

王生维,王峰明,侯光久,等.新疆阜康白杨河矿区急倾斜煤层的煤层气开发井型[J].煤炭学报,2014,39(9):1914-1918. doi:10.13225/j.cnki.jccs.2014.8018

Wang Shengwei, Wang Fengming, Hou Guangjiu, et al. CBM development well type for steep seam in Fukang Baiyanghe mining area, Xinjiang[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(9):1914-1918. doi:10.13225/j.cnki.jccs.2014.8018

## 新疆阜康白杨河矿区急倾斜煤层的煤层气开发井型

王生维<sup>1,2</sup>, 王峰明<sup>2</sup>, 侯光久<sup>3</sup>, 乌效鸣<sup>4</sup>, 张晨<sup>1</sup>, 张业畅<sup>1</sup>, 胡奇<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学(武汉)资源学院,湖北武汉 430074;2. 国家能源煤与煤层气共采技术重点实验室,山西晋城 048204;3. 中国地质大学(武汉)地球科学学院,湖北武汉 430074;4. 中国地质大学(武汉)工程学院,湖北武汉 430074)

**摘要:**为了提高新疆阜康白杨河矿区煤层气藏的开发效果,开展了急倾斜煤层条件下直井与顺层井的开发对比研究。分析了急倾斜煤层在垂直井与顺煤层井(直井段+增斜段+稳斜段)两种井型与并网条件下煤层气排采过程中的气水分异、固相物堵塞和压降传播特征及其对煤层气井产气量的影响。结果表明:垂直井在排采中存在明显的气水分异,固相物易集中汇聚并堵塞运移通道且储层压降传递缓慢,难以形成有效的井间干扰;而顺煤层井稳斜段的存在可有效减小气水分异对煤层气的排采负面作用,而且井筒与煤层较大的接触面积,固相物相对分散地运移至井筒,有利于煤层气水向井筒的运移,同时还可形成良好的井间干扰。认为顺煤层井对于单井及井组产量均有显著优势,更适于新疆阜康白杨河矿区急倾斜煤层的煤层气开发。

**关键词:**急倾斜煤层;垂直井;顺煤层井;气水分异;固相物堵塞;压降传递;白杨河矿区

中图分类号:P618.11

文献标志码:A

文章编号:0253-9993(2014)09-1914-05

### CBM development well type for steep seam in Fukang Baiyanghe mining area, Xinjiang

WANG Sheng-wei<sup>1,2</sup>, WANG Feng-ming<sup>2</sup>, HOU Guang-jiu<sup>3</sup>, WU Xiao-ming<sup>4</sup>,  
ZHANG Chen<sup>1</sup>, ZHANG Ye-chang<sup>1</sup>, HU Qi<sup>1</sup>

(1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China; 2. State Energy Key Laboratory of Joint Exploitation of Coal and Coal-bed Methane, Jincheng 048204, China; 3. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China; 4. Faculty of Engineering, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China)

**Abstract:** In order to improve the production of coal bed reservoir in Fukang Baiyanghe mining area, Xinjiang, the production at steep seam in vertical well was compared with that in seam-parallel well. The gas-water differentiation, solid plugging, the expansion of pressure drop and the effect on production were analyzed during the production process of vertical well and seam-parallel well (vertical section, dip-increased section, dip-stable section) under the condition of well pattern. The results show that there is an obvious gas-water differentiation in the coal during the production in vertical well. Solid phase materials are relatively easier to converge and block the migration pathways, and the pressure drop expanded slowly, which can prevent efficient well interference. In contrast, the dip-stable section of seam-parallel well can reduce the disadvantages due to gas-water differentiation during production. The large contact area between well and seam can make solid phase materials migrate to the wellbore relatively decentralized, and promote gas and water flow to the well, which is beneficial to the well interference. In addition, the seam-parallel well was more suitable to steep seam in Fukang Baiyanghe mining area because of its advantages for gas production in both single well or well groups.

收稿日期:2014-05-26 责任编辑:王婉洁

基金项目:国家科技重大专项资助项目(2011ZX05034-002);山西省煤层气联合研究基金资助项目(2012012007)

作者简介:王生维(1956—),男,内蒙古呼和浩特人,教授,博士生导师。E-mail:swwang@cug.edu.cn

**Key words:** steep seam; vertical well; bed-parallel well; gas-water differentiation; solid plugging; expansion of pressure drop; Baiyanghe mining area

新疆阜康矿区煤层气资源丰富,预测煤炭资源量  $40 \times 10^8 \sim 50 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。尹淮新(2009)对本区构造、煤层、煤储层特征及影响煤层气赋存规律的地质因素,煤层气开发的有利条件和不利因素做了分析,并给出了勘探开发建议<sup>[1]</sup>。2010—2012年,新疆煤田地质局<sup>[2-4]</sup>在阜康白杨河西部部署了5口煤层气开发试验井,截止到2013年6月5口井全部产气,单井产气峰值曾经达  $2\,522 \text{ m}^3/\text{d}$ ,显示出较好的产气潜力。

然而与沁水盆地等近水平煤储层不同,阜康矿区煤储层为急倾斜煤层,流体的产出和分异在急倾斜煤层中与水平煤储层中有很大的不同,因此有必要针对阜康矿区急倾斜煤层探索更优的开发技术。

## 1 煤层气地质条件

### 1.1 地层与构造

白杨河矿区位于北天山褶皱带,博格多复背斜以北,准噶尔拗陷区以南的黄山—二工河向斜北翼,总体上构造为地层南倾的单斜构造<sup>[3-5-7]</sup>,走向为近东西向,地层倾角  $45^\circ \sim 53^\circ$ ,含煤地层在走向上和倾向上变化不大。

区域出露地层为中生界三叠系黄山街组、下侏罗统八道湾组、三工河组和新生界第四系。煤层气开发目的煤层赋存于下侏罗统八道湾组( $J_1b$ )地层中,目前主要开发煤层为该组地层下段( $J_1b^1$ )的39、41、42煤层。其中,42号煤层总厚平均17.82 m;可采厚度平均17.58 m,煤层倾向  $325^\circ \sim 345^\circ$ ,倾角  $55^\circ$ 左右,结构简单,为一全区可采稳定的巨厚煤层。顶板以深灰色—灰黑色粉、细砂岩为主,底板为粉砂岩、中砂岩。煤层浅部被火烧破坏(图1)。

### 1.2 煤储层特征

通过对该煤区矿井下取样观察:主要煤层的特点为灰黑色条带状结构,层状构造,煤岩组分中亮煤约为65%,暗煤次之,丝炭较少,为半亮煤。煤中内生裂隙高度1.5 cm左右,主内生裂隙发育优势显著,其长度为4 cm左右,线密度为13~14条/(5 cm)。次要的内生裂隙不甚发育。裂缝内部可见方解石充填。两组较发育外生节理,一组9~11条/(5 cm),另一组8~10条/(5 cm),外生节理缝内无充填现象;煤坚固性系数  $f \approx 0.59$ ,初步的显微观测表明煤岩的显微裂缝内存在比较多的“煤粉”颗粒。

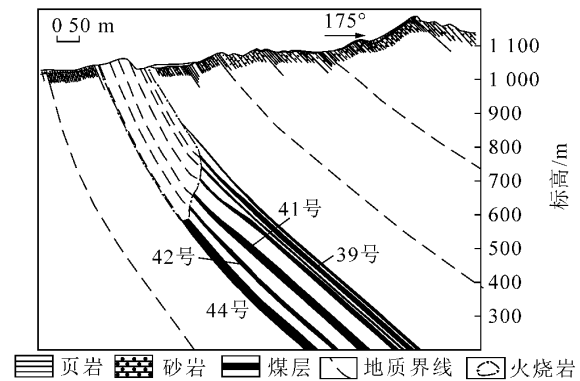


图1 阜康白杨河矿区某勘探线剖面

Fig. 1 Coal seams profile of a exploration line in Fukang Baiyanghe mining area

## 2 垂直井和顺煤层井排采过程中流体运移特征对比

### 2.1 近水平煤层与急倾斜煤层排采过程中流体运移特征对比

在煤层气的排水降压过程中,流体在裂隙中运移时,气泡(气柱)主要受浮力、压差驱动力及表-界面张力的作用<sup>[8-9]</sup>(图2)。其中浮力方向总是垂直向上,而压差驱动的方向由流体高压指向低压。由于气体受浮力作用明显,而地层水则受重力、压差作用明显,因此排采时在流体运移过程中,气相和水相的运移速率及方向均可能存在较大差异,从而造成气水分异。

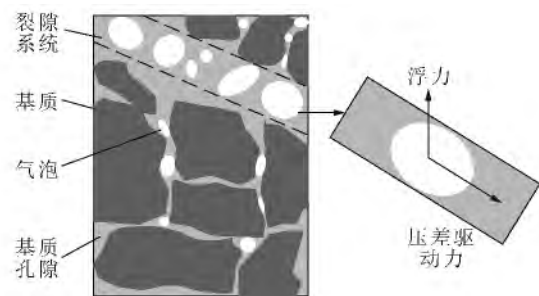


图2 裂隙系统中气泡的受力示意

Fig. 2 Gas bubbles force analysis schematic diagram in fissure system

排采过程中,急倾斜煤层的开发和水平煤层最大的区别在于气水的分异对煤层流体运移和压力传递的影响不同。煤层气产出过程中,水平煤层和急倾斜煤层压差驱动力方向不同,与浮力、重力及压差驱动力的共同作用所导致的气水分异有着较大的区别。

产水阶段,储层导流裂隙中为地层水单相流,不存在气水分异现象<sup>[10-11]</sup>。当煤层气开始解吸运移

时,对水平煤层来讲,浮力对气体及地层水的影响均较小,排采过程中,气水均主要在压差驱动力的作用下沿裂缝通道向井筒汇聚,气水分异现象并不明显。然后,急倾斜煤层地层水运移方向为下倾方向,煤基质的煤层气刚开始解吸时在煤层水中形成气泡较小,气泡(柱)受到的垂直向上的浮力较小,同时裂隙远近端的压差较大。因压差驱动力远比气体浮力大,气泡(柱)随煤层水往下倾方向一起汇聚至井底。随着煤层气的不断解吸,一方面储层生产压差逐渐变小,气体受到的下倾方向的驱动力逐渐减小,另一方面导流裂隙中的气泡相互汇聚变大,气体受到的浮力也逐渐增大,向上倾方向运移的趋势增大,甚至出现气水运移方向相反,气水运移的综合作用导致储层内部气水两相流体在空间上的分异逐渐增大。

由于急倾斜煤层中气体受浮力作用明显,且储层裂隙形态不规则,这阻碍了地层流体的持续运移,加重了储层中的气锁现象。

## 2.2 急倾斜煤层条件下垂直井与顺煤层井排采过程中的流体运移特征及固相产出对比

垂直井井身结构如图 3(a)所示;顺煤层井则采用直井段+增斜段+稳斜段的井身结构(图 3(b)),根据需要稳斜段在煤层中沿下倾方向钻进 50~100 m。



图 3 垂直井与顺煤层井井身结构示意图

Fig. 3 Well structure schematic diagram of vertical and bed-parallel well

由于开发煤层呈急倾斜和易破碎产粉的特点,在排采过程中气水分异现象的存在和固相产出的影响导致垂直井与水平井两种不同开发方式下的储层压

降传播特征的较大差异。

### 2.2.1 垂直井开发方式

随着排采的进行,沿煤层上倾方向会出现明显的两相流相态分布带,宏观上则表现为气水相对渗透率在空间上的差别,两相流的存在导致了水相渗透率  $K_1$  远小于  $K_2$  (图 4)。

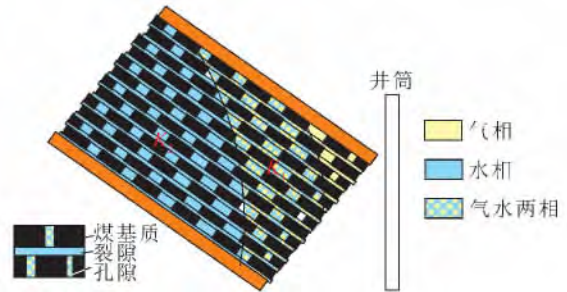


图 4 煤层垂直井筒上倾方向气水分异示意

Fig. 4 Gas-water differentiation schematic diagram in the up dip direction of vertical well

煤层气生产上通过排水降低储层压力<sup>[12]</sup>。产水阶段,在钻孔上方,地层水在重力与压差驱动力作用下,向煤层下倾方向运移至井筒产出,钻孔上方的储层压力可以迅速下降传播;而在钻孔下方,地层水受到的压差驱动力难以克服自身重力,也就无法向井筒运移,因此钻孔下方的储层压降传播速度缓慢,压降传播距离也较小。

随着排水量的不断增加,进入气水两相流阶段后,储层有效解吸范围也不断增加。钻孔上方煤层首先发生解吸,气水两相在空间上也逐渐发生分异,而钻孔下方煤层气水分异则出现滞后。急倾斜煤层气水分异导致压降漏斗形态与水平煤层也有较大差异。由图 5 不难看出,对于垂直井网,排采初期在 2 口煤层气井之间存在较大面积的难降压区,难以形成有效的井间干扰,而在井网下方则存在更大面积的地层水滞留区域,该区域储层压力无法快速下降,难以开发该区域吸附态煤层气。

同时在急倾斜煤层气开发过程中,储层中煤粉、颗粒等固相物在流体的携带下由于自身重力的影响更易往下倾方向运聚。对于垂直井开发方式来讲,在产水阶段,流体下倾方向的搬运能力较强,固相容易集中搬运至主干通道、井筒或在井筒附近发生堵塞;两相流阶段,煤层流体携带煤粉运移过程中,由于两相流带的存在导致运移速度的减慢,携带能力降低,固相容易在两相带附近的主干裂隙中堆积堵塞通道。而固相的堵塞会进一步加大流体产出和压力降传播的困难,井间干扰时会有更大面积的煤层水滞留区。

### 2.2.2 顺煤层井开发方式

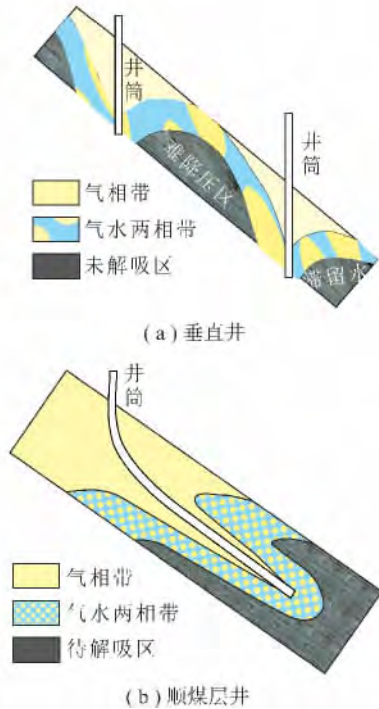


图5 垂直井与顺煤层井储层压降传递模型  
Fig. 5 Reservoir pressure drop models of vertical and bed-parallel wells

对于急倾斜煤层顺煤层井,进入气水两相流阶段以后,同样存在着气水分异现象。在钻孔上方,气水分异现象与压降传播规律与垂直井类似;而在钻孔下方,由于稳斜段与储层有足够大的接触面积,因此该区域地层水可以沿导流裂缝就近运移至井筒产出。随着地层水源源不断地产出,该区域储层压力可以有效降低,进入气水两相流阶段以后,储层有效解吸范围也会随着持续扩大。

顺煤层井稳斜段可以有效开发钻孔下方吸附态煤层气资源,而对于顺煤层井井网而言,稳斜段的存在还可以与邻近钻孔形成有效的井间干扰,扩大了压降传播范围,还能降低储层枯竭压力,最大限度的开发区域煤层气资源。

另外,顺煤层井在产水阶段,流体运移的范围较垂直井广,其携带固相搬运的路径相对比较分散,固相容易被带出井筒或在井筒附近发生部分堵塞;而在两相流阶段,两相流带的存在并不会造成流体运移速度的大幅减弱,水相的优势通道始终存在且指向储层下倾方向,受固相自身重力的影响,煤层水携带部分固相物往下倾方向运移,两相流带附近的固相堵塞现象不会太严重。固相的堵塞对流体运移和压力降传递的影响较小。

### 3 垂直井和顺煤层井开发效果对比

#### 3.1 压力降传递对比

直井煤层气井排采压降的传递,产水阶段煤层水向垂直井筒呈“点源”汇聚;两相流阶段,因为两相流带的存在及其附近固相堵塞的影响,储层整体表现为压力的传递速度慢,单井压降范围小,尤其是钻井下方地层水滞留区面积大。排采过程中,邻井间的降压漏斗扩展速度慢,有效解吸范围小,井间干扰效果不明显,无法充分发挥井群排采效果。

顺煤层井排采压降的传递,产水阶段煤层水向顺煤层井筒呈“线源”汇聚,两相流阶段受两相流带干扰的影响较小,煤层水、气存在畅通的优势通道汇聚井筒。整体上表现为压降的传递速度相对较快,单井压降范围大。井群间的干扰可以有效地达到井群排采的效果。

#### 3.2 固相物产出影响对比

直井的排采范围较小,流体往下倾方向汇集中且受固相物自身重力的影响,大量的固相物自裂隙中被流体集中搬运至主干通道、井筒或在井筒附近发生堵塞;两相流阶段,容易在两相带附近的主干裂隙中堆积堵塞通道;地面表现为初期产粉量可能较高,需要捞粉和解堵作业,后期则流体产出困难,常规作业难以完全解决固相堵塞问题。

顺煤层井稳斜段存在,使得井筒与储层接触面积更广,降压解吸范围较大,导流裂缝通道较多且分布较广。排采过程中产生的固相物可就近相对分散地运移至井筒。地面表现为初期产粉量较高,可通过捞粉和解堵作业及时解决,后期固相物堵塞对流体产出的影响较弱。

#### 3.3 单井产量预测对比

井筒及与其沟通的裂隙系统范围、气水分异及储层压降传递和排采过程中储层伤害(气锁、粉堵等)是影响直井及顺煤层井产量差异的重要因素<sup>[13-14]</sup>。

(1) 井筒及与其沟通的裂隙系统范围。对于直井而言,由于井筒直接接触煤层的面积太小,裂隙系统的范围依赖于压裂形成的人工裂缝通道,取决于压裂施工的质量;对于顺煤层井来讲,井筒大部分与煤储层的裂隙系统沟通,井筒延伸距离受井壁的稳定性影响,通过工程技术可以保证井筒较长距离的延伸。

(2) 储层压降传递。直井压力降的传递较慢,储层有效解吸面积小,而顺煤层井压降的传递速度相对较快,储层有效解吸范围更大。此外,对于直井来讲,邻井间存在着较大范围的难降压区域,储层压降传递较慢,难以有效形成井间干扰,达到井群排采的效果。而对于顺煤层井井网而言,稳斜段的存在还可以与邻近钻孔形成有效的井间干扰,扩大了压降传播范围,



同时还能降低储层枯竭压力,有利于提高煤层气采收率。

(3)排采中的储层伤害。直井排采中更容易引起储层气锁现象和粉堵,对产量的影响较大。

#### 4 结论与建议

(1)煤层气的排水降压过程中,流体在裂隙中运移时,气泡(气柱)主要受浮力、压差驱动力及表-界面张力的作用。其中浮力方向总是垂直向上,而压差驱动的方向由流体高压指向低压。由于本区储层为急倾斜煤层,储层流体运移过程中因浮力、重力及压差驱动力的共同作用导致气水分异现象明显。

(2)急倾斜煤层煤层气开发中的气水分异现象使得采用垂直井方式进行煤层气开发时,沿煤层上倾方向会出现明显的两相流相态分布带,两相流带的存在对煤层流体汇聚并筒过程中水相渗透率、压力降的传递和井间干扰造成了负面影响。

(3)急倾斜煤层采用顺煤层井煤层气开发方式,会降低气水分异带来的负面影响,有利于压力降的传播,提高单井产量和最终采出率,同时减弱了粉堵、气锁等对储层带来的伤害。

(4)顺煤层井对于单井及井组产量均有显著优势,更适于新疆阜康白杨河煤区急倾斜煤层的煤层气开发。顺煤层井型与井网开发技术还有利于在本矿区实现先采气后采煤的科学发展目标。

#### 参考文献:

- [1] 尹淮新. 新疆阜康煤矿区煤层气资源勘探前景及开发建议[J]. 中国煤层气 2009, 6(2):16-18.  
Yin Huaixin. Prospect of exploration of CBM resources in Fukang Coal Mining area in Xinjiang and recommendations on its development[J]. China Coalbed Methane 2009, 6(2):16-18.
- [2] 杨曙光,周梓欣,秦大鹏,等. 新疆阜康市阜试1井煤层气产气分析及小井网布设建议[J]. 中国西部科技 2010, 26(9):3-4.  
Yang Shuguang, Zhou Zixin, Qin Dapeng, et al. Coalbed methane production and small well grid construction of Fushi-1 Well in Fukang, Xinjiang[J]. Science and Technology of China 2010, 26(9):3-4.
- [3] 徐进,敬益武. 淮南煤田白杨河一四工河普查区构造特征分析[J]. 中国煤田地质 2001, 13(4):10-11 63.  
Xu Jin, Jing Yiwu. Analyses on structural features of Baiyanghe-Sigonghe reconnaissance area in Huainan coal-field[J]. China Coalbed Methane 2001, 13(4):10-11 63.
- [4] 张国庆. 淮南煤田煤层气资源开发前景[J]. 中国煤田地质, 2001, 13(2):34-35.  
Zhang Guoqing. Exploiting prospect of coal bed gas resources in Zhunnan coal-field[J]. China Coalbed Methane 2001, 13(2):34-35.
- [5] 吴俊军,游利萍,杨和山. 准噶尔盆地阜康断裂带构造演化与油气成藏[J]. 新疆石油地质 2013, 34(1):36-40.  
Wu Junjun, You Liping, Yang Heshan. Structural evolution and hydrocarbon accumulation of Fukang Fault Zone in Junggar Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology 2013, 34(1):36-40.
- [6] 魏东涛,贾东,赵应成,等. 博格达山北麓新生代前陆冲断带构造解析[J]. 天然气工业 2005, 25(SB):83-87.  
Wei Dongtao, Jia Dong, Zhao Yingcheng, et al. Structure analysis on foreland thrust belt of Cenozoic in north foothill of Bogeda Mountain[J]. Natural Gas Industry 2005, 25(SB):83-87.
- [7] 周继兵,曾宪军,樊涛. 新疆淮南煤田阜康一带煤炭资源分布区地质特征[J]. 新疆地质 2005, 23(2):146-151.  
Zhou Jibing, Zeng Xianjun, Fan Tao. Geological characteristics of the coal resource zone at Bukang, Xinjiang[J]. Xinjiang Geology 2005, 23(2):146-151.
- [8] 李相方,石军太,杜希瑶,等. 煤层气藏开发降压解吸气运移机理[J]. 石油勘探与开发 2012, 39(2):203-213.  
Li Xiangfang, Shi Juntao, Du Xiyao, et al. Transport mechanism of desorbed gas in coalbed methane reservoirs[J]. Petroleum Exploration and Development 2012, 39(2):203-213.
- [9] 刘新福,慕耀光,胡爱梅,等. 单相水流动煤层气井流入动态分析[J]. 岩石力学与工程学报 2011, 30(5):960-966.  
Liu Xinfu, Mu Yaoguang, Hu Aimei, et al. Inflow performance analysis of single-phase water flow in coalbed methane wells[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2011, 30(5):960-966.
- [10] 刘世奇,桑树勋,李梦溪,等. 樊庄区块煤层气井产能差异的关键地质影响因素及其控制机理[J]. 煤炭学报 2013, 38(2):276-283.  
Liu Shiqi, Sang Shuxun, Li Mengxi, et al. Key geologic factors and control mechanisms of water production and gas production divergences between CBM wells in Fanzhuang Block[J]. Journal of China Coal Society 2013, 38(2):276-283.
- [11] 赵金,张遂安. 煤层气排采储层层降传播规律研究[J]. 煤炭科学技术 2012, 40(10):65-68.  
Zhao Jin, Zhang Suian. Study on pressure drop transmission law of coal bed methane drainage reservoir stratum[J]. Coal Science and Technology 2012, 40(10):65-68.
- [12] 汪吉林,秦勇,傅雪海. 关于煤层气排采动态变化机制的新认识[J]. 高校地质学报 2012(3):583-588.  
Wang Jilin, Qin Yong, Fu Xuehai. New insight into the mechanism for dynamic coalbed methane drainage[J]. Geological Journal of China Universities 2012(3):583-588.
- [13] 邓英尔,黄润秋,郭大浩,等. 煤层气产量的影响因素及不稳定渗流产量预测[J]. 天然气工业 2005, 25(1):117-119.  
Deng Ying'er, Huang Runqiu, Guo Dahao, et al. Affecting factors of coal-bed gas production and production prediction of unstable percolation[J]. Natural Gas Industry 2005, 25(1):117-119.
- [14] 赵俊芳,王生维,秦义,等. 煤层气井煤粉特征及成因研究[J]. 天然气地球科学 2013, 24(6):1316-1320.  
Zhao Junfang, Wang Shengwei, Qin Yi, et al. Characteristics and origin of coal powder in coalbed methane well[J]. Natural Gas Geoscience 2013, 24(6):1316-1320.