

## 含气页岩组分构成与岩石力学特性

杨恒林, 申瑞臣, 付 利

(中国石油集团钻井工程技术研究院, 北京 100195)

**摘 要:**页岩气储层的岩石力学特性能够影响钻井速度,进行含气页岩组构与岩石力学特性研究,可以为钻井设计和施工提供技术支持。采用 X 射线衍射分析、氩离子束剖光后扫描电镜观测和三轴岩石力学试验等方法,从矿物组分、微观结构、岩石力学性质等方面对蜀南页岩气钻井所取岩心和龙马溪组页岩野外露头进行了岩石力学特性研究。结果表明,龙马溪组含气页岩中黏土矿物的质量分数为 16.3%~64.3%,伊利石占黏土总量的 74.0%,不含蒙脱石,属于低水敏性页岩;粒径小于 5  $\mu\text{m}$  的基质矿物含量占绝对优势,其中分布少量细粉砂级碎屑或颗粒;平行于层理面方向和垂直于层理面方向的单轴抗压强度分别为 137.0 和 132.4 MPa,45°方向抗压强度为平行层理面方向的 66%,表明页岩力学性质存在明显的各向异性。

**关键词:**页岩 矿物分析 微观结构 电镜扫描 抗压强度

**中图分类号:** TE311 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0890(2013)05-0031-05

## Composition and Mechanical Properties of Gas Shale

Yang Henglin, Shen Ruichen, Fu Li

(CNPC Drilling Research Institute, Beijing, 100195, China)

**Abstract:** Mechanical properties of shale gas reservoir affect drilling rate. Studying textures and mechanical properties of gas shale can help to provide technical support for drilling designs and operations. Mineral composition, microstructure and mechanical properties for shale cores from southern Sichuan and shale outcrops in Longmaxi Formation, were investigated through X-ray diffraction analysis, electron microscope scanning, triaxial rock mechanical test, etc. The study shows that Longmaxi Formation shale has clay mineral contents of 16.3% to 64.3%, in which illite accounts for 74.0%, but no smectite, indicating low water sensitivity shale; matrix mineral less than 5  $\mu\text{m}$  in grain size accounts for an absolute majority with a small amount of silt-sized debris or grains; uniaxial compressive strengths of parallel and perpendicular to bedding plane are 137.0 MPa and 132.4 MPa respectively, and uniaxial compressive strength in the direction with 45° offset is 66% of that parallel to bedding plane. The study results show that shale mechanical properties are obviously anisotropic.

**Key words:** shale; mineral analysis; microstructure; electron microscope scanning; compressive strength

我国富有机质页岩分布广泛,页岩气开发具有很大潜力。但与美国相比,我国页岩气储层地质结构有很大的不同,埋藏深度更深、地层年代更老、开采难度更大。同时,在页岩气水平井钻井与压裂增产等方面,尚未形成核心技术体系<sup>[1-3]</sup>。国内已钻页岩气水平井在钻井过程中存在钻井复杂情况多、机械钻速慢、钻井周期长等特点,其中长宁-威远页岩气示范区完钻的 3 口页岩气水平井坍塌压力高、坍塌周期明显,给页岩气水平井钻井安全带来极大挑

战<sup>[4-5]</sup>。页岩中脆性矿物与黏土矿物的相对含量变化对岩石力学性质、井壁失稳机理、钻井液优选以及

**收稿日期:** 2013-03-04; **改回日期:** 2013-09-05。

**作者简介:** 杨恒林(1973—),男,辽宁抚顺人,1996年毕业于石油大学(华东)工程力学专业,2007年获中国石油大学(北京)油气井工程专业博士学位,高级工程师,主要从事油气井岩石力学与工程研究。

**联系方式:** (010)52781851, yhlidri@cnpc.com.cn。

**基金项目:** 国家科技重大专项“页岩气岩石力学及工程应用”(编号:2013ZX05070-001)部分研究内容。

储层改造效果等具有重要影响。国内很多学者针对四川盆地龙马溪组页岩露头 and 钻井取心开展了矿物组分测试研究<sup>[6-13]</sup>,发现不同地点、不同层系、不同深度的页岩矿物组成存在较大差距,这种差异性印证了“没有两处页岩是相同的”观点。笔者根据页岩气水平井优质快速钻井需求,针对含气页岩组构与岩石力学的固有特征,开展了适合中国页岩气钻井完井的储层评价研究。

## 1 含气页岩矿物组分分析

页岩中脆性矿物的发育有利于诱导裂缝的产生,改善压裂增产效果,提高单井产量,但黏土矿物中的蒙脱石、伊/蒙混层易导致页岩水化膨胀和坍塌,影响井壁稳定。为了提高页岩地层钻井速度,对长宁-威远页岩气示范区4口井的龙马溪组和筇竹寺组钻井岩心样品,进行XRD全岩矿物组分和黏土矿物组分测试分析。

龙马溪组页岩石英、长石和黄铁矿的质量分数为34.2%~52.7%,平均为44.1%,其中石英的质量分数为27.5%~45.0%,平均为37.5%;碳酸盐矿物的质量分数平均为21.3%;黏土矿物的质量分数的16.3%~64.3%,平均为32.6%。黏土矿物以伊利石为主,伊利石占黏土总量的74.0%;其次为绿泥石,有少量的高岭石和伊/蒙混层,不含蒙脱石。龙马溪组页岩全岩矿物含量表现出纵向上变化大的特点,黏土矿物由顶部至底部有减少趋势,石英含量由顶部至底部有增加的趋势<sup>[7]</sup>,长宁龙马溪组底部页岩石英类矿物含量明显增多。

筇竹寺组页岩石英、长石和黄铁矿的质量分数为52.6%~59.7%,平均为57.2%,其中石英的质量分数为30.1%~38.6%,平均为33.7%;碳酸盐矿物的质量分数平均为7.2%;黏土矿物的质量分数为27.6%~37.9%,平均为32.6%。黏土矿物以伊利石为主,伊利石占黏土总量的54%,其次为绿泥石,有少量的高岭石和伊/蒙混层,不含蒙脱石。

黏土矿物含量及其组分影响着井壁稳定性,黏土的组分和结构不同,其特性也不同。现场经验表明,对不同的页岩要采取不同的稳定措施。O'Brien Dennis E等人<sup>[14]</sup>依据页岩地层所含黏土矿物的种类和所观察的特征,将页岩划分为5类,比照含气页岩矿物组分分析结果,认为蜀南龙马溪和筇竹寺组含气页岩多属于硬或非常硬、脆且有坍塌趋势的类型。另外,根据泥页岩的水敏性

特点,一般将页岩分为高、中、低水敏性页岩(见表1),长宁-威远龙马溪组页岩2组平行岩样阳离子交换容量试验结果均小于9 mmol/100g,结合页岩的宏观形貌及黏土矿物含量,认为蜀南龙马溪含气页岩属于低水敏性页岩。

表1 页岩的水敏性分类

Table 1 Shale types based on water sensitivity

类别	主要特征
高水敏性页岩	块状构造,层理不足或有层状显示,较软,呈塑性,阳离子交换容量大于20 mmol/100g,以蒙脱石为主
中水敏性页岩	明显层状构造,层理构造,易破裂,没有塑性,阳离子交换容量10~20 mmol/100g,蒙脱石与伊利石相近
低水敏性页岩	很强的层状构造,易沿层理面裂开,坚硬而牢固,阳离子交换容量大于10 mmol/100g,伊利石为主

有的泥页岩与水作用后膨胀程度低,膨胀压力不是很大,然而地层坍塌还是很严重。这是因为钻井液渗入泥页岩,削弱了岩石颗粒之间和页岩层面之间联结力的作用。泥页岩吸附的水使黏土颗粒之间和泥页岩层面之间的黏结力减弱,导致井壁岩石剥落与坍塌。

## 2 微观结构特征

过去,利用机械作用形成页岩断面,采用扫描电镜对页岩微观结构进行观测分析,由于页岩结构致密,孔隙微小,自然断面表面粗糙,并常覆盖有脱落的碎屑,很难观察到页岩组分、有机质以及孔隙分布特征。现在,采用氩离子抛光对预磨好的样品表面进行处理,可以有效去除样品表面凹凸不平的部分及附着物,得到光滑的平面,然后利用扫描电镜成像来观察页岩的微观结构特征。

采用Gatan 693型横截面离子束抛光仪和岛津SS550扫描电镜,对长宁-威远页岩气示范区2口井不同深度的龙马溪组页岩岩样进行了扫描电镜分析。岩样是在相对较低的电子束能量和高真空的腔体环境中进行扫描分析的,运用背散射电子成像能减少非导电物质二次电子成像时的电荷效应,同时不同灰度级能表达不同矿物的密度。高密度的矿物为白色(如黄铁矿),最低密度的矿物为黑色(如有机质),石英-长石-黏土矿物组分为灰色,方解石的颜色介于石英和黄铁矿之间。

图1为长宁-威远页岩气示范区2口井龙马溪

组普通页岩和富含有机质页岩的扫描电镜图像。从图 1 可以看出,页岩中小于  $5\ \mu\text{m}$  的基质矿物含量占绝对优势,属于基底胶结类型,黄铁矿晶粒呈星点状分布,灰色粉砂级、黏土级碎屑或颗粒分布其中,几百纳米量级宽度的微裂隙发育。页岩中灰色的粉砂级石英颗粒悬浮于细粒状骨架介质中,黑色有机质分布于絮状基质中。

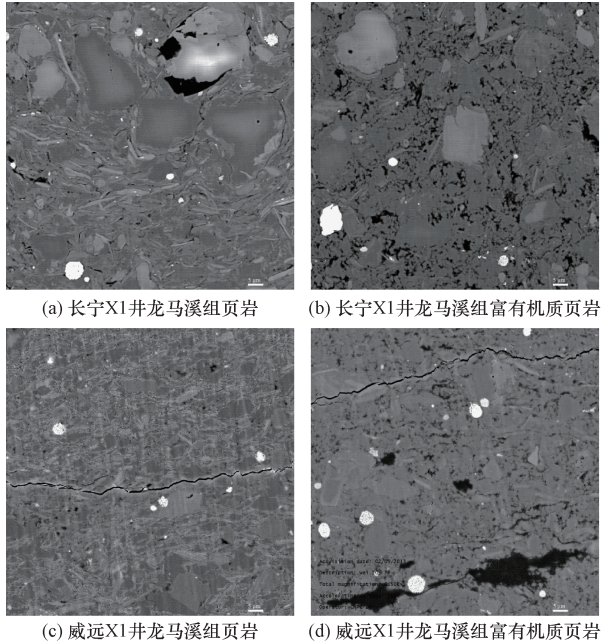


图 1 蜀南龙马溪页岩微观结构

Fig. 1 Microscopic structure of Longmaxi Formation shale in southern Sichuan

页岩黏土矿物主要由伊利石组成,很少含膨胀层黏土矿物,由于地层压实程度较高,不能从图 1 中观察到类似常规砂岩储层中的针叶状伊利石,但可见页岩水平层理和微裂隙发育。这种成层特性及微观构造,一方面使页岩在外力作用下极易沿微裂缝或层理面破坏,特别是在微裂隙发育或构造应力集中条件下,易发生硬脆性页岩的破裂和剥落;另一方面,页岩结构致密,碎屑颗粒小,渗透率低,在储层井段钻水平井过程中,钻井液滤液沿微裂缝或节理面侵入地层速度慢,页岩不会迅速发生膨胀和变软,而

是随着井壁周围页岩孔隙压力的变化以及水化和分散的加剧,页岩的结合强度和层理面之间的结合力逐渐降低,使页岩沿层理面或微裂隙裂开,造成井壁垮塌,出现明显的坍塌周期。

### 3 力学特性分析

对于含气页岩储层,不仅需要关注其矿物组分、储集空间类型以及脆性指数等参数是否符合压裂改造的岩石物理标准<sup>[8-9,15-17]</sup>,更需要关注页岩岩石力学特性对井壁稳定的影响<sup>[18-21]</sup>。前人大多把泥页岩地层作为过渡地层来研究,为了确保井壁稳定,提出了通过降低地层的钻入角来稳定井壁的方法<sup>[22]</sup>。由于页岩气开发需要在页岩地层钻水平井眼,无法通过降低钻入角来稳定井壁,需要通过研究页岩的岩石力学固有特性,确定合理的钻井液密度窗口,实现优质快速钻成水平井眼的目的。对取自贵州遵义沙坝水库志留系龙马溪组底部中厚层状黑色页岩,分别沿与层理面方向夹角为  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  方向(以下简称  $0^\circ$  方向,  $45^\circ$  方向,  $90^\circ$  方向)钻取  $\phi 25.0\ \text{mm} \times 50\ \text{mm}$  试验岩样(其中单轴试验岩心 19 块,三轴试验岩心 52 块),进行单轴和三轴岩石力学测试。

页岩弹性力学参数和单轴抗压强度测试结果见表 2。从表 2 可以看出:弹性模量、泊松比和抗压强度随取心方向不同而不同;弹性模量在平行层理方向最大,垂直层理方向略小,  $45^\circ$  方向为平行层理方向的 55%;泊松比呈现出  $45^\circ$  方向高、 $0^\circ$  方向和  $90^\circ$  方向低的特点;单轴抗压强度在  $0^\circ$  方向和  $90^\circ$  方向较高,  $45^\circ$  方向单轴抗压强度为平行层理方向的 66%;页岩弹性力学参数和单轴抗压强度具有明显的非均质性及各向异性特点,且弹性模量和抗压强度呈正相关性。

页岩三轴岩石力学试验时选择的围压分别为 5, 10, 15, 20 和 25 MPa, 测试得到页岩不同取心方向在不同围压条件下的纵向峰值应力平均值,见表 3。

表 2 页岩弹性力学及单轴抗压强度

Table 2 Elastic parameters and uniaxial compressive strength of shale

取心方向	弹性模量/GPa			泊松比			抗压强度/MPa		
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
$0^\circ$	12.92	48.69	29.15	0.15	0.25	0.20	101.1	170.4	137.0
$45^\circ$	11.59	18.09	15.97	0.30	0.36	0.33	71.3	106.9	90.4
$90^\circ$	17.94	30.78	25.41	0.09	0.17	0.15	94.9	208.1	132.4



表3 页岩三轴岩石力学强度试验结果  
Table 3 Triaxial compressive strength of shale

取心方向	不同围压下的纵向峰值应力/MPa						内聚力/ MPa	内摩擦角/ (°)
	0 MPa	5 MPa	10 MPa	15 MPa	20 MPa	25 MPa		
0°	138.0	241.1	245.3	296.1	317.6	335.1	31.94	49.21
45°	90.4	114.7	150.8	156.8	178.5	195.4	23.67	37.59
90°	130.7	172.0	196.8	228.3	209.6	249.6	35.30	38.10

以围压为横坐标、纵向峰值应力为纵坐标绘图,根据不同取心方向的围压与纵向峰值应力点绘制平均曲线,在曲线上选取最适当的线段绘制一条直线,并计算出斜率  $m$  和截距  $b$ 。 $m$  和  $b$  也可分别用下式计算:

$$b = \frac{\sum \sigma_3 \sigma_1 \sum \sigma_3 - \sum \sigma_1 \sum \sigma_3^2}{(\sum \sigma_3)^2 - n \sum \sigma_3^2} \quad (1)$$

$$m = \frac{\sum \sigma_3 \sum \sigma_1 - n \sum \sigma_3 \sigma_1}{(\sum \sigma_3)^2 - n \sum \sigma_3^2} \quad (2)$$

式中:  $\sigma_1, \sigma_3$  分别为该直线段内各点相对应的纵向峰值应力与围压, MPa;  $n$  为该直线段内的数据点数量。

利用斜率  $m$  和截距  $b$ , 分别计算得到页岩不同取心方向的内摩擦角  $\varphi$  和内聚力  $C$ 。

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{m-1}{m+1}\right) \quad (3)$$

$$C = \frac{b(1 - \sin \varphi)}{2 \cos \varphi} \quad (4)$$

根据莫尔-库仑准则,当正应力  $\sigma_n < 9$  MPa 时, 90°方向页岩抗剪强度略高于 0°方向;当  $\sigma_n > 9$  MPa 以后, 0°方向页岩抗剪切强度高于 90°方向;与层理面 45°方向抗剪强度最弱。一般页岩气水平井井眼轨迹方位要求沿最小地应力方向设计与施工,井壁围岩应力集中主要受到最大水平主应力和上覆岩层压力控制,在一定的钻井液柱压力条件下,井壁周围与层理面 45°方向的页岩抵抗外载荷作用下的抗剪强度最弱。

## 4 结 论

1) 蜀南龙马溪组页岩矿物含量纵向变化大,脆性矿物含量较高,黏土矿物均以伊利石为主,不含蒙脱石,属于硬脆性、低水敏性页岩。需要进一步开展钻井液压力传递试验,了解钻井液与黏土矿物之间的化学作用,强化钻井液的抑制性与封堵性能,减少由于地层孔隙压力梯度和活度梯度变化导致的井壁失稳。

2) 页岩扫描电镜观测结果表明,蜀南龙马溪组

页岩微观结构非常致密,碎屑颗粒多为黏土质级别,微裂隙比较发育,有机质及矿物质有一定的方向性。需要进一步开展氩离子束剖光后扫描电镜与 X 射线衍射分析结果的综合对比分析,建立含气页岩组构特征的纵向剖面,刻画页岩气甜点区分布规律,指导工程设计。

3) 龙马溪组页岩的岩石力学参数存在明显的非均质性和各向异性,在一定的钻井液柱压力条件下,井壁页岩在与层理面 45°方向上抗剪强度最弱。基于页岩力学各向异性和四川地区垂直地应力为中间主应力的地应力分布特点,可以从力学角度优化水平井井眼轨迹方位,既能降低水平井井壁垮塌风险,又有利于改善后期储层改造效果。

## 参 考 文 献

### References

- [1] 王希勇,姚莉,吉青. 我国页岩气勘探开发的若干关键问题[J]. 天然气技术与经济, 2012, 6(5): 3-6.  
Wang Xiyong, Yao Li, Ji Qing. Several key issues on shale exploration and development in China[J]. Natural Gas Technology and Economy, 2012, 6(5): 3-6.
- [2] 周守为,姜伟,张春阳,等. 美国 Eagle Ford 页岩气开发对我国页岩气勘探开发的启示[J]. 中国工程科学, 2012, 14(6): 16-21.  
Zhou Shouwei, Jiang Wei, Zhang Chunyang, et al. The enlightenment on shale gas exploration and development in China getting from Eagle Ford in America[J]. Engineering Sciences, 2012, 14(6): 16-21.
- [3] 薛承瑾. 页岩气压裂技术现状及发展建议[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(3): 24-29.  
Xue Chengjin. Technical advance and development proposals of shale gas fracturing[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(3): 24-29.
- [4] 崔思华,班凡生,袁光杰. 页岩气钻完井技术现状及难点分析[J]. 天然气工业, 2011, 31(4): 1-4.  
Cui Sihua, Ban Fansheng, Yuan Guangjie. Shale gas drilling and completion technical aspect and difficulties analysis[J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(4): 1-4.
- [5] 王华平,张铎,张德军,等. 威远构造页岩气钻井技术探讨[J]. 钻采工艺, 2012, 35(2): 9-11.  
Wang Huaping, Zhang Duo, Zhang Dejun, et al. Drilling tech-

- nologies on shale gas in Weiyuan Structure[J]. *Drilling & Production Technology*, 2012, 35(2): 9-11.
- [6] 蒋裕强, 董大忠, 漆麟, 等. 页岩气储层的基本特征及其评价[J]. *天然气工业*, 2010, 30(10): 7-12.  
Jiang Yuqiang, Dong Dazhong, Qi Lin, et al. Basic features and evaluation of shale gas reservoirs[J]. *Natural Gas Industry*, 2010, 30(10): 7-12.
- [7] 刘树根, 马文辛, Luba Jansa, 等. 四川盆地东部地区下志留统龙马溪组页岩储层特征[J]. *岩石学报*, 2011, 27(8): 2239-2252.  
Liu Shugen, Ma Wenxin, Luba Jansa, et al. Characteristics of the shale gas reservoir rocks in the Lower Silurian Longmaxi Formation, East Sichuan Basin, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(8): 2239-2252.
- [8] 陈尚斌, 朱炎铭, 王红岩, 等. 四川盆地南缘下志留统龙马溪组页岩气储层矿物成分特征及意义[J]. *石油学报*, 2011, 32(5): 775-782.  
Chen Shangbin, Zhu Yanming, Wang Hongyan, et al. Characteristics and significance of mineral compositions of Lower Silurian Longmaxi Formation shale gas reservoir in the southern margin of Sichuan Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 32(5): 775-782.
- [9] 黄金亮, 邹才能, 李建忠, 等. 川南志留系龙马溪组页岩气形成条件与有利区分析[J]. *煤炭学报*, 2012, 37(5): 782-787.  
Huang Jinliang, Zou Caineng, Li Jianzhong, et al. Shale gas accumulation conditions and favorable zones of Silurian Longmaxi Formation in south Sichuan Basin, China[J]. *Journal of China Coal Society*, 2012, 37(5): 782-787.
- [10] 王玉满, 董大忠, 李建忠, 等. 川南下志留统龙马溪组页岩气储层特征[J]. *石油学报*, 2012, 33(4): 551-561.  
Wang Yuman, Dong Dazhong, Li Jianzhong, et al. Reservoir characteristics of shale gas in Longmaxi Formation of the Lower Silurian, Southern Sichuan[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 33(4): 551-561.
- [11] 马文辛, 刘树根, 黄文明, 等. 四川盆地周缘筇竹寺组泥页岩储层特征[J]. *成都理工大学学报: 自然科学版*, 2012, 39(2): 182-189.  
Ma Wenxin, Liu Shugen, Huang Wenming, et al. Mud shale reservoirs characteristics of Qiongzhusi Formation on the margin of Sichuan Basin, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition*, 2012, 39(2): 182-189.
- [12] 梁超, 姜在兴, 杨懿婷, 等. 四川盆地五峰组—龙马溪组页岩岩相及储集空间特征[J]. *石油勘探与开发*, 2012, 39(6): 691-698.  
Liang Chao, Jiang Zaixing, Yang Yiting, et al. Characteristics of shale lithofacies and reservoir space of the Wufeng-Longmaxi Formation, Sichuan Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39(6): 691-698.
- [13] 陈勉, 金衍. 基于岩心分析的页岩气压裂工艺参数优化[J]. *石油钻探技术*, 2012, 40(4): 7-12.  
Chen Mian, Jin Yan. Shale gas fracturing technology parameters optimization based on core analysis[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2012, 40(4): 7-12.
- [14] O'Brien Dennis E, Chenevert Martin E. Stabilizing sensitive shales with inhibited, potassium-based drilling fluids[J]. *Journal of Petroleum Technology*, 1973, 25(9): 1089-1100.
- [15] 李庆辉, 陈勉, 金衍, 等. 含气页岩破坏模式及力学特性的试验研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2012, 31(增刊2): 3763-3771.  
Li Qinghui, Chen Mian, Jin Yan, et al. Experimental research on failure modes and mechanical behaviors of gas-bearing shale[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2012, 31(supplement 2): 3763-3771.
- [16] 杨建, 付永强, 陈鸿飞, 等. 页岩储层的岩石力学特性[J]. *天然气工业*, 2012, 32(7): 12-14.  
Yang Jian, Fu Yongqiang, Chen Hongfei, et al. Rock mechanical characteristics of shale reservoirs[J]. *Natural Gas Industry*, 2012, 32(7): 12-14.
- [17] 李庆辉, 陈勉, 金衍, 等. 页岩气储层岩石力学特性及脆性评价[J]. *石油钻探技术*, 2012, 40(4): 17-22.  
Li Qinghui, Chen Mian, Jin Yan, et al. Rock mechanical properties and brittleness evaluation of shale gas reservoir[J]. *Petroleum Drilling Technique*, 2012, 40(4): 17-22.
- [18] Abousleiman Younane, Tran Minh, Hoang Son. Geomechanics field and laboratory characterization of Woodford Shale; the next gas play[R]. SPE 110120, 2007.
- [19] Yamamoto K, Waragai T, Kikuchi S, et al. Historical review and rock mechanics approach to improve the wellbore stability in Nahrur shale formation[R]. SPE 88782, 2004.
- [20] Nguyen Vinh X, Abousleiman Younane N. The porochemo-thermoelastic coupled solutions of stress and pressure with applications to wellbore stability in chemically active shale [R]. SPE 124422, 2009.
- [21] 袁俊亮, 邓金根, 蔚宝华, 等. 页岩气藏水平井井壁稳定性研究[J]. *天然气工业*, 2012, 32(9): 66-70.  
Yuan Junliang, Deng jingen, Yu Baohua, et al. Wellbore stability of horizontal wells in shale gas reservoir[J]. *Natural Gas Industry*, 2012, 32(9): 66-70.
- [22] 蔚宝华, 邓金根, 闫伟. 层理性泥页岩地层井壁坍塌控制方法研究[J]. *石油钻探技术*, 2010, 38(1): 56-59.  
Yu Baohua, Deng Jingen, Yan Wei. Borehole sloughing control in shale formations[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2010, 38(1): 56-59.

[编辑 滕春鸣]