

# 某区块煤层气多分支水平井氮气措施探索

史玉胜<sup>1</sup> 张红星<sup>1</sup> 房克栋<sup>1</sup> 姜涛<sup>1</sup> 原红超<sup>1</sup> 罗金<sup>2</sup>

1. 华北油田山西煤层气分公司, 山西 晋城 048000;

2. 华北油田公司, 河北 任丘 062552

**摘要:**为提高某区块煤层气多分支水平井单井产能,深入分析多分支水平井井眼堵塞原因,初步搞清堵塞机理并提出增产对策。在某区块多分支水平井的开发实践中,部分多分支水平井在排采过程中出现排采管控不当、停电、设备故障等情况造成压力波动,导致煤层坍塌、井眼堵塞,致使气量大幅下降,产能无法有效释放。氮气泡沫解堵具有成本低、煤层污染小、不易导致裸眼井段大范围垮塌等特点,通过探索和开展多分支水平井氮气泡沫解堵工艺和技术研究,并进行现场实际应用,有效地解决了井眼堵塞、产能下降等问题,避免了其他解堵方式对煤层造成伤害。多分支水平井实施氮气泡沫解堵是一种有效的解堵提产方法。

**关键词:**煤层气;多分支水平井;堵塞;氮气泡沫解堵

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2017.01.014

## 0 前言

多分支水平井具有占地面积小、控制面积大、排采时间长、单井产量高等开发特征。目前多分支水平井在某区块广泛应用,并取得良好的开发效果,但由于特殊的井身结构影响、煤层层构造发育、应力敏感性强等原因,在排采过程中,明显暴露出一些问题:排采期压力波动容易发生煤层坍塌,煤粉产出而掩埋气、水通道,严重影响煤层气井单井产量,无法达到设计产能指标。由于此类井多采用裸眼完井,井眼重入难、成本高,水力压裂易导致裸眼井段大范围垮塌,目前缺乏有效的解堵措施。本文分析了造成多分支水平井井眼堵塞的原因,并通过开展氮气泡沫解堵工艺研究及现场试验,为多分支水平井解堵增产提供依据。

## 1 井眼堵塞原因分析

井眼堵塞的原因有两种:

1)煤粉在钻井井眼低洼处逐渐堆积,最后堵塞井眼通道。由于钻井过程中产生的大量煤粉残留在井眼通道内,排采过程中煤粉随着水流向井眼方向缓慢运移。

当排采制度突然增强或者停电后大强度起抽时,井底流压会快速下降,通道内生产压差增大,煤粉大量快速移动,遇到井眼低洼处时,由于流速降低,煤粉容易沉淀、堆积,导致通道变窄,最后被煤粉堵塞,见图1。

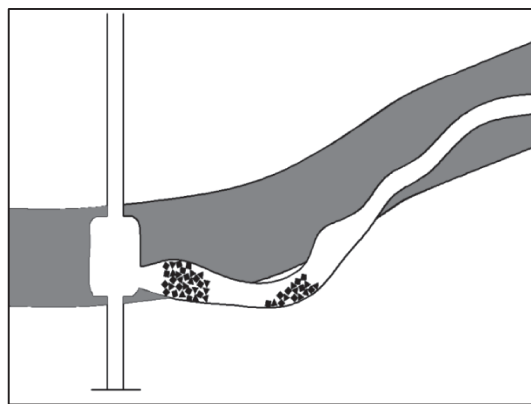


图1 煤粉在低洼处聚集导致堵塞示意图

该类井生产表现为日产气量上升快,稳定产气量高,但水质长期较差,水中煤粉含量多,煤粉经常堵塞泵的吸入口或导致泵凡尔失灵,检泵周期短,每次检泵后

收稿日期:2016-07-12

作者简介:史玉胜(1980-),男,河南封丘人,工程师,硕士,从事煤层气开采技术研究工作。

产气量呈台阶状突降,产水量逐步下降。多次检泵后,日产气量降至较低水平,自然排采无法恢复正常产能。

2) 钻井井眼位于煤层底部的软煤带或出煤层的井段,因岩性软弱突然垮塌,快速堵塞井眼通道。某区块内 3# 煤底部发育一层 0.5 ~ 1 m 左右的软煤,该类煤破碎程度高,煤矿采掘面观察呈粉状结构,井眼稳定性差。井眼进出煤层顶底界面时,分界面处主要为泥页岩,力学性质差,易破碎,支撑力小。随着排采时间的延长,井壁上有效应力逐渐增大,导致井眼发生压缩变形,在此过程中,软煤段内井眼、顶底分界面处井壁极易发生垮塌,导致岩石块或煤粉快速大量堆积,堵塞井眼通道,见图 2。

该类井生产表现为日产气量上升较慢,稳定产气量较高。提高排采强度或井底流压波动时,水质变差,检泵周期长。排采过程中发生突变,日产气量、日产水量、井底流压快速下降为 0,井筒内出现大量的煤粉,自然排采无法恢复正常产能。

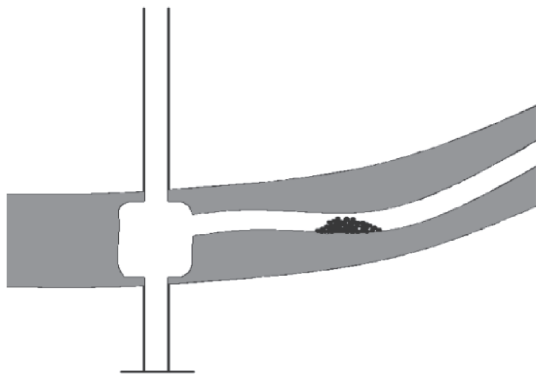


图 2 局部井眼垮塌导致堵塞示意图

## 2 增产对策研究

由于通道堵塞,导致单井产能无法释放,急需对堵塞的通道实施措施解堵,恢复产能。目前已实施的多分支水平井井眼堵塞增产工艺主要有井眼重入钻井、水力压裂解堵、氮气泡沫解堵等方法,由于井眼重入钻井成本高、水力压裂易导致裸眼井段大范围垮塌,无法在现场推广应用,而氮气泡沫成本低、对煤层污染小,因此,优先推荐开展氮气泡沫解堵工艺研究及现场试验。

### 2.1 氮气泡沫解堵原理

向水平井眼内注入氮气泡沫液,通过液氮汽化增加水平井眼内的压能,将井眼内堵塞处冲开。施工后放喷过程中,利用过氮气泡沫液的高返排性能,将井筒内的煤粉及颗粒携带至井筒内及地面,清理井眼,释放产能。同时,氮气还可以将近井筒地带储层裂隙、裂缝中的煤粉携带至井筒内,一定程度改善井眼附近的渗透率,提高单井产能。

## 2.2 氮气泡沫液性能情况

### 2.2.1 泡沫流体配置

泡沫流体是气体在液体中充分分散形成,气泡分散程度越高,泡沫流体的质量越好,悬浮能力越强。泡沫基液一般是由液体、起泡剂和稳泡剂按一定比例配置而成的溶液。泡沫一般是由内充气体、泡沫基液等形成的分散体系,其中液体是连续相,气体是不连续相。

氮气泡沫解堵液是由液氮、清水、发泡剂、稳泡剂、杀菌剂经泡沫发生器搅拌配置而成,见图 3。气泡直径一般小于 0.05 mm。泡沫质量保持在 85 % 左右,达到最大悬浮能力,黏度 0.8 ~ 1.0 MPa · s。

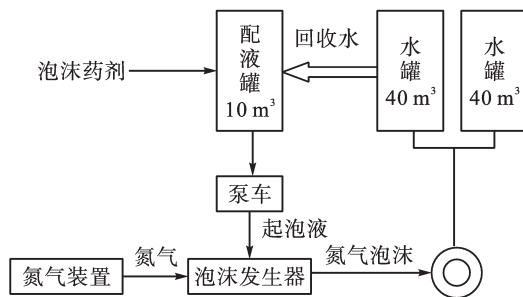


图 3 氮气泡沫液配制流程示意图

### 2.2.2 氮气泡沫液携砂能力

氮气泡沫解堵液携砂能力好。室内试验表明,直径为 0.5 mm 的砂粒沉降速度为  $10^{-5} \sim 10^{-4}$  m/s 的数量级,几乎可以悬浮在泡沫中;粒径为 0.125 ~ 0.150 mm 的煤粉能充分分散悬浮在氮气泡沫解堵液中 10 h,砂粒沉降速度与泡沫特征值的关系,见图 4。微粒子在氮气泡沫中悬浮试验,见图 5。

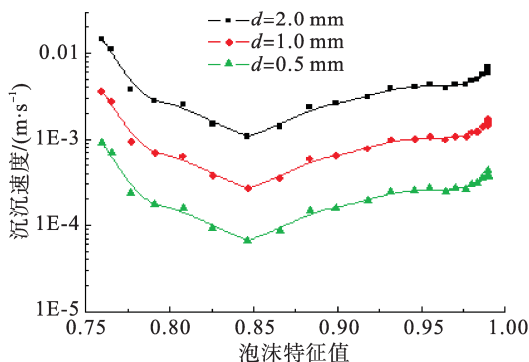


图 4 砂粒沉降速度与泡沫特征值的关系

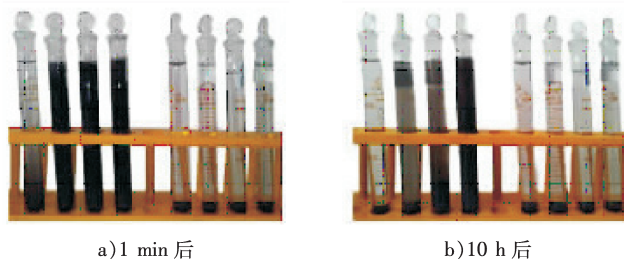


图 5 微粒子在氮气泡沫中悬浮试验

### 3 施工现场试验及效果分析

在某区块内实施了6口井氮气泡沫解堵,目前有4口井见到明显效果,平均单井日增产 $1\,000\text{ m}^3$ 以上。

#### 3.1 ZP 8 V井实施效果分析

ZP 8 V井位于某区块西南部构造平缓区,3#煤层埋深653.70 m,煤层厚度5.6 m,煤层进尺4 561 m,钻遇率92.39%。该井2012年11月5日投产,2014年11月10日达到最高产气量 $7\,997\text{ m}^3$ 。2015年1月生产数据突变,日产气量下降为 $609\text{ m}^3$ ,后实施检泵作业,气量未恢复。2015年3月底实施氮气泡沫解堵,注入液氮 $30\text{ m}^3$ ,折合标况氮气 $20\,945\text{ m}^3$ ,泡沫基液 $15\text{ m}^3$ ,其中氮气注入排量 $200\sim 300\text{ m}^3/\text{min}$ ,泡沫液注入排量 $0.15\sim 0.3\text{ m}^3/\text{min}$ 。共返排液量 $4.5\text{ m}^3$ ,含煤粉及煤糊 $1.7\text{ m}^3$ 。目前已见到良好的增产效果,井底流压上升至 $0.13\text{ MPa}$ ,日产气量上升至 $9\,000\text{ m}^3$ ,增产 $1\,000\text{ m}^3$ ,仍具有一定的上升潜力。

分析认为该井见效的主要原因一是该井地质条件好,在生产初期表现出较好的产气能力;二是该井产量下降的主要原因为分支垮塌,堵塞通道,致使产能无法有效释放;三是该井井眼总体稳定性好,有利于煤粉的返排及疏通清理,低施工压力即可清除堵塞。

#### 3.2 ZP 10 V井实施效果分析

ZP 10 V井位于某区块西南部构造平缓区,3#煤层埋深697.7 m,煤层厚度6.3 m,煤层进尺4 642 m,钻遇率95%。2012年10月25日投产,2014年1月12日达到最高产气量 $1\,159\text{ m}^3$ 。2014年6月生产参数突变,日产气量下降为 $467\text{ m}^3$ 。2015年4月实施氮气泡沫解堵,注入液氮 $36\text{ m}^3$ ,折合标况氮气 $17\,542\text{ m}^3$ ,泡沫基液 $11\text{ m}^3$ ,其中氮气注入排量 $80\sim 350\text{ m}^3/\text{min}$ ,泡沫液注入排量 $0.1\sim 0.3\text{ m}^3/\text{min}$ 。共返排液量 $2\text{ m}^3$ ,含煤粉及煤糊 $0.8\text{ m}^3$ 。目前已见到较好的增产效果,井底流压上升至 $0.15\text{ MPa}$ ,日产气量上升至 $1\,200\text{ m}^3$ ,增产效果不明显。

分析认为该井虽然见效,但产气趋势下降,主要原因是本井地质条件好,具备高产基础,受局部井眼垮塌导致产气量大幅下降。由于本次氮气解堵液注入量小,无法有效携带煤块运移至井筒,仅清除了粒径小于 $2\text{ mm}$ 的煤粉。垮塌处仍存在煤块、大粒径煤粒的堆积,只解除了部分堵塞,因此解堵后无液,日产气量呈现缓慢下降的趋势。

### 4 结论与建议

1)通过向地层内注入高压液氮混合液,使井眼内能量增加,扰动滞留煤粉,将堵塞分支冲开,同时利用氮气

泡沫高返排性能,将煤粉及颗粒携带至地面,能够达到疏通井眼,提高单井产能的目的。

2)对于部分水平井因侧钻点密集导致钻井后大段井眼发生垮塌,注入 $70\text{ m}^3$ 液氮仍无法解除堵塞,那么此类堵塞无法通过氮气泡沫技术解除。

3)煤层气多分支水平井采用裸眼洞穴完井,井眼稳定性差,易形成井眼堵塞,垮塌后单井产气量大幅下降。下步需要进行完井方式及井身结构的优化,使水平井成井后能保持井眼相对稳定,能较长时间保持气、水畅通,能进行维护性作业及增产措施。

#### 参考文献:

- [1] 胡秋嘉,唐钰童,吴定泉,等. 氮气泡沫解堵技术在樊庄区块多分支水平井上的应用[J]. 中国煤层气,2015,12(5): 27-29.  
Hu Qiujia, Tang Yutong, Wu Dingquan, et al. Application of the Nitrogen Foam Blocking Technology in Multi-Branch Horizontal Wells of Fanzhuang Block [J]. China Coalbed Methane, 2015, 12 (5): 27-29.
- [2] 姜伟,管保山,屈世存,等. 煤层气压裂返排过程中煤粉产出规律实验研究[J]. 煤田地质与勘探,2014,42(3): 47-49.  
Jiang Wei, Guan Baoshan, Qu Shicun, et al. Regularities of Coal Powder Migration During Fracturing Liquid Flowback in Coalbed Methane Well [J]. Coal Geology & Exploration, 2014, 42 (3): 47-49.
- [3] 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.
- [4] 姜剑青. 影响煤层气井产量的因素分析[J]. 天然气工业,2004,24(4): 62-64.  
Lou Jianqing. Factors of Influencing Production of Coal-Bed Gas Wells [J]. Natural Gas Industry, 2004, 24 (4): 62-64.
- [5] 张建国,苗耀,李梦溪. 沁水盆地煤层气水平井产能影响因素分析[J]. 中国石油勘探,2010,15(2): 49-54.  
Zhang Jianguo, Miao Yao, Li Mengxi. Influential Factors of CBM Horizontal Well Production in Qinshui Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2010, 15 (2): 49-54.
- [6] 郭洋,杨胜来. 煤层气压裂和排采技术应用现状与进展[J]. 天然气与石油,2011,29(4): 62-64.  
Guo Yang, Yang Shenglai. Current Status and Development

- Trend of CBM Fracturing and Drainage [J]. Natural Gas and Oil, 2011, 29 (4): 62-64.
- [7] 赵庆波. 煤层气地质与勘探技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 75-96.
- Zhao Qingbo. CBM Geology and Exploration Technology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999: 75-96.
- [8] 王玉海, 王庆红, 闫桂芳, 等. 煤层气井压裂效果评价方法[J]. 油气井测试. 2010, 19(5): 42-43.
- Wang Yuhai, Wang Qinghong, Yan Guifang, et al. Evaluation Method of Fracturing Effect for Coal-Bed Gas Wells [J]. Well Testing, 2010, 19 (5): 42-43.
- [9] 王永昌, 苏士波, 李武生, 等. 煤层气多分支水平井钻井工艺研究[J]. 天然气与石油. 2013, 31(5): 58-61.
- Wang Yongchang, Su Shibo, Li Wusheng, et al. Study on Multi-Branch Horizontal Coalbed Methane Well Drilling Technology [J]. Natural Gas and Oil, 2013, 31 (5): 58-61.
- [10] 张 聪, 李梦溪, 王立龙, 等. 沁水盆地南部樊庄区块煤层气井增产措施与实践[J]. 天然气工业. 2011, 31(11): 26-29.
- Zhang Cong, Li Mengxi, Wang Lilong, et al. EOR Measures for CBM Gas Wells and Their Practices in the Fanzhuang Block, Southern Qinshui Basin [J]. Natural Gas Industry, 2011, 31 (11): 26-29.
- [11] 李仰民, 王立龙, 刘国伟, 等. 煤层气井排采过程中的储层伤害机理研究[J]. 中国煤层气. 2010, 7(6): 39-43.
- Li Yangmin, Wang Lilong, Liu Guowei, et al. Study on Coal Reservoir Damage Mechanism in Dewatering and Extraction Process of CBM Wells [J]. China Coalbed Methane, 2010, 7 (6): 39-43.
- [12] 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.
- [13] 刘人和, 刘 飞, 周 文, 等. 沁水盆地煤岩储层单井产能影响因素[J]. 天然气工业. 2008, 28(7): 30-33.
- Liu Renhe, Liu Fei, Zhou Wen, et al. An Analysis of Factors Affecting Single Well Deliverability of Coalbed Methane in the Qinshui Basin [J]. Natural Gas Industry, 2008, 28 (7): 30-33.
- [14] 钱伯章, 朱建芳. 煤层气开发与利用新进展[J]. 天然气与石油. 2010, 28(4): 29-34.
- Qian Bozhang, Zhu Jianfang. New Progress in Coal Seam Gas Development and Utilization [J]. Natural Gas and Oil, 2010, 28 (4): 29-34.
- [15] 王晓泉, 张守良, 吴 奇, 等. 水平井分段压裂多段裂缝产能影响因素分析[J]. 石油钻采工艺. 2009, 31(1): 73-76.
- Wang Xiaoquan, Zhang Shouliang, Wu Qi, et al. Factors Affecting the Productivity of Multi-Section Fractures in Sub-section Fracturing of Horizontal Wells [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2009, 31 (1): 73-76.
- [16] 乔 磊. 沁水盆地南部低成本煤层气钻井完井技术[J]. 石油勘探与开发. 2008, 35(4): 482-486.
- Qiao Lei. Well Drilling and Completion Technology for Low Cost Coalbed Methane in Southern Qinshui Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35 (4): 482-486.
- [17] 张士诚, 王 建. 煤层气井压裂裂缝扩展规律分析[J]. 天然气工业. 2004, 24(5): 107-109.
- Zhang Shicheng, Wang Jian. Coal Seam Fracturing Dynamic Method Monitoring Technology [J]. Natural Gas Industry, 2004, 24 (5): 107-109.
- [18] 万名山. 压裂系统手册[M]. 北京: 石油工业出版社. 2000: 98-104.
- Wan Mingshan. Hydraulic Fracturing System Manual [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000: 98-104.
- [19] 王宏允. 压裂设计[M]. 北京: 石油工业出版社. 1987: 54-72.
- Wang Hongyun. Hydraulic Fracturing Principle [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1987: 54-72.
- [20] 姚永君, 董 明, 王 江, 等. 影响水平井产能因素分析[J]. 吐哈油气. 2007, 12(3): 259-261.
- Yao Yongjun, Dong Ming, Wang Jiang, et al. Analysis of the Factors Affecting the Productivity of Horizontal Well [J]. Tuha Oil and Gas, 2007, 12 (3): 259-261.