色泥岩和炭质泥页岩，炭质泥岩累积平均厚度在 30 m 以上，有机碳含量一般介于 6% ~ 30%，非常有利于页岩气藏的形成和发育。

青藏地区中—古生界泥页岩地层厚度大，有机质含量高，有机质热演化程度适中，也是页岩气发育的前景地区。

济阳坳陷古近系沙河街组普遍发育泥页岩，页岩厚度均在 100 m 以上，有机质丰度高，有机碳含量最高可达 10% 以上，有机质类型以腐泥型—混合型为主，有机质成熟度处于未熟—高成熟阶段，分布范围宽，具备大量形成页岩气藏的物质基础。且各凹陷泥页岩发育大量的顺层、低角度和垂向、高角度裂缝，页岩层段普遍出现气测异常，其间可能蕴含着巨大的天然气资源量。济阳坳陷古近系页岩层在整个渤海湾盆地具有可比性，是值得关注的天然气勘探新领域^[21]。

3 我国页岩气发展的建议

美国页岩气勘探开发的飞速发展，得益于美国

国家政策的大力支持。20 世纪 70 年代末，美国政府颁布了《能源意外获利法》，该政策的提出旨在为非常规能源开发税收提供补贴。1976 年美国能源开发署（DOE）启动东部页岩气项目（EGSP），全面开展目的层地质、地球化学条件的定性和定量描述、经济评价、增产工艺和钻井、完井工程设计等技术的研发，资助工作一直持续到 1992 年。20 世纪 80 年代至 90 年代早期，天然气技术协会（GTI）组织力量对泥盆系和密西西比系页岩天然气潜力、取心技术、套管井设计和提高采收率等关键问题进行深入探讨，逐步构建了以岩心实验为基础、以测井定量解释为手段、以地震预测为方向、以储集层改造为重点和以经济评价为主导的勘探开发体系^[22-23]。20 世纪 90 年代初开始，得克萨斯州对页岩气的开发免收生产税。美国还专门设立了非常规油气资源研究基金。这些都积极地鼓励了美国企业投身于页岩气的勘探开发中，极大地推动了美国页岩气的发展。继美国之后，加拿大也开始页岩气的区域勘查、摸底和试验。2004 年 British Columbia 能源矿产部将页岩气区域资源评价列入能源发展目录。

由此可见，美国页岩气的飞速发展得益于国家的大力支持，加拿大页岩气的勘探开发也离不开国家的有利政策。我国应吸取国外成功经验，制定一

套有利于页岩气勘探开发的政策, 积极鼓励开采页岩气, 降低成本, 最终推动我国页岩气飞速发展^[24]。

页岩气藏的储层一般呈低孔、低渗透率的物性特征, 气流的阻力比常规天然气大, 很大程度上增加了页岩气开发的难度, 因此掌握先进的科学技术至关重要。目前, 美国已探索出先进的页岩气开采技术, 包括水平井加多段压裂技术、清水压裂技术和同步压裂技术。我国还没有形成成熟的技术, 因此需要学习国外先进技术, 从技术上进行突破, 开发一套适合我国页岩气储层的钻井开采工艺。目前我国已在地震储集层预测、大型压裂应用于低渗透气藏储集层改造、裂缝性油藏压裂井产能评价以及微地震监测技术等方面积累了丰富的经验^[26]。针对页岩气的开发, 需要根据中国裂缝性泥页岩气藏特点建立相应的勘探开发理论及先进技术, 从而达到有效开发并降低成本。按照这种方法我国找到丰富的经济可采储量并有效开采指日可待。

我国丰富的页岩气资源有待于全面而系统的勘探开发与评价, 寻找页岩气富集区带和有利开发区。借鉴国外的技术手段, 将我国储层和国外页岩气储层进行对比, 将有利于确定我国页岩气有利区带。例如美国页岩气产区地质特征为: 沉积泥页岩厚度大, 有机质含量高, 演化程度好, 储层孔隙裂缝发育等因素。而我国的鄂尔多斯、四川、吐哈、塔里木、准噶尔以及柴达木等盆地大量发育暗色泥页岩, 有机碳含量高, 同美国页岩气储层对比发现其生气条件有利, 是我国重点开发区。

研究发现, 页岩气的开发可能会对环境造成影响。例如压裂技术需要用大量混合了化学物质的水, 有学者担心这会对地下水以及蓄水层造成污染。美国科学家指出页岩气井周围的甲烷气体含量较多, 这会对空气造成污染。因此在开发过程中需要采取环境保护的措施, 加强保护环境意识, 如在水库和蓄水层周围建造隔离缓冲区, 避免造成污染, 还应颁布法令来规范开采行为。

4 展望

页岩气资源量极其丰富, 目前备受世界各国的关注, 现在只有很少一部分得到了开采, 相信未来几年的开发将促使全球已知天然气储量增加至少

20%。据 ICF 预测, 页岩气、煤层气等非常规天然气将成为北美地区主要的天然气资源。美国非常规天然气产量在 2007 年占天然气总产量的 42%, 到 2020 年, 有望达到 64%。目前, 美国天然气可采储量预计可让美国用上 90 年, 如果加上页岩气资源量, 美国天然气可持续使用 119 年^[27]。

中国国土资源部日前表示, 中国计划到 2020 年将页岩气年生产能力提高到 $150 \times 10^8 \sim 300 \times 10^8 \text{ m}^3$, 预期发现 20~30 个大型勘探开发区块。中国页岩气勘探开发有很好的前景。如我国的四川盆地很可能是页岩气重要产区, 研究表明该地区两套页岩地质地化参数与美国 5 大页岩气盆地相当, 现在已试气的井其产能不低于美国 5 大盆地页岩气的平均日产量^[28]。但是由于页岩气储集层的渗透率低、气流的阻力比传统天然气大的多, 开采难度大, 要真正形成大规模的产能, 尚有较长的路要走。我国将积极探索页岩气, 拓展油气资源勘查领域。开展页岩气资源基础调查和研究, 评价页岩气资源潜力, 推动页岩气开发利用。

页岩气勘探开发使美国天然气储量增加了近 40%, 预计 2010 年页岩气产量将占全美天然气产量的 15% 以上。美国页岩气进一步的勘探开发方向指向北部地区。美国能源情报署 (EIA) 预测 2012 年美国 Barnett Fayetteville 和 Woodford 等的页岩气藏和 Rocky Mountains 的几个致密气藏的总产量将达到美国天然气产量的 50%。据美国能源部能源信息中心发布的《2009 能源展望》报告称, 到 2030 年, 以页岩气为代表的美国非常规气产量将超过 $3681 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占美国天然气总产量的一半以上。目前美国正在积极研究页岩气开采新技术, 同时正积极输出已有技术到欧洲, 加拿大在页岩气勘探开发的过程中广泛借鉴美国的先进技术, 而我国也在不断学习同美国进行合作, 相信在美国的带动下页岩气产业将会在全球飞速发展。

由于天然气价格不断上涨, 人们对页岩气的地质认识不断提高, 目前页岩气勘探开发正由北美向全球扩展, 加快页岩气资源勘探开发, 已成为世界主要页岩气资源大国和地区的共同选择。每个盆地和沉积单元都有其自身的特点及挑战, 页岩气这个低渗储层需要创新和先进技术的应用, 相信在不久的将来会有突飞猛进的发展, 页岩气必将重塑世界油气资源勘探开发新格局。

5 结论

随着近年来世界能源消费的不断攀升,加之传统油气资源生产和供应面临的诸多挑战,包括页岩气在内的非常规能源受到越来越多的重视。目前,美国和加拿大等国已实现了页岩气的商业性开发,我国也在积极探索和发掘国内的页岩气资源潜力。

由于页岩气藏储层复杂,多为低孔低渗型,因此开发技术要求很高,开采通常需要压裂,而我国的技术尚未成熟。促进我国页岩气产业的发展就需要大量技术、资金和人员的投入。目前我国页岩气资源的开发刚刚起步,经验匮乏,技术不成熟,页岩气埋藏深度较深,这些因素制约着我国页岩气的发展,页岩气资源的规模开发还有很长的路要走。

国外有先进的页岩气勘探开发技术和丰富的经验。我国应加强对外合作,学习他们的先进技术,降低资金投入,最终加快我国页岩气资源开采的步伐。

参考文献

- [1] 张金川,薛会,王艳芳,等.中国非常规天然气勘探综述[J].天然气工业,2006,26(12):53-56
- [2] 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
- [3] Navigant Consulting Inc. North American natural gas supply assessment [R]. Chicago: Navigant Consulting Inc, 2008
- [4] OGJ Online. The World Shale Gas Battle-rooms in Europe [EB/OL]. (2010-05-01) [2010-03-04]. <http://www.ogj.com/index/login.htm?cb=http://www.ogj.com/ogj/en-us/index/article-display.articles.oil-gas-journal-volume-108.Issue-10.General-Interest-Watching-The-World-Shale-gas-battle-rooms-in-Europe.html>
- [5] Geotimes. Earth Energy and Environment News. An 'unconventional' future for natural gas in the United States [EB/OL]. (2008-05-27) [2010-03-06]. http://www.geotimes.org/Feb08/article.htm?id=Feature_gas.html
- [6] 中国有色网.我国拟勘探开发页岩气资源来应对“气荒”[EB/OL]. (2010-01-29) [2010-02-03]. <http://www.cnmn.com.cn/ShowNews.aspx?id=166166>
- [7] Oil & Gas Journal. Compositional Variety Complicates Processing Plans For U.S. Shale Gas [EB/OL]. (2009-03-09) [2010-03-02]. <http://www.ogj.com/index/login.htm?cb=http://www.ogj.com/ogj/en-us/index/article-display.articles.oil-gas-journal-volume-107.issue-10.special-report.compositional-variety-complicates-processing-plans-for-us-shale-gas.html>
- [8] Sheila M. America's shale-gas bonanza [EB/OL]. (2010-02-23) [2010-03-04]. <http://new.chinadialogue.net/article/summary/3505-America-s-shale-gas-bonanza>
- [9] Sandrea R. Estimating new field production potential could assist in quantifying supply trends [J]. Oil & Gas Journal, 2006, 5(22): 30
- [10] 张林晔,李政,朱日房.页岩气的形成与开发[J].天然气工业,2009,29(1):124-128
- [11] Sandrea R. Future global oil & gas supply: a quantitative analysis [J]. Oil & Gas Journal, 2009, 7(2): 6
- [12] 李新景,吕宗刚,董大忠,等.北美页岩气资源形成的地质条件[J].天然气工业,2009,29(5):27-32
- [13] White J. Shale plays soar: an investor's guide to unconventional gas, shales and coalbed methane [J]. Oil and Gas Investor, 2008, 2: 2-8
- [14] 孙超,朱筱敏,陈菁,等.页岩气与深盆地成藏的相似与相关[J].油气地质与采收率,2007,14(1):26-31
- [15] Oil & Gas Journal. Apache producing from three British Columbia gas wells [EB/OL]. (2008-08-10) [2009-11-23]. http://www.ogj.com/articles/article_display.cfm?ARTICLE_ID=32539&p=7
- [16] Dawson M. 3th annual B. C. unconventional gas technical forum [R]. Calgary: CSUG, 2009
- [17] CSUG. The four types of unconventional gas [EB/OL]. [2010-03-04]. http://www.csug.ca/index.php?option=com_content&task=view&id=60&Itemid=66#shale-state
- [18] 赵群.世界页岩气发展现状及我国勘探前景[J].天然气技术,2008,2(3):11-15
- [19] 张金川,徐波,聂海宽,等.中国页岩气资源勘探潜力[J].天然气工业,2008,28(6):136-140
- [20] 孙艳莉.页岩气开发:唤醒沉睡“宝藏”[J].中国石油石化,2008(15):40-41
- [21] 张林晔,李政,朱日房,等.济阳拗陷古近系存在页岩气资源的可能性[J].天然气工业,2008,28(12):26-29
- [22] 张金川,徐波,聂海宽,等.中国天然气勘探的两个重要领域[J].天然气工业,2007,27(11):1-6
- [23] 李新景,胡素云,程克明.北美裂缝性页岩气勘探开发的启示[J].石油勘探与开发,2007,34(4):392-400
- [24] 翟光明.关于非常规油气资源勘探开发的几点思考[J].天然气工业,2008,28(12):123
- [25] 蒲泊伶.页岩气成藏条件分析:以美国页岩气盆地为例[J].石油地质与工程,2008,22(3):33-39
- [26] Energy Tomorrow. More information about shale gas and U.S. energy security [EB/OL]. (2009-03-03) [2010-03-04]. <http://www.energytomorrow.org/Shalegas.htm>
- [27] 张金川,聂海宽,徐波,等.四川盆地页岩气成藏地质条件[J].天然气工业,2008,28(2):151-156