

杨兆中 杨 苏 张 健 等. 800 m 以深直井煤储层压裂特征分析 [J]. 煤炭学报, 2016, 41(1): 100–104. doi: 10.13225/j.cnki.jccs.2015.9026

Yang Zhaozhong, Yang Su, Zhang Jian, et al. Fracturing characteristics analysis of 800 meters deeper coalbed methane vertical wells [J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(1): 100–104. doi: 10.13225/j.cnki.jccs.2015.9026

## 800 m 以深直井煤储层压裂特征分析

杨兆中<sup>1</sup> 杨 苏<sup>2</sup> 张 健<sup>3</sup> 李小刚<sup>2</sup>

(1. 西南石油大学 科研处 四川 成都 610500; 2. 西南石油大学 石油与天然气工程学院 四川 成都 610500; 3. 中联煤层气有限责任公司 开发生产部 北京 100011)

**摘 要:** 以沁水盆地 800 m 以深煤层气井为例, 统计归纳了深部煤层地质特征, 分析了与之对应的压裂难点; 通过统计 10 口采用活性水压裂技术且产气效果显著提升的深煤层气井的压裂数据, 总结了现有技术体系下深煤层直井压裂施工参数特征, 分析了导致深部煤层气藏压裂施工中压力异常偏高的因素, 提出了深部煤层气藏开发对策。结果表明: 深部煤层气藏的高温、高压、高地应力的地质环境、较差的储层物性以及较强的非均质性等特征, 使得现有压裂技术体系在适用性和有效性上面临严峻挑战; 增产效果较好的深部煤层气直井, 普遍采用大液量注入, 同时控制砂比在 15% 左右; 压裂时压力异常偏高是受到压裂液性能、地层微裂缝、储层岩性、钻井液污染及煤粉堵塞等因素的影响; 未来应对深部煤层气藏的开发, 除了要对活性水压裂技术进行优化, 还有赖于压裂理论的发展和新型压裂材料的研制。

**关键词:** 深部煤层; 地质特征; 直井压裂; 施工参数

**中图分类号:** P618.11

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0253-9993(2016)01-0100-05

## Fracturing characteristics analysis of 800 meters deeper coalbed methane vertical wells

YANG Zhao-zhong<sup>1</sup>, YANG Su<sup>2</sup>, ZHANG Jian<sup>3</sup>, LI Xiao-gang<sup>2</sup>

(1. Research Department, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China; 2. School of Petroleum and Natural Gas Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China; 3. Development and Production Department, China United Coalbed Methane Company, Beijing 100011, China)

**Abstract:** In this study, the samples were taken from the wells of Qinshui Basin with depth more than 800 meters. Geological features of deep coal seam were summarized. The fracturing difficulties were also analyzed. According to the statistics of fracturing data from 10 deep wells, which used active water fracturing technologies and obtained some good effects, the characteristics of fracturing construction parameters for deep CBM wells using the existing technologies were summarized. The factors that cause the abnormal high pressure of fracturing in deep coal bed gas reservoir were analyzed. The strategies of deep coalbed methane reservoir were proposed. The research results show that deep coal beds have high temperature, high pressure, high ground stress, poor reservoir physical properties and strong heterogeneity, which makes the applicability and validity of the existing technologies face severe challenges. The vertical well fracturing uses large volume injection and 15% sand ratio. Abnormal pressure of fracturing is influenced by fracturing fluid properties, the formation of micro fractures, reservoir lithology, drilling fluid pollution, coal blockage and other factors. The development of deep coal beds in the future depends on not only the optimization of active water fracturing tech-

收稿日期: 2015-09-11 修回日期: 2015-10-25 责任编辑: 张晓宁

基金项目: “十二五”国家科技重大专项资助项目(2011ZX05042-002)

作者简介: 杨兆中(1969—), 男, 四川泸州人, 教授, 博士生导师。E-mail: sgylyg@swpu.edu.cn。通讯作者: 杨 苏(1987—), 男, 河南濮阳人, 博士研究生。E-mail: 201411000050@stu.swpu.edu.cn

nology, but also the promotion of fracturing theories and the development of new materials.

**Key words:** deep coalbed; geological features; vertical well fracturing; construction parameters

随着煤层气勘探开发工作的不断深入,我国煤层气产业发展重心逐渐向深部转移<sup>[1]</sup>,开发重点由最初的 500 m 左右的煤层,逐步转向 800 m<sup>[2]</sup>以深煤层。较之浅埋深煤层,深部煤层在地应力、地温及岩石力学性质等方面有较大不同,通常具有高温、高压、低渗透率、低饱和等特点<sup>[3]</sup>。深部煤层气藏的勘探开发在我国目前处于初步研究和探索阶段,欠缺针对性的增产改造技术体系<sup>[4]</sup>,传统的水力压裂工艺在适用性上面临挑战,压裂后产量普遍偏低<sup>[5]</sup>。

目前我国煤层气勘探开发程度较高的沁水盆地,1 000 m 以深的煤层气资源量占总资源量的 47%<sup>[4]</sup>。申建等构建了基于地应力、饱和含气量、渗透率等深煤层界定指标体系,根据最大隶属原则将沁水盆地深煤层界定在 750 m 以深<sup>[6]</sup>,即在此深度以深,煤层气成藏特征开始发生转换,其开发须针对储层特性变化采取相应的措施。我国煤层具有厚度薄、渗透率低、含气量低的特点,其开发方式以直井压裂为主<sup>[7]</sup>。近年来,在沁水盆地南部进行了不同深度煤层气藏直井的压裂排采作业,其中绝大多数煤层气井采用活性水压裂液进行加砂压裂<sup>[8]</sup>。本文以沁水盆地 800 m 以深煤层气井地质、压裂数据为基础,进行了深部煤层地质特征分析和现有压裂技术体系在深部煤层气藏直井应用适用性研究,并进一步选取典型实例分析压裂作业时压力异常的影响因素,提出了深部煤层直井压裂的对策。

## 1 800 m 以深煤层地质特征分析

以沁水盆地深煤层地质参数为样本进行统计分析,归纳得出的 800 m 以深煤层地质特征(表 1)。深部煤层的地质条件和储层物性,较之浅埋深煤层,区别较大。深部煤层含气性较好,具有潜在的开发价值<sup>[9]</sup>。忽略深部煤层开发潜力的主要原因是其“三高”的地质环境,即高地温、高地应力、高储层压力<sup>[4]</sup>。高地应力极大地降低了煤储层渗透性<sup>[10]</sup>,其极低的渗透率和较小的孔隙度<sup>[11]</sup>意味着深部煤层的开发必须依赖有效的储层改造措施,才能达到工业开采的要求。高温高压下,煤层甲烷吸附、解吸条件异常复杂<sup>[12]</sup>,使得压后产量的提升受到多因素制约。地应力及岩石力学性质的特殊性,使得深煤层气井井壁稳定与人工裂缝延伸非常困难,人工裂缝与天然裂缝的匹配关系复杂,特别是深煤层的高构造应力作用和煤岩的塑性特征,严重制约主裂缝的形成和有效延

伸<sup>[5,13]</sup>。较大的作业深度、较差的物性参数以及高温高压的地层环境使得支撑剂在极其不规则的裂缝系统中实现有效输运与铺置变得非常困难<sup>[5]</sup>。这些都使得深部煤层气富集和开采因素变得越发多样化<sup>[14]</sup>,从而导致现有压裂技术在开发过程中的适用性和有效性面临严峻挑战,在后续排采过程中出现见气时间长、单井产气量低甚至不产气等问题。

表 1 沁水盆地 800 m 以深煤层地质特征  
Table 1 Geological characteristics of 800 meters deeper coalbed in Qinshui Basin

参数	特征
含气量/( $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ )	>10
孔隙度/%	<6.5
渗透率/ $10^{-15} \text{m}^2$	<0.5
温度	储层的温度呈现增加的趋势,当深度超过 800 m 后温度增加的幅度增大
压力	随着深度增加,储层压力呈现线性增加的趋势,破裂压力逐步升高,破裂压力梯度减小,裂缝闭合和延伸压力增大
岩石力学参数	煤岩的弹性模量呈增加的趋势,泊松比降低
煤岩割理特征	裂隙级别降低,裂隙间距变小
地应力	垂向主应力随深度增大幅度最大,最小主应力增大幅度最小;800 m 以深煤层易生成垂直裂缝

## 2 现有压裂技术适用性分析

### 2.1 800 m 以深煤层活性水压裂特征

表 2 对我国煤层气直井现场应用的压裂技术进行了总结分析<sup>[15-17]</sup>。活性水压裂技术由于其低污染、低成本、易返排等优点,成为我国目前煤层改造应用最为广泛的首要技术,能够有效地改造井筒与煤层天然裂缝网络之间的连通性,从而在排水降压时合理地分配井孔周围的压降,提供能量和增加气体解吸速率,使煤层气快速排出,在浅部煤层气井应用效果较好<sup>[5]</sup>。活性水压裂技术在深煤层气井的适用性可以根据近年来的现场实践效果来分析。

以沁水盆地为例,在成功进行了活性水压裂作业施工且产气情况明显改善的煤层气井中,选取 10 口储层深度在 800 m 以深的直井 S1~S10 作为样本,统计其压裂施工参数,见表 3。

产量显著提升的 10 口井储层深度在 800~1 350 m 均采用了较大的注入液量。这是因为深部

表2 我国煤层气直井主要压裂技术<sup>[15-17]</sup>  
Table 2 Main fracturing technologies for coalbed methane vertical wells in China<sup>[15-17]</sup>

压裂技术名称	特点	应用情况
活性水压裂	伤害低、易返排、价格低廉、携砂较弱、滤失较为严重	效果较好、绝大多数井
胍胶压裂液压裂	携砂强、造长缝、返排困难、破胶难、残渣吸附伤害较大	效果差、极少数井
清洁压裂液压裂	低伤害、易返排、造长缝、滤失较为严重、成本较高	效果一般、少数井
泡沫压裂	黏度高、降滤失、返排过快易造成煤粉堵塞	效果较差、少数井
氮气伴注压裂	返排率高、伤害较低	效果一般、少数井

表3 10口800 m以深煤层气藏直井活性水压裂施工参数

Table 3 Parameters of active hydraulic fracturing on 10 wells that are deeper than 800 meters

井号	储层深度/m	液量/m <sup>3</sup>	砂量/m <sup>3</sup>	平均砂比/%	破裂压力/MPa	压降/MPa
S1	836.28~841.28	577.81	29.09	14.10	35.49	32.56~19.83
S2	837.50~840.00	492.96	50.22	14.55	29.30	17.00~9.60
S3	846.50~849.00	491.10	50.24	14.23	31.40	13.10~4.20
S4	859.30~864.30	573.03	50.21	14.10	18.72	17.17~10.97
S5	879.65~884.65	618.30	50.63	15.60	35.91	18.36~9.79
S6	956.60~962.70	588.73	55.68	13.60	20.07	13.71~10.10
S7	970.70~976.60	573.26	50.68	13.30	29.70	18.33~10.94
S8	976.25~981.90	619.17	55.60	14.60	28.63	19.19~11.14
S9	1 006.40~1 010.20	503.22	50.16	13.94	32.07	25.16~22.42
S10	1 348.10~1 351.10	516.60	50.66	14.00	32.40	22.70~15.70

## 2.2 深部煤层压裂压力异常因素分析

目前现场实践的深部煤层气井在压裂作业时,常会发生压力异常偏高的情况,往往是由以下4种因素或因素间的组合导致的<sup>[19]</sup>,需要根据地质资料与现场施工情况综合判断。

### (1) 压裂液性能影响。

以图1所示的A井为例,压裂作业施工前期由于储层物性较差导致施工压力高而停泵,破裂点不明显,后逐级提排量注入并试探性加砂,在以5%砂比加入第1个段塞后,压力开始升高,提高排量至4.2 m<sup>3</sup>/min,并继续低砂比加入支撑剂,压力持续升高,由于施工压力过高而排量受限,最终施工失败。究其原因是活性水压裂液由于黏度低,在较低排量下造缝能力不足,加入支撑剂时易形成砂堵的潜在问题。

### (2) 地层微裂缝影响。

压裂时未能形成具有一定缝宽的主裂缝,只在近井筒地带形成多条微裂缝,弯曲摩阻增大,在加入支

煤层由于其特殊的地质条件和储层物性,压裂液滤失非常严重<sup>[18]</sup>。作为加强降滤措施,大液量注入可以解决活性水滤失严重导致的支撑裂缝长度不够的问题。此外,大液量的注入能更快的将主裂缝或者是裂缝网络向前扩张,减少了在裂缝向前推进过程中的压裂液损失<sup>[16]</sup>,也可以较好地增大降压面积,有利于煤层甲烷的解吸。10口井的平均砂比均在15%左右,这是由于活性水压裂液黏度低、携砂能力较差,面对物性更差、非均质性更强的深部煤层,砂比如果过高,可能出现因为微裂缝堵塞而带来的施工压力异常偏高的情况。随着深度的增加,煤岩破裂压力也随之增加,大部分井破裂压力达到了30 MPa左右,压降比较明显。

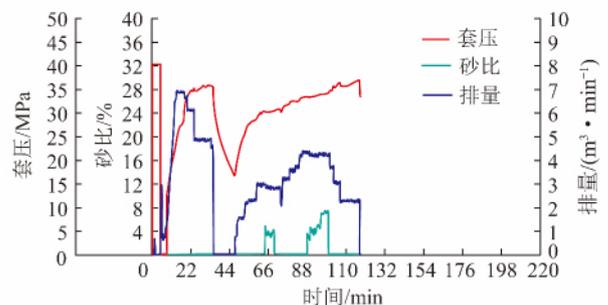


图1 A井压裂作业施工曲线

Fig. 1 Fracturing operation curves of well A

撑剂后,支撑剂堵在缝口处或支撑剂立刻将近井地带多微裂缝充填,导致流动通道堵塞,压力急剧上升。在近井地带形成多条微裂缝后,在远井地带融汇成主裂缝,在加砂过程中造成了微裂缝堵塞,导致施工压力过高。图2中B井井径扩大率为45.68%,射孔质量受一定影响,从曲线看压裂时,地层明显破裂,但未形成一条足够宽度主裂缝,只形成多条微裂缝,再加砂过程中,和射孔产生碎屑将缝口堵死,后期通过变

排量注入压裂液,但压力一直起伏,推断为刚产生了微裂缝,随即又被堵住。

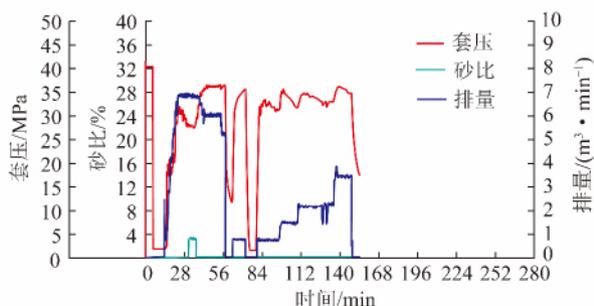


图 2 B 井压裂施工综合曲线

Fig. 2 Fracturing operation curves of Well B

### (3) 储层岩性影响。

深部煤岩较之浅埋深煤层更加致密,裂隙不发育也会导致施工压力异常偏高。图 3 中 C 井的起泵排量  $3.8 \text{ m}^3/\text{min}$ ,施工压力达到  $37 \text{ MPa}$ ,之后以  $0.5 \sim 2 \text{ m}^3/\text{min}$  排量注入活性水,施工压力仍然过高,最高达到近  $40 \text{ MPa}$ ,地层注不进液。经分析认定原因为储层过于致密,裂隙不发育。

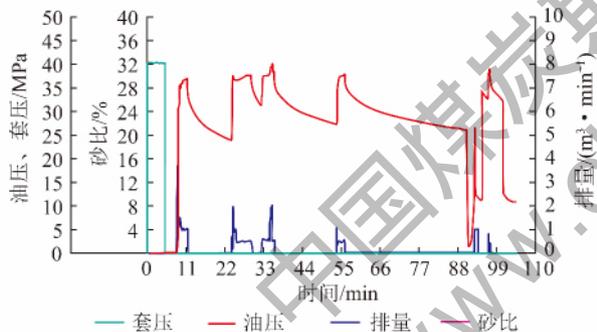


图 3 C 井压裂施工综合曲线

Fig. 3 Fracturing operation curves of Well C

### (4) 钻井液污染及煤粉堵塞。

近井地带钻井液污染以及煤粉堵塞也会成为造成施工作业失败的潜在因素。钻井过程中钻井液在井筒及近井地带形成泥饼,堵塞近井地带地层裂隙,会导致施工压力高;地层中煤粉堵塞微裂隙,会导致地层注不进液,施工中憋起高压的现象。现场压裂施工时,由于无法准确获取煤层表皮系数,从而导致钻井液污染情况不详,无法正确判断高压异常是由钻井液污染引起的还是由于煤粉堵塞引起的。

## 3 深部煤层气藏直井压裂对策

### (1) 活性水压裂技术优化。

在国内外深部煤层气井现场实践中进一步获取压裂经验,选取成功案例,通过数据挖掘方法及数理分析,对压裂材料和压裂施工参数等进行优化<sup>[20]</sup>调整,逐步形成满足我国深部煤层气藏开发的活性水压

裂技术体系。

### (2) 压裂理论发展。

在现有的浅煤层和常规油气层压裂中,以形成高导流能力的规整裂缝作为主攻目标,建立准确的深部煤层压裂裂缝起裂及延伸数学模型以指导压裂施工设计。以理论研究与现场实践为手段,进一步发展压裂理论,力求在裂缝系统纷繁复杂的深煤层中形成具有一定长度和导流能力的规整人工裂缝<sup>[5]</sup>。

### (3) 新型压裂材料研制。

现有支撑剂主要为石英砂和陶粒两大类,相对密度较高,要想实现支撑剂的有效输送,对压裂液的携砂能力要求很高。建议从合成材料、加工技术、分子模拟等方面展开攻关,研发出与深部煤层气藏压裂技术配套的新型压裂材料。通过研发超低密度支撑剂和可控滤失速率的增能助解吸压裂液,来实现支撑剂在裂缝内的有效输送、铺置和压后煤层气的顺利解吸<sup>[3]</sup>。

## 4 结 论

(1) 800 m 以深煤层气藏的高温、高压、高地应力的地质环境、较差的储层物性以及较强的非均质性特征,使得深部煤层气富集和开采因素越发多样化,增产改造难度很大,现有压裂技术体系在适用性和有效性上面临严峻挑战。

(2) 活性水压裂技术是我国煤层气藏开发的主要技术,已在深部煤层进行了多口井压裂实践。深部煤层气井活性水压裂时,较之浅埋深煤层,破裂压力较高。增产效果较好的深部煤层气直井,普遍采用大液量注入,同时控制砂比在 15% 左右。

(3) 深部煤层气井压裂作业时,常常会出现压力异常偏高的情况,往往是受到了压裂液性能、地层微裂缝、储层岩性、钻井液污染及煤粉堵塞等因素的影响,需要根据地质资料和施工情况进行判断。

(4) 为推动深部煤层气藏的开发,除了要对现有的水力压裂技术进行优化外,还需要发展在地质条件复杂的深部煤层能够有效形成具有一定长度和导流能力的规整人工裂缝的压裂理论。此外,超低密度支撑剂和可控滤失速率的增能助解吸压裂液的新型压裂材料的研制可以帮助实现支撑剂的有效输送、铺置以及煤层气的顺利解吸。

### 参考文献:

- [1] 张守仁. 深煤层煤层气开发有效途径展望[J]. 中国煤层气, 2011(4): 18-21.  
Zhang Shouren. Proposed effective developing method for the

- deep coalbed methane [J]. *China Coalbed Methane* 2011 (4): 18-21.
- [2] 徐春光,王延斌,王向浩,等.深部煤层 CO<sub>2</sub> 置换 CH<sub>4</sub> 过程中煤岩特性变化研究 [J]. *河南理工大学学报: 自然科学版*, 2013, 32(3): 265-269.  
Xu Chunguang, Wang Yanbin, Wang Xianghao, et al. Research progress of coal rock properties change in the process of CO<sub>2</sub> replacement CH<sub>4</sub> in deep coal seam [J]. *Journal of Henan Polytechnic University Natural Science* 2013, 32(3): 265-269.
- [3] Lu Yanjun, Yang Zhaozhong, Li Xiaogang, et al. Problems and methods for optimization of hydraulic fracturing of deep coal beds in China [J]. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 2015, 51(1): 41-48.
- [4] 郭广山,柳迎红,吕玉民.中国深部煤层气勘探开发前景初探 [J]. *洁净煤技术* 2015 21(1): 125-128.  
Guo Guangshan, Liu Yinghong, Lü Yuming. Preliminary exploration and development prospects on deep coal bed methane in China [J]. *Clean Coal Technology* 2015 21(1): 125-128.
- [5] 李小刚,杨兆中,梁知,等.深埋煤层气藏水力压裂增产技术探讨 [J]. *天然气与石油* 2011 29(6): 46-48.  
Li Xiaogang, Yang Zhaozhong, Liang Zhi, et al. Discussion on hydraulic fracturing stimulation technology of deep coal seams [J]. *Natural Gas and Oil* 2011 29(6): 46-48.
- [6] 申建,秦勇,傅雪海,等.深部煤层气成藏条件特殊性及其临界深度探讨 [J]. *天然气地球科学* 2014 25(9): 1470-1476.  
Shen Jian, Qin Yong, Fu Xuehai, et al. Study on the special characteristics and critical depth of the reservoir forming conditions in deep coal seams [J]. *Natural Gas Geoscience* 2014 25(9): 1470-1476.
- [7] 戴林.煤层气井水力压裂设计研究 [D]. 荆州: 长江大学, 2012.
- [8] 刘世奇,桑树勋,李仰民,等.沁水盆地南部煤层气井压裂失败原因分析 [J]. *煤炭科学技术* 2012 40(6): 108-112.  
Liu Shiqi, Sang Shuxun, Li Yangmin, et al. Analysis on fracturing failure cause of coal bed methane well in south part of Qinshui Basin [J]. *Coal Science and Technology* 2012 40(6): 108-112.
- [9] 陶树,汤达祯,许浩,等.沁南煤层气井产能影响因素分析及开发建议 [J]. *煤炭学报* 2011 36(2): 194-198.  
Tao Shu, Tang Dazhen, Xu Hao, et al. Analysis on influence factors of coalbed methane wells productivity and development proposals in southern Qinshui Basin [J]. *Journal of China Coal Society*, 2011, 36(2): 194-198.
- [10] 胡继华,宋勇超,杨球玉,等.地应力对低渗透性岩体的渗透率影响分析 [J]. *工程地质学报* 2015 23(4): 641-645.  
Hu Jihua, Song Yongchao, Yang Qiuyu, et al. Effects of geo-stresses to permeability rate of low permeable rock at different depths [J]. *Journal of Engineering Geology* 2015 23(4): 641-645.
- [11] 陆小霞,黄文辉,陈燕萍,等.沁水盆地南部深煤层孔隙结构特征 [J]. *东北石油大学学报* 2015 39(3): 41-49.  
Lu Xiaoxia, Huang Wenhui, Chen Yanping, et al. The pore structure characteristics of coal seam in southern Qinshui Basin [J]. *Journal of Northeast Petroleum University* 2015 39(3): 41-49.
- [12] 杨兆中,韩金轩,付蓄,等.煤储层不同尺寸孔中 H<sub>2</sub>O 对 CH<sub>4</sub> 解吸扩散的分子模拟研究 [J]. *天然气地球科学*, 2015, 26(5): 951-957, 985.  
Yang Zhaozhong, Han Jinxuan, Fu Qiang, et al. Molecular simulation of CH<sub>4</sub> desorption and diffusion of coal reservoir with different sizes of pores in the impact of H<sub>2</sub>O [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2015, 26(5): 951-957, 985.
- [13] 张金才,尹尚先.页岩油气与煤层气开发的岩石力学与压裂关键技术 [J]. *煤炭学报* 2014 39(8): 1691-1699.  
Zhang Jincai, Yin Shangxian. Some technologies of rock mechanics applications and hydraulic fracturing in shale oil, shale gas and coalbed methane [J]. *Journal of China Coal Society*, 2014, 39(8): 1691-1699.
- [14] 闫宝珍,王延斌,丰庆泰,等.基于地质主控因素的沁水盆地煤层气富集划分 [J]. *煤炭学报* 2008 33(10): 1102-1106.  
Yan Baozhen, Wang Yanbin, Feng Qingtai, et al. Coalbed methane enrichment classifications of Qinshui Basin based on geological key controlling factors [J]. *Journal of China Coal Society*, 2008 33(10): 1102-1106.
- [15] 卢义玉,杨枫,葛兆龙,等.清洁压裂液与水对煤层渗透率影响对比试验研究 [J]. *煤炭学报* 2015 40(1): 93-97.  
Lu Yiyu, Yang Feng, Ge Zhaolong, et al. Comparative experiment on influence of clear fracturing fluid and water on coal seam permeability [J]. *Journal of China Coal Society* 2015 40(1): 93-97.
- [16] 张军涛,郭庆,汶锋刚.深层煤层气气压裂技术的研究与应用 [J]. *延安大学学报: 自然科学版* 2015 34(1): 78-80.  
Zhang Juntao, Guo Qing, Wen Fenggang. Study and application of fracturing technologies in deep coal seams [J]. *Journal of Yan'an University (Natural Science Edition)* 2015 34(1): 78-80.
- [17] 王青川,金国辉,姚伟,等.煤层气井活性水压裂效果影响因素的探讨性 [J]. *中国煤层气* 2015 12(4): 17-19.  
Wang Qingchuan, Jin Guohui, Yao Wei, et al. Discussion on poor active water fracturing effect in Qinnan-xiadian Block [J]. *China Coalbed Methane* 2015 12(4): 17-19.
- [18] Huang B X, Huang C M, Cheng Q Y, et al. Hydraulic fracturing technology for improving permeability in gas-bearing coal seams in underground coal mines [J]. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy* 2012 112(6): 485-495.
- [19] 张义,鲜保安,孙粉锦,等.煤层气低产井低产原因及增产改造技术 [J]. *天然气工业* 2010 30(6): 55-59.  
Zhang Yi, Xian Baoan, Sun Fenjin, et al. Reasons and stimulation technology of stripper wells in coal bed [J]. *Natural Gas Industry* 2010 30(6): 55-59.
- [20] 郭军峰,田炜,李雪琴,等.沁水盆地煤层气水力压裂投产技术优化 [J]. *中国煤层气* 2011 8(6): 25-29.  
Guo Junfeng, Tian Wei, Li Xueqin, et al. Optimization of hydraulic fracturing technique in CBM well in Qinshui Basin [J]. *China Coalbed Methane* 2011 8(6): 25-29.