

贵州织金区块多煤层合采煤层气排采制度研究

彭兴平¹, 谢先平², 刘 晓², 杨 松²

(1. 中国石化华东分公司 石油勘探开发研究院 江苏 南京 210011; 2. 中国石化华东分公司 非常规资源勘探开发指挥部 江苏 南京 210011)

摘 要: 为了提高多煤层条件下煤层气资源动用规模,探索相应排采管控制度,结合织金区块煤层多而薄、层间距变化大、渗透率低等地质特征,分析了在实际开发过程中造成上部煤层裸露而下部煤层未解吸、单井产能低效的原因;通过对多煤层合采气井的排采控制与生产效果的对比分析,在探讨液面降幅、套压控制与产气、产水变化规律的基础上,明确了降压与解吸之间的耦合关系。研究表明:“低速-低套-阶梯式降压”排采制度满足多煤层合采技术要求,可以有效提高煤层气单井产能。

关键词: 排采制度; 阶梯式降压; 多煤层; 合采气井; 织金区块

中图分类号: TE377 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2016)02-0039-06

Study on combined coalbed methane drainage system of multi seams in Zhijin Block, Guizhou

Peng Xingping¹, Xie Xianping², Liu Xiao², Yang Song²

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development East China Company SINOPEC Nanjing 210011, China;

2. Management Office of Unconventional Resource Exploration and Development East China Company SINOPEC Nanjing 210011, China)

Abstract: In order to improve the production scope of the coal bed methane resources under the condition of the multi seams and to discover the related drainage and control system, in combination with the multi and thin seams, large varied space between seams, low permeability of other geological features of the Zhejin Block, the paper analyzed the causes of the "up seam exposed, low seam non-desorption and low production efficiency of a single well" occurred in the actual development process. With the comparison analysis on the drainage control and the production effect of the combined drainage well in the multi seams, based on the discussion on the liquid level reduction, casing pressure control and gas production and water production variation law, the coupling relationship between the pressure reduction and adsorption was defined. The study showed that the "low velocity - low casing - ladder type pressure reduction" drainage system could meet the combined drainage technical requirements of the multi seams and could effectively improve the single well production of the coal bed methane.

Key words: drainage system; ladder type pressure reduction; multi seams; combined drainage; Zhijin Block

0 引 言

与常规油气开发不同,由于煤岩储层的应力敏感性和成藏富集规律的特殊性,多煤层合采技术尚处于摸索试验阶段,相关成果性研究甚少,目前仅华北地区鄂尔多斯盆地桑娥、延川南及沁水盆地潘庄各有一篇研究报告,且侧重点均为对合采影响因素方面进行的可行性分析^[1-3];而中国南方煤层气资

源丰富,多煤层发育特征明显,静态地质研究相对较多,却并无多煤层合采动态开发制度的相关报道。

多煤层合采可以大幅提高纵向资源动用规模,但在实际生产过程中,主要面临以下3个方面的难题:

①合采气井上部煤层容易裸露,而下部煤层还未解吸,产能叠加效果不理想。②小间距可以延长产气叠合时间,大间距可以动用更多煤层以提高煤层气资源动用规模,如何平衡二者之间矛盾。③煤层解吸初期

收稿日期: 2015-10-18; 责任编辑: 曾康生 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2016.02.007

基金项目: 国家科技重大专项资助项目(2011ZX05035)

作者简介: 彭兴平(1982—),男,湖北武汉人,工程师,硕士。Tel: 15051889608 E-mail: ppx1028@126.com

引用格式: 彭兴平,谢先平,刘 晓,等.贵州织金区块多煤层合采煤层气排采制度研究[J].煤炭科学技术,2016,44(2):39-44.

Peng Xingping, Xie Xianping, Liu Xiao, et al. Study on combined coalbed methane drainage system of multi seams in Zhijin Block, Guizhou [J].

Coal Science and Technology, 2016, 44(2): 39-44.

需要防止气量增长过快,高套压容易造成煤层裸露,而低套压又会造成流压下降过快;摸索合理的套压值是排采管理亟待解决又一课题。笔者以织金区块多煤层合采气井生产效果反馈为依据,结合煤层气开发机理,明确降压与解吸之间的耦合关系,从定量的角度,提出井底流压和生产套压的控制原则,从而进一步确定了多煤层煤层气合采的工作制度。

1 地质特征

织金区块位于贵州省西部,面积 $7\,302.06\text{ km}^2$,含煤面积 $4\,648.55\text{ km}^2$,地质资源量达 $7\,706\times 10^8\text{ m}^3$,煤系地层主要发育于上二叠统龙潭组,在构造上保存于区域向斜和小型断块区内^[4];区块地发育煤层多、含气量高、煤层气资源丰度高,地质条件较好^[5-6]。由于煤层多而薄的特点(层数 $30\sim 40$ 层、层厚 $0.3\sim 4.6\text{ m}$),单层资源量有限^[7-8],实施多煤层合采是提高区域资源动用规模的有效途径。

中国石化华东分公司于2009年开始对贵州织金区块开展煤层气勘探开发工作,截至目前在该区共实施探井12口、煤层气井最高日产量达 $2\,830\text{ m}^3/\text{d}$,证实合采开发模式具备较好商业前景,合理的排采制度是实现高效开发的关键。

2 煤层气井排采制度

排采制度受控于开发地质条件,长期以来,基于

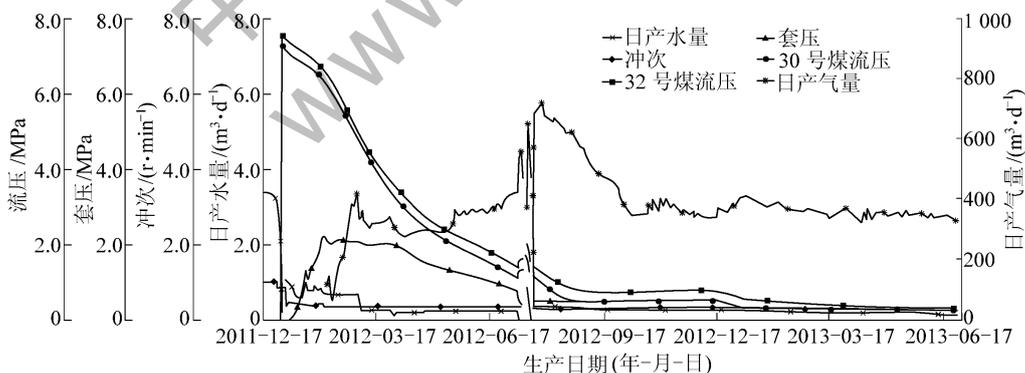


图1 Z6井生产动态曲线

Fig. 1 Production curves of Well Z6

2) 见气后排采强度过大,有高产,无稳产。Z2井目的层为龙潭组20、23号煤层,于2012年6月18日投产,见气前日降液面 $3\sim 5\text{ m}$,排采较为平稳;见气后最大流压降幅达 $0.32\text{ MPa}/\text{d}$ (相当于日降液面 32 m),且持续快速抽排,平均日降 $0.27\text{ MPa}/\text{d}$,储层伤害较为严重,主要表现为:①产水量持续降低($1.28\text{ m}^3/\text{d}$ 降至 $0.01\text{ m}^3/\text{d}$);②稳产效果不理想

对煤岩储层保护的考虑,“持续、缓慢、稳定”成为煤层气开发的基本原则^[9-11];在“排水降压,解吸见气”的过程中,为防止压敏、速敏及煤粉堵塞等造成储层伤害^[12-20],排采制度的核心是控制井底流压的下降速率^[21-25],在生产现场则表现为对动液面和套压的合理控制。

2.1 对井底流压的合理控制

由于煤层层间距变化大,多储层压力系统必然存在差异,导致各煤层解吸压力与解吸时间各不相同;合采的目的是通过优化压降速率来延长产气叠合时间,以实现产能叠加。通过对合采气井排采控制与生产效果的对比分析,在摸索液面降幅、套压控制及产气、产水变化规律的基础上,总结提出了“低速-低套-阶梯式降压”的排采制度。

1) 见气前抽排过快,无高产。Z6井目的层为龙潭组30、32号煤层,于2012年12月17日投产,启抽压力 8.7 MPa 。投产后第3天因压力计损坏,流压无法监测,排采15d后见气,抽排强度较大,单相流阶段平均降液面达 $11.6\text{ m}/\text{d}$ (即 $0.116\text{ MPa}/\text{d}$),见气前返排率仅28%。见气后水量逐减,从 $2.15\text{ m}^3/\text{d}$ 降至 $0.1\text{ m}^3/\text{d}$,最高日产气量不超过 $715\text{ m}^3/\text{d}$ 。分析认为,见气前排采速率过快,压敏效应导致储层渗透率降低,水量无法正常排出、压降漏斗难以扩展、解吸面积受限而造成气源供给不足,从而难以实现高产(图1)。

(日产 $2\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 以上仅75d, $1\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 以上120d,且后期呈现缓慢下降趋势),排采曲线呈现“单峰型”;说明见气后排采强度过大,呈有高产、无稳产特征(图2)。

2.2 对套压的合理控制

Z5井目的层为龙潭组16、17、20、23及27号煤层,于2011年12月21日投产。见气前,日降液面

小于 2 m、流压控制较为合理。但见气后解吸迅猛, 套压急速上升(从 0.5 MPa 至 1.4 MPa), 造成动液面骤降、上部煤层相继裸露; 日产气量曲线呈锯齿状, 达峰值(2 830 m³/d)后迅速下跌。分析认为, 由

于气体大量解吸, 渗流通道中“滑脱效应”明显, 导致日产水量急剧减少(从 2.0 m³/d 减至 0.1 m³/d), 排采中后期产气效果不理想; 说明高套压不适应多煤层合采技术要求(图 3)。

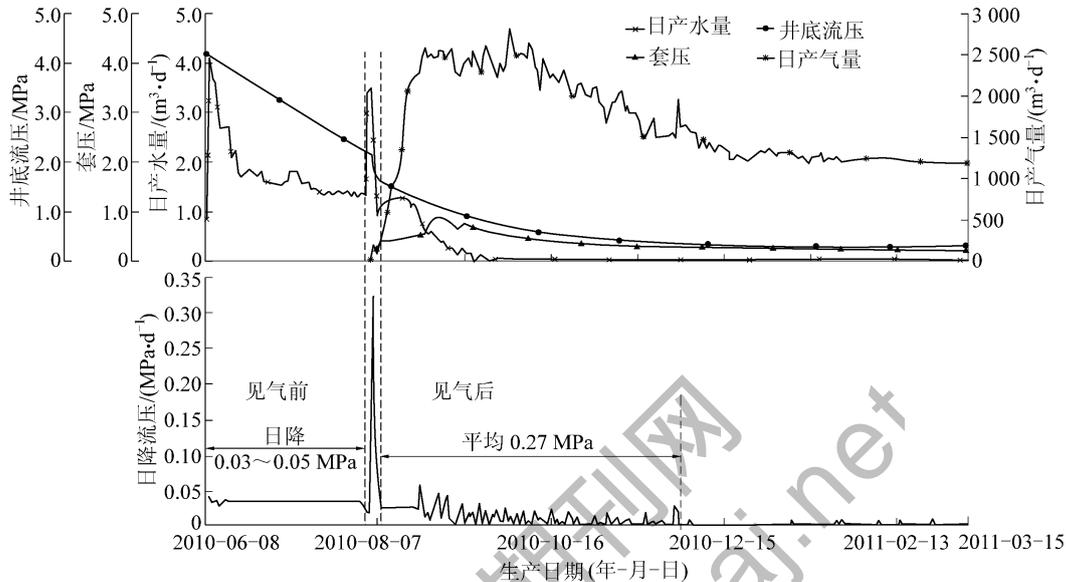


图 2 Z2 井排采日降流压与产气量变化关系

Fig. 2 Relationships of depressurization rate and gas production of Well Z2

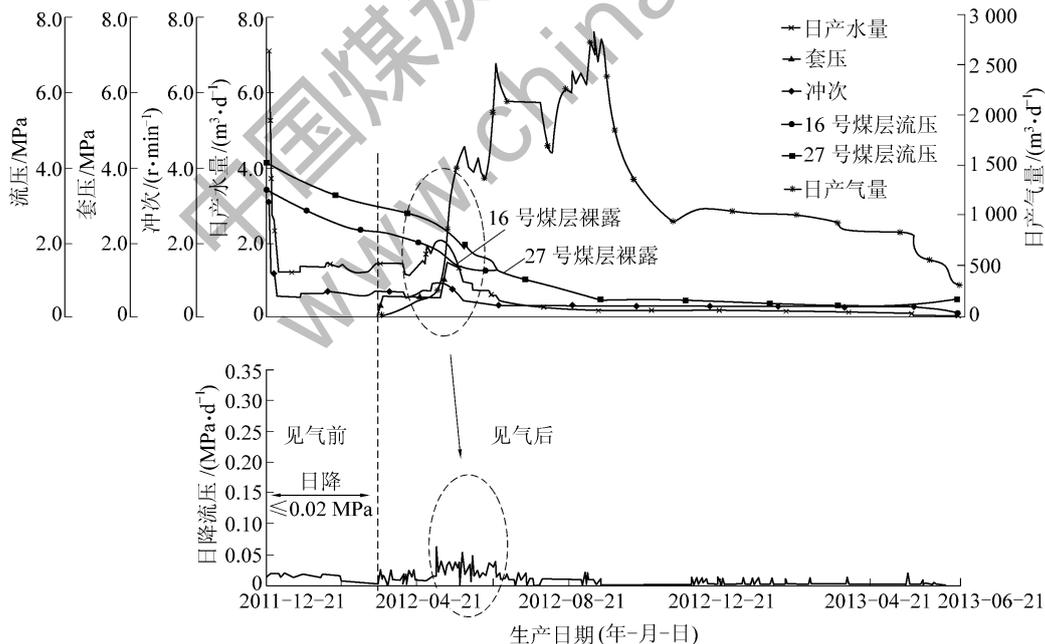


图 3 Z5 井排采日降流压与产气量变化关系

Fig. 3 Relationships of depressurization rate and gas production of Well Z5

假设套压为 P_c , 上部煤层沉没度为 H , 上、下煤层间距为 Δh , 下部煤层的流压和解吸压力分别为 P_{w12} 和 P_{j2} , 则在排采过程中满足关系式: $P_{w12} = P_c + (H + \Delta h) / 100$ 。

当下部煤层开始解吸时, 有 $P_{w12} = P_{j2}$, 即 $P_{j2} =$

$$P_c + (H + \Delta h) / 100 \quad P_c = P_{j2} - (H + \Delta h) / 100。$$

制定合理套压, 应保证下部煤层充分解吸而上部煤层不裸露, 即 $H > 0$, 则: 解吸初期, $P_c < P_{j2} - \Delta h / 100$; 稳定生产过程中, $P_c < P_{w12} - \Delta h / 100$; 综合分析可知, 煤层间的大间距实施低套压生产较为合适,

而小间距可适当提高套压。生产实践证明,在珠藏次向斜实施低套压(0.5 MPa)产气效果良好。

2.3 低速-低套-阶梯式降压制度

以3层煤合采为例,如图4中1、2、3号煤层,假设启抽压力、储层压力、解吸压力和稳产压力分别为 P_s 、 P_r 、 P_j 和 P_w ,日产水、日产气分别为 ΔQ_L 、 ΔQ_g ,井底流压为 P_{wf} ,3层煤解吸压力分别为 P_{j1} 、 P_{j2} 、 P_{j3} 。

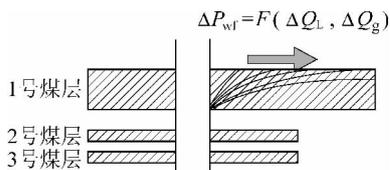


图4 多煤层煤层气井合采降压漏斗示意

Fig. 4 Pressure drop funnel on co-production of multi-seam CBM well

阶梯式降压,是以降压和产水(或产气)之间耦合关系为理论依据,即单位压降条件下获取相应产水(或产气)量,函数关系式为 $\Delta P_{wf} = \Phi(\Delta P_r) = F(\Delta Q_L, \Delta Q_g)$,以此控制排水降压速度,防止压敏、速敏等不利因素造成渗流通道堵塞,保证地层水(或气)正常产出。

低速-低套-阶梯式降压排采制度的基本思想是:以节点控制为手段,把握阶段降压特征;以提高返排率为核心,扩大地层卸压面积;以慢排为原则,防止储层伤害;以低套防裸露,兼顾主力煤层,延长产气叠合时间;将整个排采过程分为3个阶段进行控制,即缓慢降压阶段、阶梯式降压阶段和稳流压生产阶段(图5)。

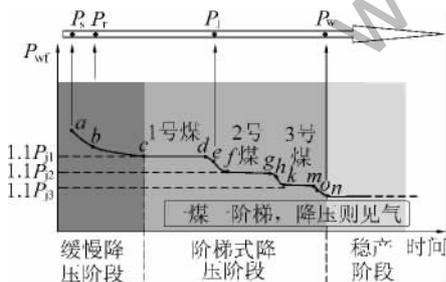


图5 阶梯式降压排采示意

Fig. 5 Stepping decline pressure drainage

1) 缓慢降流压阶段($a \rightarrow c$)。① $a-b$ 段:压后启抽,该阶段井筒压力高于地层压力,为防止压裂液污染及长时间浸泡造成煤层垮塌,以日降液面 ≤ 2 m/d的速度适当快排。在目的层埋深较浅的区块,如珠藏次向斜(300~600 m),启抽速度 ≤ 1.5 m/d,也能获得较好的产气效果。② $b-c$ 段:当流压降至 b 点时,井筒流压值等于储层压力,即 $P_{wf} = P_s$,此后

储层开始卸压,煤岩应力敏感逐渐凸现,因此放慢排采速率,保持日降液面 ≤ 1 m/d。

2) 阶梯式降压阶段($c \rightarrow n$)。① $c-d$ 段:当流压降至1号煤层解吸压力的1.1倍时(即 $1.1P_{j1}$, c 点),1号煤层处于临近解吸阶段,为防止见气过快造成液面大幅波动,同时抓住单向流阶段提高返排率的最佳时机,故下调冲次,稳液面排水。② $d-e-f$ 段:当返排率 $\geq 30\%$ 时(d 点),通过缓慢降液面,进一步扩大储层与井筒之间的压差,以获取稳定产液量。当井底流压降至 e 点时,1号煤层解吸,随着套压上涨,进入气水两相流阶段,地层供液能力自然减弱,此时下调冲次,保持低套压生产,以防止动液面降幅过大。③ $f-g-h-k$ 段:当井底流压降至2号煤层解吸压力1.1倍时(即 $1.1P_{j2}$, f 点),2号煤临近解吸阶段,稳液面排水以提高该层见气前返排率,控制原则与 $d-e-f$ 段相同。④ $k-m-o-n$ 段:当井底流压降至3号煤层解吸压力的1.1倍时(即 $1.1P_{j3}$, k 点),同理,此时以提高3号煤层返排率为目的,控制原则与 $f-g-h-k$ 段类似。

3) 稳产压阶段(n 点之后)。当排采进入稳产阶段(n 点之后),在低套压保证煤层具备一定沉没度的条件下,地层供液稳定,深部煤层气资源开始启动,单井日产稳定,且趋于高产稳产状态;此时稳流压生产,可获取持久、稳定的煤层气的产能。

结合多煤层解吸特征与合采生产要求,“低速-低套-阶梯式降压”排采制度是在“缓慢、连续、稳定、长期”的框架下,对过程控制进行了细化和调整,既解决了层间解吸差异的时间矛盾,又兼顾了各套煤层的有效资源,提高了合采效果。

3 煤层气井排采制度工程应用

Z4井对6层煤进行合采(6-7、17、20、23、27及30号煤),投产后始终以低速排采为原则,通过阶梯式降压,以 ≤ 0.02 MPa/d和 ≤ 0.01 MPa/d的2种抽排速率为周期、分3个阶段对整个排采过程进行控制,6-7、17以及(20、23、27、30)号煤层分3批依次解吸,各煤层产气叠加效果较好(日产 ≥ 2000 m³/d),排采中后期高产稳产形势良好(图6)。

值得一提的是,该井见气初期稳套压1.0 MPa生产,导致上部煤层(6-7)相继裸露,造成产气量达到第1小峰值(日产966 m³/d)后迅速下跌,产气效果不理想;此时通过及时调整排采

制度, 逐渐放低套压至 0.5 MPa 生产, 保证下部多套煤层解吸(17、20、23、27 及 30 号煤), 同时

不出现裸露, 日产气量迅速上升至 2 000 m³/d 并持续稳产。

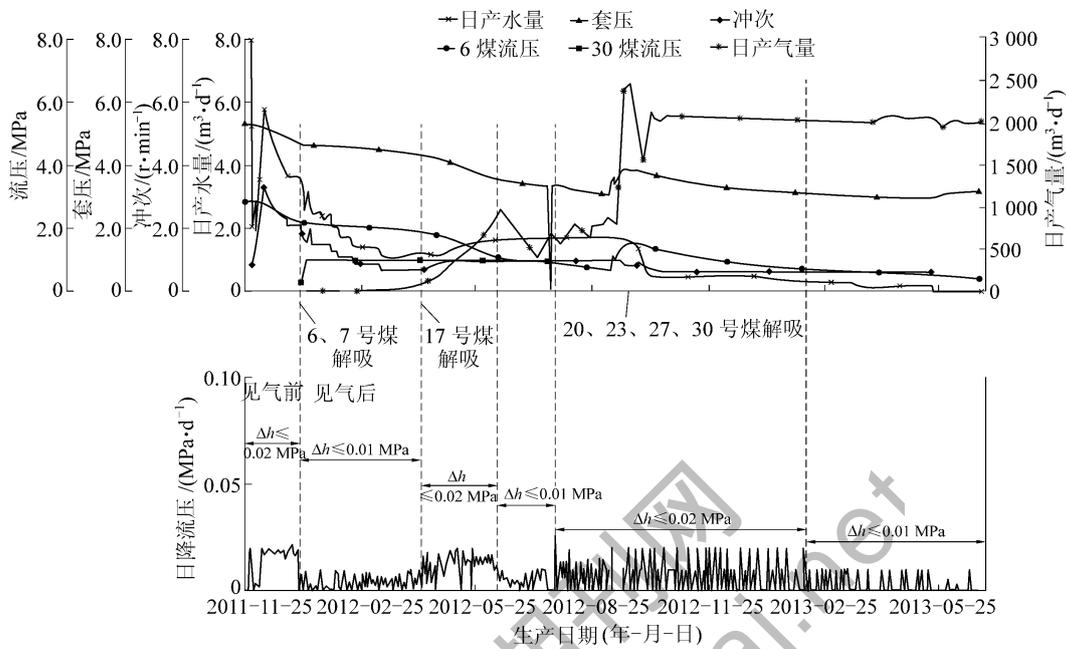


图 6 Z4 井排采日降流压与产气量变化关系

Fig. 6 Relationships of depressurization rate and gas production of Well Z4

实践证明, 维持较低套压为 0.5 MPa、合理慢排(日降流压 ≤ 0.02 MPa/d), 即“低速-低套-阶梯式降压”制度符合多煤层合采的生产规律, 满足织金区块的开发要求。

4 结论与建议

1) 多煤层合采必须有效防止上部煤层裸露而下部煤层未解吸的现象, 提高返排率、延长各储层产气叠合时间, 是实现高效合采的必要条件。

2) 在排水降压过程中, 各煤岩储层受压敏、速敏等多重因素综合影响, 控制降压和解吸之间合理的耦合关系, 是实现高效排采的关键。

3) 合采应以低套压为原则, 在解吸初期、稳定生产期应分别满足关系式 $P_c < P_{j2} - \Delta h / 100$ 和 $P_c < P_{wf2} - \Delta h / 100$ 。

4) “低速-低套-阶梯式降压”排采制度满足织金区块的生产要求, 符合多煤层合采规律, 为实现南方大规模开发提供有效技术支撑。

参考文献(References):

[1] 熊涛, 孙国忠, 池斌, 等. 鄂尔多斯盆地东缘桑峡区煤层气分压合采可行性分析[J]. 中国煤炭地质, 2010, 25(12): 52-54.

Xiong Tao, Sun Guozhong, Chi Bin *et al.* Feasibility study of separate layer fracturing and multi-layer drainage for CBM in Sange Area, eastern margin of Ordos Basin [J]. Coal Geology of China, 2010, 25(12): 52-54.

[2] 谢学恒, 李小龙, 陈贞龙, 等. 延川南地区 2 号和 10 号煤层分压合采的可行性研究[J]. 油气藏评价与开发, 2011, 1(3): 65-69.

Xie Xueheng, Li Xiaolong, Chen Zhenlong *et al.* Research on the feasibility of layered fracture and commingled water drainage & gas production for No.2 and No.10 coal seams in Yanchuannan Area [J]. Reservoir Evaluation and Development, 2011, 1(3): 65-69.

[3] 张双斌, 郭红玉, 潘庄煤层气井分压合采技术及其应用分析[J]. 煤炭工程, 2014, 46(5): 51-54.

Zhang Shuangbin, Guo Hongyu. Individual pressure fracturing and combined mining technology of coalbed methane wells in Pan-zhuang Mine and application [J]. Coal Engineering, 2014, 46(5): 51-54.

[4] 金军, 唐显贵. 贵州省织金-纳雍煤田构造特征及其成因[J]. 中国煤炭地质, 2010, 22(3): 8-12.

Jin Jun, Tang Xiangui. Structural features and their genesis in Zhi-jin-Nayong Coalfield, Guizhou Province [J]. Coal Geology of China, 2010, 22(3): 8-12.

[5] 杨兆彪. 多煤层叠置条件下的煤层气成藏作用[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2012.

Yang Zhaobiao. Coalbed methane reservoiring process under condition of multi-coalbeds overlay [D]. Xuzhou: China University of

- Mining and Technology 2012.
- [6] 秦勇,熊孟辉,易同生等.论多层叠置独立含煤层气系统:以贵州织金—纳雍煤田水公河向斜为例[J].地质论评,2008,54(1):65-69.
Qin Yong, Xiong Menghui, Yi Tongsheng *et al.* On unattached multiple superposed coalbed methane system: in a case of the Shuigonghe Syncline Zhijin-Nayong Coalfield, Guizhou [J]. Geological Review 2008, 54(1): 65-69.
- [7] 王小川.黔西南南滇东晚二叠世含煤地层沉积环境与聚煤规律[M].重庆:重庆大学出版社,1996:362.
- [8] 邵长金,邢立坤,李相方等.煤层气藏多层合采的影响因素分析[J].中国煤层气,2012,9(3):8-21.
Shao Changjin, Xing Likun, Li Xiangfang *et al.* Analysis of factors influencing co-production of multi-seam in CBM reservoir [J]. China Coalbed Methane 2012, 9(3): 8-21.
- [9] 饶孟余,江舒华.煤层气井排采技术分析[J].中国煤层气,2010,7(1):22-25.
Rao Mengyu, Jiang Shuhua. Analysis on drainage techniques of coalbed methane well [J]. China Coalbed Methane 2010, 7(1): 22-25.
- [10] 康永尚,邓泽,刘洪林.我国煤层气井排采工作制度探讨[J].天然气地球科学,2008,19(3):423-426.
Kang Yongshang, Deng Ze, Liu Honglin. Discussion about the CBM well draining technology [J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(3): 423-426.
- [11] 姚艳芳,李新春,姚小勤.煤层气井排采试气技术[J].油气井测试,2001,10(4):70-72.
Yao Yanfang, Li Xinchun, Yao Xiaoqin. Pumping and testing technology for the coalbed gas well [J]. Well Testing, 2001, 10(4): 70-72.
- [12] 邓泽,康永尚,刘洪林等.开发过程中煤储层渗透率动态变化特征[J].煤炭学报,2009,34(7):947-951.
Deng Ze, Kang Yongshang, Liu Honglin *et al.* Dynamic variation character of coalbed methane reservoir permeability during depletion [J]. Journal of China Coal Society 2009, 34(7): 947-951.
- [13] 赵群,王洪岩,李景明等.快速排采对低渗透煤层气井产能伤害的机理研究[J].山东科技大学学报,2008,27(3):27-31.
Zhao Qun, Wang Hongyan, Li Jingming *et al.* Study on mechanism of harm to CBM well capability in low permeability seam with quick drainage method [J]. Journal of Shandong University of Science and Technology 2008, 27(3): 27-31.
- [14] 秦义,白建梅,樊彬等.沁水盆地煤储层应力敏感性分析及工艺对策[J].天然气工业,2011,31(11):62-65.
Qin Yi, Bai Jianmei, Fan Bin *et al.* Analysis on stress sensitivity of coalbed methane reservoir in Qinshui Basin and strategies [J]. Natural Gas Industry 2011, 31(11): 62-65.
- [15] 叶建平,史保生,张春才.中国煤储层渗透性及其主要影响因素[J].煤炭学报,1999,24(2):118-122.
Ye Jianping, Shi Baosheng, Zhang Chuncai. Coal reservoir permeability and its controlled factors in China [J]. Journal of China Coal Society, 1999, 24(2): 118-122.
- [16] 陈振宏,王一兵,孙平.煤粉产出对高煤阶煤层气井产能的影响及其控制[J].煤炭学报,2009,34(2):229-232.
Chen Zhenhong, Wang Yibing, Sun Ping. Destructive influences and effectively treatments of coal powder to high rank coalbed methane production [J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(2): 229-232.
- [17] 魏迎春,张傲翔,姚征等.韩城区块煤层气排采中煤粉产出规律研究[J].煤炭科学技术,2014,42(2):85-89.
Wei Yingchun, Zhang Aoxiong, Yao Zheng *et al.* Research on output laws of pulverized coal during coalbed methane drainage in Hancheng Block [J]. Coal Science and Technology 2014, 42(2): 85-89.
- [18] 任飞,李辛子,张遂安.鄂尔多斯盆地不同割理方向煤岩应力敏感性研究[J].煤炭科学技术,2014,42(11):21-25.
Ren Fei, Li Xinzi, Zhang Suian. Study coal rock stress sensitivity of different cleat directions in Ordos Basin. [J]. Coal Science and Technology 2014, 42(11): 21-25.
- [19] Li Guofu, Meng Zhaoping. Researches on hydro-frac induced reservoir damage to anthracite coal seams of Southern Qingshui Basin [C]//The International Symposium on Safety Science and Technology 2007: 2805-2808.
- [20] Wei Yingchun, Cao Daiyong, Yuan Yuan *et al.* Characteristics of pulverized coal during coalbed methane drainage in Hancheng Block, Shanxi Province, China [J]. Energy Exploration & Exploitation, 2013, 31(5): 745-757.
- [21] 彭兴平.鄂尔多斯盆地东南缘高煤阶煤层气井排采制度研究与应用[J].油气藏评价与开发,2014,4(2):55-60.
Peng Xingping. Draining technology research and application on high rank-coal CBM wells in Southeast margin of Erdos Basin: A case study from Yanchuannan CBM Field [J]. Reservoir Evaluation and Development 2014, 4(2): 55-60.
- [22] 李清,彭兴平.延川南工区煤层气排采速率定量分析[J].石油与天然气学报,2012,34(12):70-75.
Li Qing, Peng Xingping. Quantified analysis and research on coalbed methane drainage rate [J]. Journal of Oil and Gas Technology 2012, 34(12): 70-75.
- [23] 段品佳,王芝银,翟雨阳等.煤层气排采初期阶段合理降压速率的研究[J].煤炭学报,2011,36(10):1689-1692.
Duan Pinjia, Wang Zhiyin, Zhai Yuyang *et al.* Research on reasonable depressurization rate in initial stage of exploitation to coalbed methane [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(10): 1689-1692.
- [24] 宋革,傅雪海,葛燕燕等.压力控制下高煤阶煤层气井排采的流体效应[J].煤炭科学技术,2014,42(8):60-64.
Song Ge, Fu Xuehai, Ge Yanyan. Fluid effect during coalbed methane well drainage of high rank coal reservoir under pressure control. [J]. Coal Science and Technology 2014, 42(8): 60-64.
- [25] 赵金,张遂安.煤层气排采储层压降传播规律研究[J].煤炭科学技术,2012,40(10):65-68.
Zhang Jin, Zhang Suian. Study on pressure drop transmission law of coalbed methane drainage reservoir stratum. [J]. Coal Science and Technology 2012, 40(10): 65-68.