

技术进步是推动美国页岩气快速发展的关键^{*}

黄玉珍¹ 黄金亮² 葛春梅¹ 程克明² 董大忠²

1. 中国石油对外合作经理部 2. 中国石油勘探开发研究院

黄玉珍等. 技术进步是推动美国页岩气快速发展的关键. 天然气工业, 2009, 29(5): 7-10.

摘 要 近年来,美国页岩气的勘探开发步入大规模快速发展阶段。除了得益于天然气市场需求的增长、国家政策扶持等因素外,技术进步是推动美国页岩气快速发展的关键因素,其中钻井、完井与增产技术的进步,尤其是水平井钻井、水力多段压裂、重复压裂、同步压裂以及裂缝综合监测等技术的突破与广泛运用起着极为重要的作用。美国页岩气勘探开发的巨大成功表明,只要突破传统的勘探思想,坚持不懈地开展技术创新,仍然能够使分布广泛的页岩气资源量逐步转化为经济和技术可采储量。

关键词 美国 页岩气 技术进步 关键因素 水平井 压裂 裂缝监测

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2009.05.002

1 近年来美国页岩气产量大幅增长

美国页岩气开采最早可以追溯到 1821 年,20 世纪 20 年代开始现代化工业生产,70 年代中期步入规模化发展阶段,至 80 年代末累计产量达到 $840 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。1989~1999 年,美国页岩气生产整体保持较高速度增长,年产量翻了近两番,达 $106 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。进入 2000 年以来,美国页岩气产量大幅增长,处于快速发展阶段^[1](图 1)。

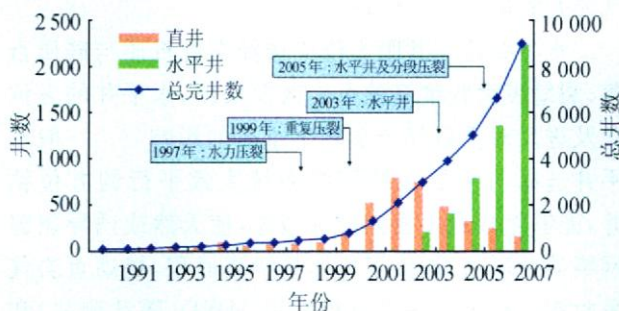


图 1 1990~2007 年 Barnett 页岩气生产井数量变化图
(据 Gene Powell, 2008 年修改)

目前,美国有 5 大商业性页岩气生产盆地,即密歇根盆地(Antrim 页岩)、阿帕拉契亚盆地(Ohio 页岩)、伊里诺斯盆地(New Albany 页岩)、沃斯堡盆地(Barnett 页岩)和圣胡安盆地(Lewis 页岩),5 大盆

地页岩气地质资源量 $12.85 \times 10^{12} \sim 25.14 \times 10^{12} \text{ m}^3$,探明地质储量 $6994.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[2]。

在美国五大页岩气盆地中,尤以沃斯堡盆地 Barnett 页岩气的发展最为迅猛。1993 年 Barnett 页岩气年产量仅 $7.9 \times 10^8 \text{ m}^3$,至 2007 年 8 960 口页岩气生产井产气量猛增近 40 倍,达 $315 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[3],超过 2006 年全美页岩气总产量(图 2)。据美国能源信息署(EIA)2006 年公布的数据,主产区 Newark East 气田年产量和技术可采储量在美国各气田中排名分别为第二和第三,并且随着勘探开发程度不断扩大及技术的进步,沃斯堡盆地陆续发现了一大批具有商业性开采价值的页岩气气田^[4],美国联邦地质调查局(USGS)及其他研究机构对 Barnett 页岩气技术可采储量的评估值也迅速攀升,由 1990 年的 $390 \times 10^8 \text{ m}^3$ (USGS,1990)、1996 年的 $840 \times 10^8 \text{ m}^3$ (USGS,1996)、2004 年的 $7300 \times 10^8 \text{ m}^3$ (USGS,2004)增至 2005 年的 $1.1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ (ARI,2005)^[4-5]。

伴随着页岩气在沃斯堡盆地 Barnett 地区取得巨大的成功,美国众多油气公司对页岩气的投资热情日益高涨。截至 2007 年底,美国有 64 家油气公司进行页岩气商业开采^[7]。最近,美国在 5 大盆地之外更大面积范围内开采页岩气资源,新兴页岩气勘探开发区近 70 个^[7-8],其中 Fayetteville 页岩聚

^{*}本文受到中国石油天然气股份公司对外合作非常规天然气技术攻关项目(编号:06-03-01)的资助。

作者简介:黄玉珍,1962 年生,高级工程师;1985 年毕业于原江汉石油学院,主要从事油气勘探与开发对外合作工作,现任中国石油天然气股份有限公司对外合作经理部新项目处处长。地址:(100007)北京市东城区东直门北大街 9 号。电话:(010) 59986775。E-mail: yzhuang@petrochina.com.cn

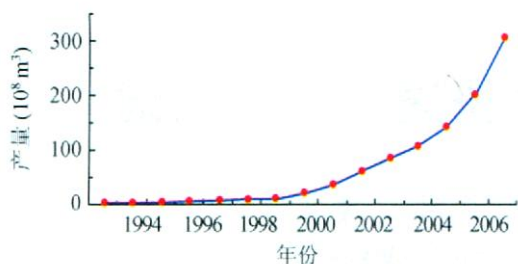


图2 1993~2007年沃斯堡盆地 Barnett 页岩气历年产量变化曲线图

(据 RRC,2008 年^[6];Gene Powell,2008 年修改)

集带正成为继 Barnett 页岩气富集带之后又一个新的页岩气开发热点地区,2007 年页岩气产量达 $25.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2 美国页岩气勘探开发成功的启迪

从页岩气的实践在美国获得的巨大成功来看,除了依赖于天然气市场需求的增长、国家政策扶持(如美国《联邦税法》第 29 章——非常规能源生产税减免政策)外,勘探与开发技术的突破及规模推广运用是其中最关键的因素。页岩气的发展无不与科技进步紧密相连,勘探开发技术的创新与推广是页岩气开发取得成功的引擎,技术进步推动了并将继续推动页岩气的持续快速发展。

开发技术的创新尤其是水平井钻井、压裂技术以及裂缝综合诊断技术的进步与广泛运用在推动沃斯堡盆地 Barnett 页岩气藏的快速发展中起着至关重要的作用。1981 年,Barnett 页岩区在按计划钻探过程中偶然发现显示良好的 Barnett 页岩层段。自 1981 年第一口发现井到 1992 年历经 10 a 生产井仅 99 口,开发缓慢。1997 年后,水力压裂开始取代凝胶压裂成为页岩气主要的增产措施,Barnett 页岩气的开发也随之加快了前进的步伐。随着 1999 年重复压裂、2003 年水平钻井以及 2005 年水平井分段压裂等一系列新技术的广泛运用,Barnett 页岩气发展速度惊人(图 2),从 1997~2007 年的 10 a 时间里,Barnett 页岩气区有多达 8 629 口页岩气井投入生产(其中水平井 4 973 口,占 50%以上)。新技术的运用同样使 Barnett 页岩气产量发生了翻天覆地的变化,截至 2008 年 1 月,Barnett 页岩气产量约 $0.996 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{d}$,累计产量 $1\,044.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[3]。

3 技术进步推动美国页岩气快速发展

3.1 水平井是页岩气开发的主要钻井方式

与直井相比,水平井在页岩气开发中具有无可

比拟的优势:水平井成本为直井的 1.5~2.5 倍,但初始开采速度、控制储量和最终评价可采储量却是直井的 3~4 倍^[9]。沃斯堡盆地 Barnett 页岩最成功的垂直井在 2006 年上半年页岩气累积产量为 $991.10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,而同期最成功的水平井产量为 $2\,831.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,为直井产量的近 3 倍^[5]。水平井与页岩层中裂缝(主要为垂直裂缝)相交机会大,明显改善储层流体的流动状况。统计结果表明,水平段为 200 m 或更长时,比直井钻遇裂缝的机会多几十倍^[10]。在直井收效甚微的地区,水平井开采效果良好。如在 Barnett 页岩气外围开采区内,水平井克服了 Barnett 组页岩上、下石灰岩层的限制,避免了 Ellenburger 组白云岩层的水侵,降低了压裂风险以及增产效果明显,在外围生产区得到广泛的运用^[4]。减少了地面设施,开采延伸范围大,避免地面不利条件的干扰。

2002 年以前,垂直井是美国页岩气开发主要的钻井方式,随着 2002 年 Devon 能源公司 7 口 Barnett 页岩气试验水平井取得了巨大成功,业界开始大力推广水平钻井^[4],水平井已然成为页岩气开发的主要钻井方式。2002 年后,Barnett 页岩气水平井完井数迅速增加,2003~2007 年 Barnett 页岩水平井累计达 4 960 口,占 Barnett 页岩气生产井总数的 50%以上,2007 年完钻 2 219 口水平井,占该年页岩气完井数的 94%(图 2)^[3]。

水平井位与井眼方位应选择有机质与硅质富集、裂缝发育程度高的页岩区及层位,水平井的方位角及进尺对页岩气产量产生重要的影响^[5]。一般水平井选择与主要裂缝网络系统大致平行的方位钻井,能够生成众多横向诱导裂缝,使天然或诱导裂缝网络彼此联通,增大了气体接触表面积,提高页岩气采收率。在水平钻井过程采用 MWD(随钻测井)和自然伽马测井曲线在页岩段内定向控制和定位,应用对比井数据和地震数据避开已知有井漏问题和断层的区域。水平钻井取得成功的关键是有效的井身设计,利于节约完井和管理成本。钻井作业采用泥浆系统、井下钻具以及定向设备等常规钻井技术。采用地质导向技术,确保在目标区内钻井,避免断层和其他复杂构造区,否则会导致钻穿目标区,或者发生井漏。通常,水平段越长,最终采收率和初始开采速度就会得到越大的提高。根据美国公布的数据,最有效的水平井进尺包括造斜井段一般为 914~1 219 m^[9]。

3.2 压裂增产技术的进步显著提高了页岩气的产量

3.2.1 美国页岩气压裂增产措施的发展历程

含气页岩储层的基质孔隙度和渗透率总体上非常低,除少数裂缝发育带可能具有较高的自然产能外,一般页岩气藏均需人工压裂改造之后才具有商业价值^[11]。

20 世纪 70 年代,美国的经营者对东部泥盆纪页岩气开发中曾采用裸眼完井、硝化甘油爆炸增产技术来提高天然气的采收率^[12];20 世纪 80 年代使用高能气体压裂以及氮气泡沫压裂,使得页岩气产量提高了 3~4 倍^[13]。进入 21 世纪后,随着水力压裂、重复压力及平行压裂等新技术的运用和推广,极大地改善了页岩气井的生产动态与增产作业效果,页岩气单井产量增长显著,极大地促进了页岩气的快速发展。

沃斯堡盆地 Barnett 页岩气藏的开发先后经历了直井小型交联凝胶或泡沫压裂、直井大型交联凝胶或泡沫压裂、直井减阻水力压裂与水平井水力压裂等多个阶段,增产效果极大地提高(图 3)^[14]。如 Barnett 页岩气区的 C. W. Slay1 号井早期采用氮气泡沫压裂,12 a 内累计总产气量为 $50 \times 10^4 \text{ m}^3$;关井 2 a 后采用大型凝胶进行重复压裂,2.5 a 内产气量为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$;再次关井 2 a 后采用水力压裂,获得 $210 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的产气量;截至 2007 年底,这口最初被认为无经济价值的页岩气井累计产气量已达 $3\,817.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

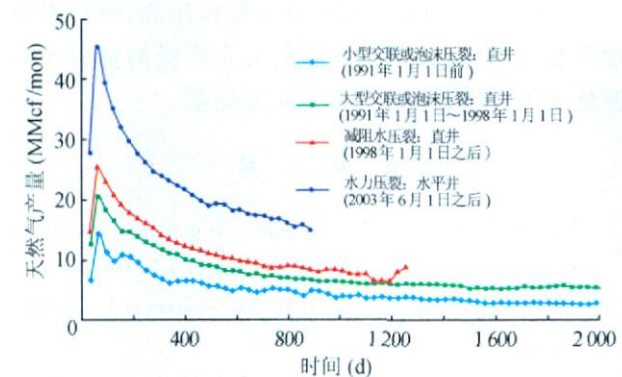


图 3 压裂新技术的运用改善 Barnett 页岩气井生产动态图
(据 Charles Boyer 等,2006 年)
注:1 MMcf = $2.831\,7 \times 10^4 \text{ m}^3$

3.2.2 水力压裂

由于页岩气产能较低,通常埋深大、地层压力高的页岩储层必须进行水力压裂改造才能够实现经济性开采。水力压裂技术以清水为压裂液,支撑剂较

凝胶压裂少 90%,并且不需要黏土稳定剂与表面活性剂,大部分地区完全可以不用泵增压,较之美国 20 世纪 90 年代实施的凝胶压裂技术可以节约成本 50%~60%,并能提高最终估计采收率,目前已成为美国页岩气井最主要的增产措施(图 4)^[14]。

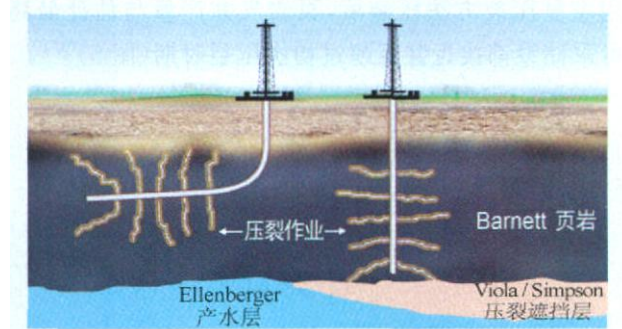


图 4 Barnett 页岩压裂模式示意图

3.2.3 水平井分段压裂技术

在水平井段采用分段压裂,能有效产生裂缝网络,尽可能提高最终采收率,同时节约成本^[15]。最初水平井的压裂阶段一般采用单段或 2 段,目前已增至 7 段甚至更多。如美国新田公司位于阿科马盆地 Woodford 页岩气聚集带的 Tipton-1 H-23 井经过 7 段水力压裂措施改造后,增产效果显著,页岩气产量高达 $14.16 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ^[7](表 1)。水平井水力多段压裂技术的广泛运用,使原本低产或无气流的页岩气井获得工业价值成为可能,极大地延伸了页岩气在横向与纵向的开采范围,是目前美国页岩气快速发展最关键的技术。

表 1 新田公司阿科马盆地 Woodford 页岩气井产量表

| 井 名 | 压裂段数 | 初始产量 ($10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) | 最终产量 ($10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) |
|----------------|------|---|---|
| Tollett-1 H-22 | 5 | 28.32 | 16.99 |
| Bullock-1 H-15 | 5 | 14.16 | 11.61 |
| Tipton-1 H-23 | 7 | 19.82 | 14.16 |

注:据 John White 等修改,2007 年。

3.2.4 重复压裂

当页岩气井初始压裂处理已经无效或现有的支撑剂因时间关系损坏或质量下降,导致气体产量大幅下降时,重复压裂能重建储层到井眼的线性流,恢复或增加生产产能,可使估计最终采收率提高 8%~10%,可采储量增加 60%,是一种低成本增产方法。该方法有效地改善单井产量与生产动态特性,在页岩气井生产中起着积极作用,压裂后产量接近甚至超过初次压裂时期。美国天然气研究所(GRI)研究

证实,重复压裂能够以 0.1 美元/mcf (1 mcft = 28.317 m³) 的成本增加储量,远低于收购天然气储量 0.54 美元/mcf 或发现和开发天然气储量 0.75 美元/mcf 的平均成本^[16]。如图 5 所示,得克萨斯州 Newark East 气田 Barnett 页岩新井完井和老井采用重复压裂方法压裂后,页岩气井产量与估计最终可采储量都接近甚至超过初次压裂时期(图 5)^[17]。

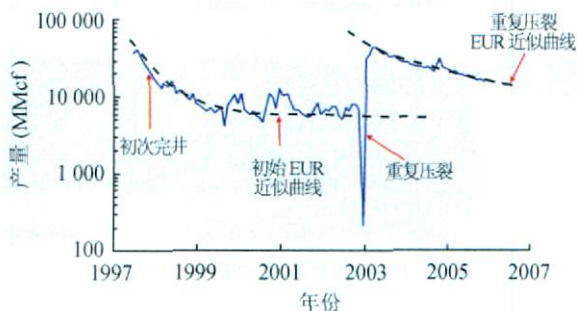


图 5 得克萨斯州 Newark East 气田 Barnett 页岩垂直井重复压裂后气产量变化图
(据 R. M. Pollastro, 2007 年)

3.2.5 同步压裂

2006 年,同步压裂技术开始在 Barnett 页岩气井完井中实施,作业者在相隔 152 ~ 305 m 范围内内钻两口平行的水平井同时进行压裂,显示出广阔的发展前景^[7]。由于页岩储层渗透性差,气体分子能够移动的距离短,需要通过压裂获得近距离的高渗透率路径而进入井眼中。同步压裂采用的是使压力液及支撑剂在高压下从一口井向另一口井运移距离最短的方法,来增加水力压裂裂缝网络的密度及表面积。目前已发展成三口井同时压裂,甚至四口井同时压裂,采用该技术的页岩气井短期内增产非常明显。

3.3 裂缝综合监测技术

页岩气井实施压裂改造措施后,需要有效的方法来确定压裂作业效果,获取压裂诱导裂缝导流能力、几何形态、复杂性及其方位等诸多信息,改善页岩气藏压裂增产作业效果以及气井产能,并提高天然气采收率。

推断压裂裂缝几何形态和产能的常规方法主要包括利用净压力分析进行裂缝模拟,试井以及生产动态分析等间接的井响应方法^[18-19]。利用地面、井下测斜仪与微地震监测技术结合的裂缝综合诊断技术,可直接地测量因裂缝间距超过裂缝长度而造成的变形来表征所产生裂缝网络,评价压裂作业效果,实现页岩气藏管理的最佳化。该技术有以下优点^[20]: 测量快速,方便现场应用; 实时确定微地震事件的位置; 确定裂缝的高度、长度、倾角及方

位; 具有噪音过滤能力。

作为目前美国最活跃的页岩气远景区,沃斯堡盆地 Barnett 页岩的开发充分说明了直接及时的微地震描述技术的重要性^[20-21]。经营者运用该技术认识到天然裂缝和断层对水力压裂裂缝的延伸及储层产能和开采产生很大影响。2005 年,美国 Chesapeake 能源公司于将微地震技术运用于一口垂直监测井上,准确地确定了 Newark East 气田一口水平井进行的 4 段清水压裂的裂缝高度、长度、方位角及其复杂性,改善了对压裂效果的评价^[19]。

4 结论与建议

美国页岩气的高速发展表明,页岩气在经济上获得成功除了天然气价格上涨、天然气需求增加以及国家政策扶持等因素外,以下开发技术的进步与推广运用是最关键的影响因素:

1) 水平井钻井与分段压裂技术的综合运用,使页岩开发领域在纵向和横向上延伸,单井产量上了新台阶。

2) 由氮气泡沫压裂发展到水力压裂,针对不同性质的页岩产层选择合适、经济的压裂措施,页岩气井完井成本大幅度降低。

3) 重复压裂与同步压裂通过调整压裂方位,能够改善储层渗流能力,延长页岩气井高产时期。

4) 裂缝监测技术能够观测实际裂缝几何形状,有助于掌握页岩气藏的衰竭动态变化情况,实现气藏管理的最佳化。

实践证明,只要突破传统的勘探思想,坚持不懈地开展技术创新,仍然能够使分布广泛的页岩气资源量逐步转化为经济和技术可采储量。

参 考 文 献

- [1] Advanced Resources International. Annual gas shale production of USA [EB/OL]. <http://www.adv-res.com>.
- [2] CURTIS J B. Fractured shale-gas systems [J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1921-1938.
- [3] GENE POWELL. The Barnett Shale in the Fort Worth Basin - a growing giant: Powell Barnett Shale newsletter [EB/OL]. <http://www.barnettshalenews.com>.
- [4] MARTINEAU D F. History of the Newark East field and the Barnett Shale as a gas reservoir [J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 399-403.
- [5] RANDY LAFOLLETTE, GARY SCHEIN. Understanding the Barnett Shale [J]. Oil and Gas Investor, 2007, Jan.: 12-15.

(下转第 44 页)

定,测试平均结果分别为 $0.43\text{ m}^3/\text{t}$ (3次)、 $0.83\text{ m}^3/\text{t}$ (5次)和 $0.40\text{ m}^3/\text{t}$ (5次)。由此看来,威远地区下寒武统九老洞组下部含粉砂质黑色页岩中含有一定数量的页岩吸附气,这已是不争的事实。

威远地区下寒武统九老洞组页岩层段气显示平面分布特点表明:该区不仅在震旦系灯影组顶面构造及其气水界面内的探井有显示,在构造边界外2~18 km距离仍有显示,且其显示的级别并不因为距气水边界远而降低。事实说明,该区页岩中的气显示并不受构造因素控制,而与其有效页岩分布相关。事实再次表明,这正是页岩气藏的重要成藏特点之一。

综上所述,中国上扬子区下寒武统筇竹寺组下部黑色页岩及碳质页岩具备形成页岩气藏的地质—地球化学条件,当务之急是选择经济效益和技术条件更有利地区进行先导试验,以期尽快在该领域获得新的突破。

在成文过程中,还参考了以下资料:王世谦等,《主要含油气盆地资源评价附件之11——四川盆地油气资源评价》,中国石油西南油气田公司,2002;《四川盆地及其邻区寒武系综合评价》,中国石化西南分公司石油地质综合研究大队,1970。

参考文献

- [1] 梁狄刚.我国南方海相烃源岩发育的控制因素[G].第十一届全国有机地球化学学术会议论文摘要汇编,[出版地不详]:[出版者不详],2007:2-3.
 - [2] 梁狄刚,郭彤楼,陈建平,等.中国南方海相生烃成藏研究的若干进展(一):南方四套区域性海相烃源岩的分布[J].海相油气地质,2008,13(3):1-16.
 - [3] GARETH R L, MARC BUSTIN R. Lower Cretaceous gas shales in northeastern British Columbia, Part I: Geological controls on methane sorption capacity[J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 2008, 56(1):1-21.
 - [4] 黄籍中,陈盛吉,宋家荣,等.四川盆地烃源岩体系与大中型气田形成[J].中国科学:D辑 地球科学,2006,26(6):504-510.
 - [5] CHARLES BOYER, JOHN KIESCHNICK, ROBERTO SUSREZ-RIVERA,等.页岩气藏的开发[J].油田新技术(斯伦贝谢公司),2006年秋季刊:18-31.
 - [6] CURTIS J B. Fractured shale-gas systems[J]. AAPG, 2002, 86(11):1921-1938.
- (收稿日期 2009-03-16 编辑 韩晓渝)
-
- (上接第10页)
- [6] RRC. Barnett Shale natural gas production (1997-March 2008) [EB/OL]. <http://www.rrc.state.tx.us/barnettshale/naturalgasproduction1997-2008.pdf>.
 - [7] JOHN WHITE, ROGER READ. The Shale Shaker[J]. Oil and Gas Investor, 2007 Jan.:2-9.
 - [8] KENT A BOWKER, GEORGE MORETTI, LEE UTLEY. Fayetteville Maturing[R]. Oil and Gas Investor, 2007 Jan.:14-17.
 - [9] FRANTZ J H, JOCHEN V JR. White Paper - Shale gas [R]. [S.l.]:Schlumberger, 2005.
 - [10] 王德新,彭礼浩,吕从容.泥页岩裂缝油、气藏的钻井、完井技术[J].西部探矿工程,1996,8(6):15-17.
 - [11] VNORSDAEL C R. 泥盆纪页岩气藏的评价[J].陈武,译.油气工业技术情报,1991(5):1-11.
 - [12] MURRAY W G, WOODFORK L D, WOLFE R T, et al. Practical aspects of Devonian Shale exploration and development in Western West Virginia: one operator's experience [C]. SPE Unconventional Gas Recovery Symposium. Pittsburgh, Pennsylvania: SPE, 1984.
 - [13] 纪数培,李文魁.高能气体压裂在美国东部泥盆系页岩气藏中的运用[J].断块油气田,1994,1(4):1-8.
 - [14] CHARLES BOYER, JOHN KIESCHNICK, RICHARD E LEWIS. 页岩气藏的开采[EB/OL]. <http://www.slb-sis.com.cn/toc/2006/Autumn2006-4.pdf>.
 - [15] 付玉,郭肖.煤层气储层压裂水平井产能计算[J].西南石油学院学报,2003,25(3):44-46.
 - [16] GEORGE DOZIER, JACK ELBEL, EUGENE FIELDER, et al. 重复压裂方法[EB/OL]. <http://www.slb-sis.com.cn/toc/2003/Autumn/Refracturing%20Works.pdf>.
 - [17] POLLASTRO R M. Total petroleum system assessment of undiscovered resources in the giant Barnett Shale continuous(unconventional) gas accumulation, Fort Worth Basin, Texas[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4):551-578.
 - [18] 刘莉萍,秦启荣,李乐.川中公山庙构造沙一储层裂缝预测[J].西南石油学院学报,2004,26(4):10-13.
 - [19] LES BENNET, CALVEZ J L, SARVER D R, et al. 水力压裂监测新方法[EB/OL]. <http://www.slb-sis.com.cn/toc/2005/Winter/Hydraulic%20Fracture%20Monitoring.pdf>.
 - [20] 王治中,邓金根,赵振峰,等.井下微地震裂缝监测设计及压裂效果评价[J].大庆石油地质与开发,2006,25(6):76-79.
 - [21] FISHE M K. 综合裂缝绘图技术优化 Barnett 页岩气藏增产措施[J].国外油气地质信息,2006(1):80-87.
- (修改回稿日期 2009-03-20 编辑 罗冬梅)

ABSTRACTS AND AUTHORS

Shale gas : Enormous potential of unconventional natural gas resources

YAN Cun-zhang¹, HUANG Yu-zhen¹, GE Chun-mei¹, DONG Da-zhong², CHENG Ke-ming²

(1. PetroChina Foreign Cooperation Administration Department, Beijing 100007, China; 2. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 29, ISSUE 5, pp. 1-6, 5/ 25/ 2009. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

ABSTRACT: Shale gas is a special type of unconventional natural gas resource. This paper conducted in-depth investigation into and summed up history and successful experience from the exploration and development of the shale gas reservoirs in North America. Unlike conventional natural gas reservoirs, shale gas reservoirs have their special characters from the aspects of geology and development. Oil and gas operators regarded the shale gas as their important target for natural gas development, and achieved great success by their effective policy and advanced drilling and completion technologies including horizontal well and hydraulic fracturing. This paper points out that research and exploration and development of shale gas in China is still at the exploratory stage, the Paleozoic sea facies and Cenozoic continental facies are two important areas for shale gas exploration and development, and the enormous potential of shale gas will become a realistic gas resource only if geological study and technology on drilling and completion are improved to a high level. This paper suggests that survey on the shale gas resource should be hastened, favorable policies should be made out, and more cooperation with foreign countries should be encouraged to promote the shale gas development in China.

KEY WORDS: shale gas, unconventional natural gas, geological feature, exploration and development, field, North America, China

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2009.05.001

YAN Cun-zhang (professor of senior engineer), born in 1958, graduated from China University of Petroleum. He is mainly engaged in oil and gas field development and studies on cooperation with other countries. He is now general manager at PetroChina Foreign Cooperation Administration Department.

Add: No. 9, North Dongzhimen Street, Dongcheng District, Beijing 100007, P. R. China

Tel: +86-10-5998 6289 **E-mail:** ycz@petrochina.com.cn

A key factor promoting rapid development of shale gas in America : Technical progress

HUANG Yu-zhen¹, HUANG Jin-liang², GE Chun-mei¹, CHENG Ke-ming², DONG Da-zhong²

(1. PetroChina Foreign Cooperation Administration Department, Beijing 100007, China; 2. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 29, ISSUE 5, pp. 7-10, 5/ 25/ 2009. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

ABSTRACT: In recent years, exploration and production of shale gas in America have been developing in large scale and at high speed. In addition to the growth of gas demand and incentives of national policy, technical progress is another key factor promoting the rapid development of shale gas production in America. Progress of drilling, well completion and stimulation techniques, especially the breakthrough and widespread application of techniques such as horizontal drilling, multiple-interval hydraulic fracturing, refracturing, synchronous fracturing and comprehensive monitoring of fractures, have played a key role. Great success in exploration and production of shale gas in America reveals that shale gas resources with extensive distribution can be progressively transformed into economical and technical recoverable reserves by making a breakthrough in traditional exploration idea and technical innovation. Marine shale are highly developed in China, so the advanced shale gas exploration and production technologies in America should be introduced to carry out pilot tests in the selected favorable gas shale plays.

KEY WORDS: America, shale gas, technical progress, key factor, horizontal well, fracturing, fracture monitoring

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2009.05.002

HUANG Yur-zhen (senior engineer), born in 1962. He graduated from the former Jiangnan Petroleum Institute, and is mainly engaged in petroleum exploration and development and external cooperation.

Add: No. 9, North Dongzhimen Street, Dongcheng District, Beijing 100007, P. R. China

Tel: +86-10-5998 6775 **E-mail**: yzhuang@petrochina.com.cn

Prospects and strategic position of shale gas resources in China

LI Jian-zhong¹, DONG Da-zhong¹, CHEN Geng-sheng², WANG Shi-qian², CHENG Ke-ming¹

(1. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China; 2. PetroChina Southwest Oil & Gasfield Company, Chengdu 610051, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 29, ISSUE 5, pp. 11-16, 5/25/2009. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

ABSTRACT: Production of shale gas will get more prosperous and will expand rapidly along with technical progress and improvement of economic conditions. The prospects of shale gas exploration and production and the strategic position of shale gas resources in China are analyzed after introducing the domestic and foreign shale gas resource volumes. As required by the overall development strategy of petroleum industry in China, prospecting for natural gas reserves is a task of top priority. The organic-rich shale formations were extensively deposited in different geologic periods in China and had favorable conditions for the generation and accumulation of shale gas. They have huge potentials of gas resources and bright prospects of exploration and production, and will surely become a major new field of gas exploration and production. It is proposed to strengthen research and increase exploration investment in shale gas. The shale and mudstone in the lower sequences in South China and those in the Mesozoic in North China have relatively large potential for shale gas exploration. It is proposed to perform gas testing or production test in the favorable intervals selected through reviewing old wells, so as to open a new stage of shale gas exploration through fanning out from point to area.

KEY WORDS: China, shale gas, resources, prospects, strategic position

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2009.05.003

LI Jian-zhong (senior engineer), holds a Ph.D degree and is mainly engaged in research of petroleum geology and exploration planning.

Add: Mail Box 910, No. 20, Xueyuan Rd., Haidian District, Beijing 100083, P. R. China

Tel: +86-10-6209 7289 **Mobile**: +86-13901321085 **E-mail**: lijizh@petrochina.com.cn

A preliminary study on accumulation mechanism and enrichment pattern of shale gas

CHEN Geng-sheng¹, DONG Da-zhong², WANG Shi-qian³, WANG Lan-sheng³

(1. PetroChina Southwest Oil & Gasfield Company, Chengdu 610051, China; 2. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China; 3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina Southwest Oil & Gasfield Company, Chengdu 610051, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 29, ISSUE 5, pp. 17-21, 5/25/2009. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

ABSTRACT: The organic-rich shale formations are abundant in China, thus the prospects of shale gas exploration and production are bright. Analyses of the features of gas shale reservoirs and study on the accumulation mechanism and enrichment patterns of shale gas can provide a theoretical basis for assessment and recovery of shale gas resources in China. Gas shale reservoirs are regional continuous unconventional gas accumulations. The major conditions for the formation of gas shale reservoirs include relatively thick shale layers, high organic content, evolutionary stage over gas window, well-developed natural fractures, and occurring at the structural low or center of the basin. The main characteristics of shale gas pooling are indigenous generation and accumulation, continuous charging and accumulation, without migration or very short migration. Net thickness, organic content, matrix porosity and natural fractures are the key factors for shale gas enrichment.

KEY WORDS: shale gas, pooling mechanism, enrichment pattern, continuous accumulation, key factor, organic content, frac-