

柿庄区块钻完井工程对煤层气井产能的影响研究

贾宗文¹, 刘书杰¹, 耿亚楠¹, 张滨海¹, 于姣姣²

(1. 中海油研究总院 钻采研究院, 北京 100028; 2. 中海石油气电集团 技术研发中心, 北京 100028)

摘要:为了得到柿庄区块目标区块钻完井工程因素对煤层气产能的影响规律, 针对该区块 220 余口开发井的钻完井资料进行了统计分析, 研究了钻井液体系及储层保护情况、固井质量、井径扩大率及压裂液用量、砂比、压降、煤粉等影响因素, 通过对比不同类型产气井的钻完井资料及生产情况, 得出这些因素对煤层气产能的影响规律。研究表明: 钻井工程中的钻井液污染、固井质量差、井径扩大率超标等均会对煤层气排采产生不良影响; 压裂工程中, 煤层气产量与入井液量、砂比成正比关系, 与施工压降、煤粉产出量呈反比关系。针对不同影响因素, 结合分析结果对目标区块煤层气井的钻采工程提出了合理建议, 建议钻井工程中采用清洁钻井液体系, 如改性清水钻进、无固相盐水钻井液体系等, 可减少钻井液造成的储层伤害。

关键词: 钻完井工程; 压裂工程; 煤层气产能; 柿庄区块

中图分类号: TE37 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2017)12-0182-07

Study on well drilling and completion engineering affected to production of coalbed methane well in Shizhuang Block

JIA Zongwen¹, LIU Shujie¹, GENG Yanan¹, ZHANG Binhai¹, YU Jiaojiao²

(1. Drilling and Production Research Institute, CNOOC Research Institute, Beijing 100028, China;

2. Technology Research and Development Center, CNOOC Oil, Gas and Power Group, Beijing 100028, China)

Abstract: In order to have a influence law of the well drilling and completion engineering factors to coalbed methane production in Shizhuang Block, according to the well drilling and completion information of over 220 wells in the block, a statistic analysis was conducted and a study was conducted on the drilling fluid system and the reservoir protection condition, well cementation quality, well diameter enlargement rate and fracturing liquid volume, sand ratio, pressure drop rate, coal cutting and other influence factors. With the comparison on the well drilling and completion information and production condition of the different type gas production wells, those factors of the influence law to the coalbed methane production capacity were obtained. The study results showed that in the drilling engineering process, the drilling liquid pollution, poor well cementation quality, over well diameter enlargement rate and others all would cause a poor influence to the coalbed method drainage production. In the fracturing engineering process, the coalbed method production would be a direct proportion relation to the well liquid volume and sand rate and would be an inverse relation to the construction pressure drop and coal cutting production. According to the different influence factors, in combination with the analysis results, rational proposals were provided on the drilling and drainage engineering of the coalbed method well in the target block. In order to reduce the reservoir damages caused by the drilling liquid, a clean drilling liquid system, including the modified clean water liquid drilling, non-solid phase brine drilling liquid system and others were proposed.

Key words: well drilling and completion engineering; fracturing engineering; coalbed methane production capacity; Shizhuang Block

收稿日期: 2017-09-11; 责任编辑: 曾康生 DOI: 10.13199/j.cnki.est.2017.12.031

基金项目: 中国海洋石油有限公司综合科研资助项目(YXKY-2016-ZY-08)

作者简介: 贾宗文(1986—), 男, 山东肥城人, 工程师, 硕士。Tel: 010-84524093, E-mail: jjazw@cnooc.com.cn

引用格式: 贾宗文, 刘书杰, 耿亚楠, 等. 柿庄区块钻完井工程对煤层气井产能的影响研究[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(12): 182-188.

JIA Zongwen, LIU Shujie, GENG Yanan, et al. Study on well drilling and completion engineering affected to production of coalbed methane well in Shizhuang Block[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(12): 182-188.

0 引言

与常规砂岩储层相比,煤层气储层具有孔隙压力低、渗透性差、裂隙发育等特点,给煤层气井的钻井、增产等带来了各种各样的问题和施工工艺的复杂性;同时,煤储层孔隙压力低且孔隙和割理发育,极易受钻完井工程因素如钻完井液、固井工程、压裂工艺等的制约,直接影响煤层气井产能,因此,需选用最适合的钻完井、增产方法及工艺,才能保证煤层气的高效开发^[1-3]。

国内针对煤层气产能的研究主要集中在煤层地质理论研究、增产机理、排采制度等方面^[4-8],通过大量井的产能数据(或排采曲线)系统分析钻完井工程影响因素的研究较少。在目标区块煤层地质条件、增产措施、排采制度等基本一致的情况下,区块内有相当一部分井的产能差异大,部分井在排采后未能达到预期效果,甚至出现未有产能的现象,基于此,开展了影响煤层气产能的钻完井工程因素研究。

目前,针对目标区块钻完井工程的研究还比较少,主要原因在于对该区块煤层气钻井的认识不足,普遍认为煤层气埋深较浅,不存在技术难题。实际上正是由于认识不足导致煤层气钻井过程中往往容易出现诸如井壁失稳垮塌、钻井液及固井液污染储层等问题,最终造成建井周期延长,排采效率低下^[9]。因此,亟需针对柿庄区块开展相关研究工作,分析钻完井工程因素对煤层气产能的影响。根据柿庄区块 220 余口井的生产及工程资料进行统计,详细分析了钻井液体系、固井质量、井径扩大率、压裂施工入井液用量、砂比、压降及煤粉等因素对煤层气井产能的影响,为该区块煤层气井的钻完井工程提出优化建议,保障高效开发。

1 柿庄区块钻采工程概况

1.1 开发井型及排采现状

柿庄区块开发方式主要以直井、定向井压裂开发为主,占到 85% 以上,其余主要为 U 型井开发。根据对该区块排采井的统计,最高产气井日产气量约 7 500 m³/d。区块内平均单井产气量 300~400 m³/d,平均单井产水量约 4 m³/d(图 1)。区块内煤层气井普遍具有排采时间长、产气量低、排采未见产气等特点。

1.2 钻井液体系及储层保护现状

煤层气钻井过程中一般要求使用无固相、低伤害

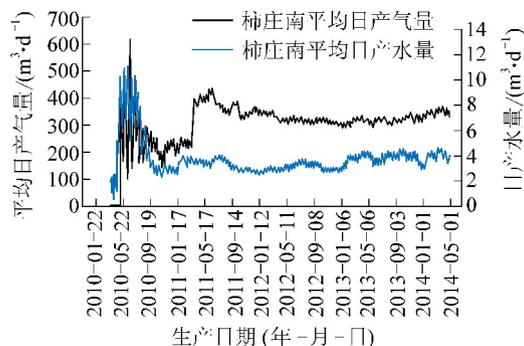


图 1 柿庄区块平均单井产气量及产水量情况

Fig. 1 Average gas and water production of single well in Shizhuang Block

钻井液体系,钻进过程欠平衡,但该区块水平井欠平衡钻进中井眼垮塌严重。因此,该区块水平井施工中为防止煤层段垮塌的复杂事故,采用了增强井壁稳定的钻井液体系,不可避免地对储层造成了伤害^[10]。

柿庄区块直井主要采用清水钻进,少数井采用了空气、坂土浆(表层段)及聚合物钻井液(防煤层坍塌)。水平井的水平段受井眼润滑、携岩、防塌等因素的制约,多采用聚合物钻井液;统计了 15 口 U 型水平井的煤层段钻井液使用情况,其中有 11 口井采用聚合物钻井液,有 3 口井采用了微泡钻井液,有 1 口井试验性地应用了无固相盐水钻井液。从水平井的应用效果看:无固相盐水钻井液良好的防塌、防漏功效,良好的抑制性和携带性,且费用低廉,经济效益较好,是煤层气水平井开发中的良好选择。

1.3 井身质量

井身质量评价主要包括固井质量和井径扩大率情况。目前,从交井材料看,该区块的固井质量基本都符合规范要求(行业标准:声幅值 $\leq 20\%$,合格;声幅值 $\leq 30\%$,基本合格),但也存在少数井部分井段固井质量不合格现象。井径扩大率方面,煤层段有 20%~35% 的井煤层段出现了井径扩大率超标(行标:全井段井径扩大率 $\leq 25\%$;煤层段约 $\leq 40\%$,合格)的问题,如图 2 所示。

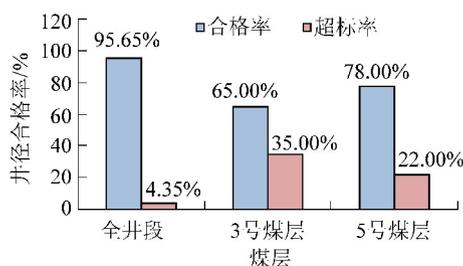


图 2 柿庄区块井径合格率情况

Fig. 2 Borehole qualification rate for wells in Shizhuang Block

2 钻完井工程影响因素分析

2.1 钻井工程因素分析

从钻井工程角度分析,目前对产能可能造成影响的主要因素有3个:①煤层段钻井液使用不当造成的储层污染;②不良的固井质量;③井径扩大率超标。

2.1.1 钻井液因素分析

煤层气井原则上选用清水、无固相钻井液体系,地面、地下设备条件允许的情况下,直井可采用气体(如空气、氮气等)循环介质,将钻井介质对煤层的伤害最小化^[11-12]。但由于煤层气井钻进过程中易发生煤层垮塌,在施工过程中要求煤层钻进时调整泥浆参数,不再要求必须清水钻进,部分直井、定向井采用低固相坂土浆或聚合物钻进;水平井由于煤层钻进尺寸大,防煤层垮塌要求高,基本都采用了聚合物钻井液。采用聚合物钻进的方式,势必会对煤层造成侵害,虽然钻后采取了酸化洗井方式进行破

胶,但有可能破胶不完善,或酸化洗井过程中酸液与地层矿物质产生化学反应,产生附加的储层伤害,影响煤层气井产能。

由于该区块钻井期间受到工农关系、天气、钻遇复杂情况的影响,工期普遍较长,导致施工期间,储层的浸泡时间长(尤其是水平井),加剧储层伤害。对柿庄区块8组U型水平井进行了统计分析,其中有7口水平井的储层段主要用了聚合物钻井液和微泡钻井液,虽然有效预防了井下复杂事故的发生,但对储层保护显然不利;1口井采用了无固相盐水钻井液体系。目前,这8组U型井只有两口井产气;产气井1(采用无固相盐水体系),产气量达到6 000 m³/d;产气井2,产气量为100 m³/d;其余各井长时间排采后,目前仍未产气。有部分井目前产水量非常低或水、气均不产出,典型井见图3;部分原因可能与储层伤害有关,储层阻塞,造成长时间排采后仍不产气或不产水。

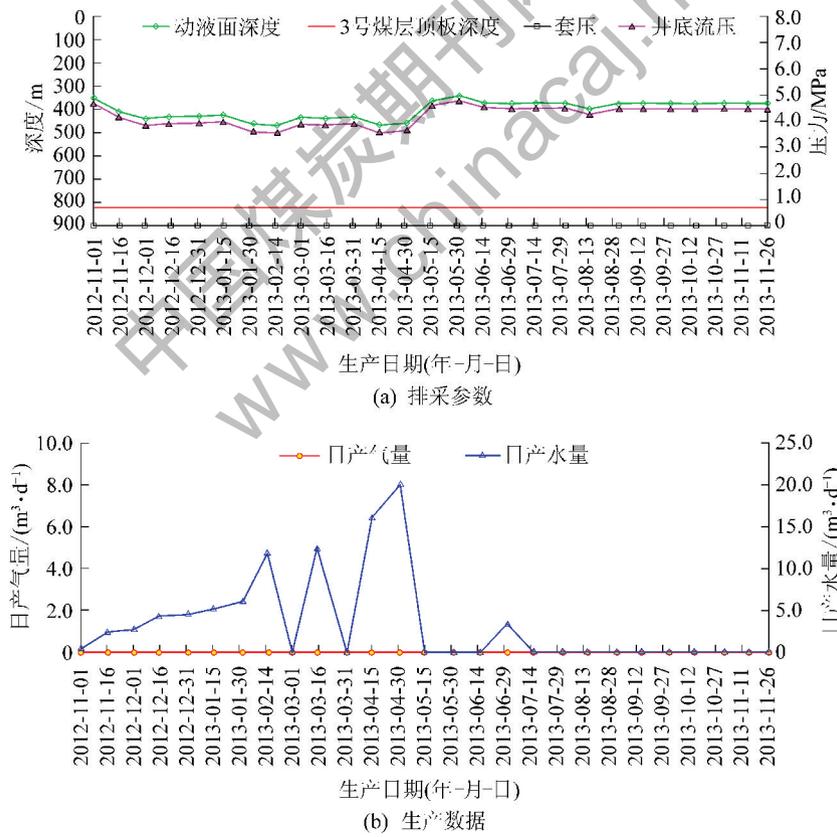


图3 钻井液污染影响的典型井排采曲线

Fig. 3 Typical drainage curves due to reservoir damage

2.1.2 固井工程影响分析

目标地区部分井固井过程中采用了密度为1.60~1.65 g/cm³的常规低密度水泥浆体系,少部

分井用到1.80 g/cm³,这可能造成2方面问题:①常规低密度水泥浆的含水量高,水泥浆的失水量较大,可能会造成储层侵害;②常规低密度水泥

浆的强度比较低,可能无法满足压裂强度的要求,低强度的水泥环对压裂增产效果显然是不利的,施工中很有可能造成水泥环破损,最终导致压裂井产水量过高或持续产水。另外,煤层气井的部分井段固井质量不合格,也会造成持续产水的可能性。

以某井为例(图4),该井全井段采用清水钻进,生产套管固井的水泥浆密度为 $1.59 \sim 1.61 \text{ g/cm}^3$,平均为 1.60 g/cm^3 ;该井固井质量基本合格,存在部分井段不合格现象。该井排采过程中出水严重,但井底流压却未见降低迹象,很大可能为固井质量原因造成。

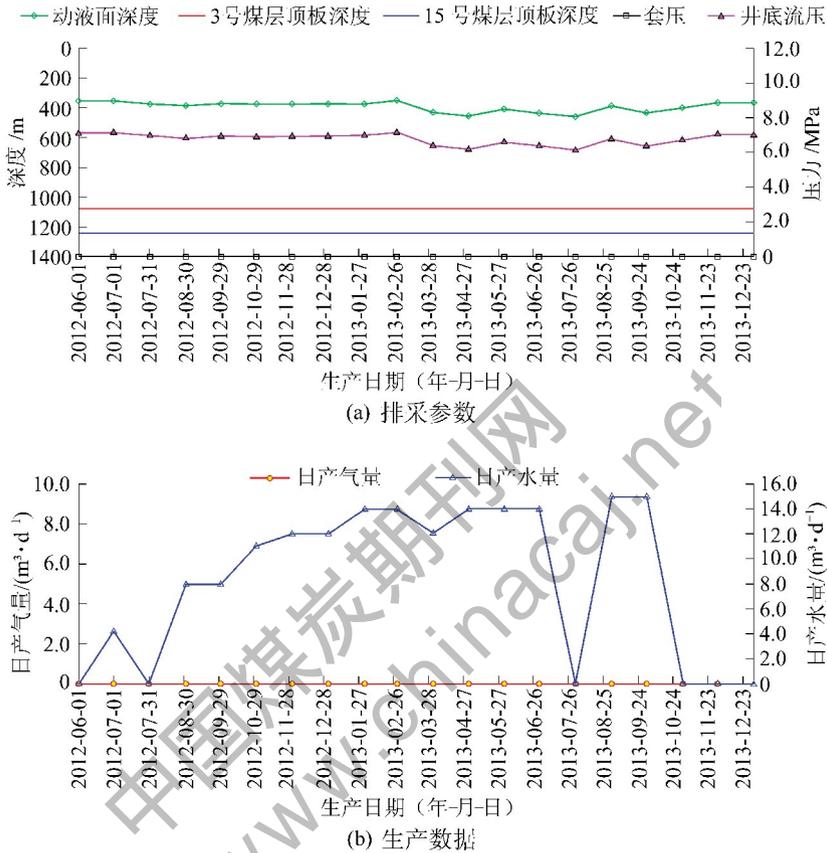


图4 固井质量影响的典型井排采曲线

Fig. 4 Typical drainage curves influenced by poor cementing quality

固井质量对煤层气井排采的影响如下:①固井质量优劣会直接影响煤层气井的储层封闭效果,封闭不好将极大地降低井的产气量,缩短井的服务年限,对煤层气开发造成极大浪费;②固井质量不好还会直接影响压裂效果,降低压裂刺激效果,造成储层塌陷,导致井无产能,甚至会刺穿上部含水层,给排采带来极大困难。

国内在降低水泥浆密度方面开展了许多研究,比如中联煤层气有限责任公司研究了中空玻璃微球水泥浆体系,在水泥浆中加入结构特殊、不可压缩的细小颗粒—中空玻璃微球,能有效地将密度降低至 1.10 g/cm^3 ,又可以有效防止气窜,同时可以保持抗压强度符合设计要求,但未得到广泛应用,需要在未来的开发过程中不断验证推广。中石油煤层气公司

在韩城区块开展了粉煤灰固井应用,成功地密度降至 1.40 g/cm^3 ,取得了良好的应用效果。国外从固井工艺方面研究了绕煤层固井技术,可以有效降低煤层伤害,该技术在国内外还处于试验研究阶段,需要深入研究。

2.1.3 井径扩大率影响分析

为研究井径扩大率对产能的影响,分别对该区块井型、排采时间等条件基本相同的井,进行了产气量与井径扩大率的关系的分析。从分析结果看,煤层井径扩大率对产气率有一定影响(图5)。对该区块100多口井的生产数据进行了统计分析,将这些井按煤层段井径扩大率(20%为界)进行了分类,结果表明煤层井径扩大率小于20%的井的日产量约为井径扩大率大于20%的井的2.5倍(表1);同时

对该区块煤层段井径扩大率超标的23口井进行了统计分析,得出:这23口井中,只有一口井排采产气,产气量较低,为200 m³/d,其余井均未产气,部分井水气均未产,也可推断井径扩大率超标对煤层气井排采产生了不利影响。

表1 不同煤层井径扩大率对应的平均单井产气量

Table 1 Average single well production with different borehole enlargement rates

| 对比指标 | 对比分级 | 井数/口 | 煤层扩大率/% | 平均产量/(m ³ ·d) ⁻¹ |
|-------|---------|------|---------|--|
| 井径扩大率 | 扩大率≥20% | 41 | 32.60 | 205.36 |
| 扩大率 | 扩大率<20% | 83 | 9.56 | 478.98 |

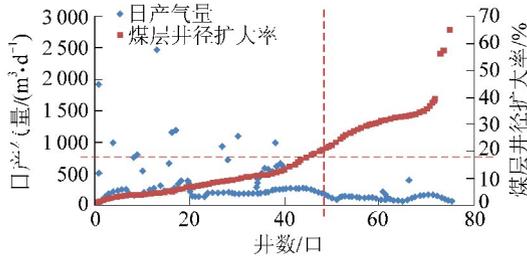


图5 井径扩大率与单井产气量关系

Fig. 5 Relationship between CBM production and borehole enlargement rate

煤层段井径扩大率过大会造成环空水泥环较厚,导致射孔质量低,有效孔眼少,或形成的孔眼孔径小、毛刺多,产生较大的孔眼摩阻。根据射孔炮眼摩阻公式为

$$P_{pf} = \frac{3.57Q^2\rho}{n^2d^4} \times 10^6 \quad (1)$$

式中: P_{pf} 为炮眼摩阻, 10^{-1} MPa; Q 为注入排量, m³/min; ρ 为压裂液密度, kg/m³; n 为有效射孔炮眼数量; d 为炮眼平均直径。

根据式(1),在压裂液密度、注入排量等不变的情况下,炮眼摩阻与有效射孔炮眼数、平均炮眼直径成反比关系。射孔质量的好坏直接影响炮眼摩阻,摩阻高施工净压力(泵注压力)也大,压裂效果差,最终导致煤层气井产能低。

2.2 完井压裂工程因素影响分析

柿庄区块主要采取增产方式为直井压裂及水平井U型井开发。良好的增产效果能有效改善煤储层的流动通道,提高煤储层的导流能力,有利于煤储层的排水降压;不良的增产效果会造成渗流通道与不明含水层的沟通,导致产水增加,阻断通道,影响产气^[13-17]。

2.2.1 入井液量影响分析

对柿庄区块近100口典型的压裂井进行了统计

分析;根据井的产量情况对不同压裂入井液量进行了对比,分析了产气量与入井前置液量之间的关系(图6)。

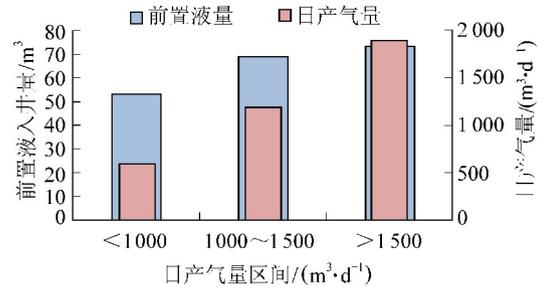


图6 日产气量与压裂前置液量之间关系

Fig. 6 Relationship between gas production and quantity of prepared fluid

前置液量反映了煤层滤失与压裂液造缝能力。根据图6所示,前置液量越大压裂效果越好,说明前置液用量越大,支撑裂缝越长,对产能帮助越大。

2.2.2 砂比影响分析

根据压裂施工中各个阶段用砂的比例不同,按照产气量分3种情况,各取平均值进行了对比分析,如图7所示。

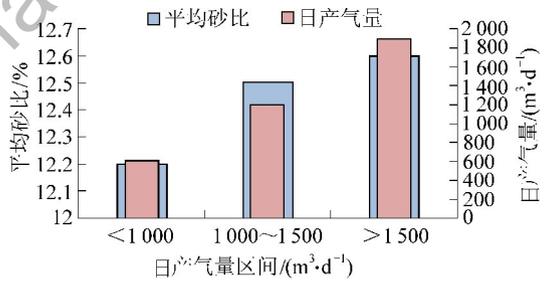


图7 平均单井日产气量与砂比关系

Fig. 7 Relationship between gas production and sand ratio

由图7可知,平均单产气量随砂比增大呈现增大的趋势;砂比越大,加砂量越大,有利于增加压裂裂缝的缝长和缝宽,更大范围地释放储层应力,拓宽降压范围,提高产气量;砂比低或加砂量不足对于产气显然是不利的。

2.2.3 压降影响分析

根据压裂施工中各个区块的压降不同(这里压降是指在压裂仪表车上记录的从压裂施工停泵开始到30 min的压力降落值),按照产气量≤1000 m³/d、1000~1500 m³/d、≥1500 m³/d三种情况,各取其平均值进行对比分析,如图8所示。

压裂施工压降速率是煤储层渗透性的综合反映^[18],根据分析结果,产量与压降速率成反比关系,压降速率越低,产气量越高。压降速率直接影响压

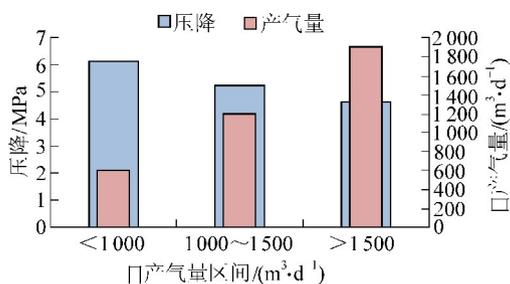


图8 平均单井产气量与压降关系

Fig. 8 Relationship between gas production and pressure drop

降传递的快慢,压降传递过快,会导致煤基岩附近压力的急剧下降,煤岩发生应力敏感,渗透率急剧下降,导致裂缝、割理闭合,严重影响煤层压力波的传播及气体解吸,从而影响产气。

2.2.4 煤粉影响分析

压裂施工过程中,由于压裂液的冲蚀作用及与煤岩表面的剪切磨损作用,会产生大量的煤粉及煤碎屑,在压裂液的冲刷作用下聚集起来,堵塞堆积在压裂裂缝的前缘,导致裂缝内压力瞬间增加,迫使裂缝“改道”,改变裂缝的延伸方向,形成弯曲裂缝或多裂缝网络,甚至阻碍裂缝的产生;另外,裂缝堵塞还会引起裂缝静压力(或地面泵压)的增加^[19-20];这些都会导致煤层气排采效果差。以该区块某井压裂为例,该井生产曲线如图9所示,该井压裂过程中排量稳定,并逐渐增大压裂液砂比。该井清水钻进,固井质量良好,且采用了清洁压裂液体系,该井压裂结束后数天才投产排采,排采后产气及产水均处在较低的水平,很大可能是压裂过程产生了煤粉沉积现象,堵塞裂缝,影响产能。

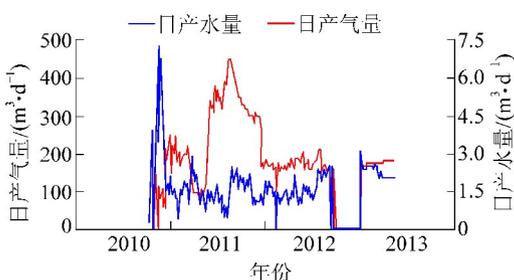


图9 煤粉影响的压裂井产量曲线

Fig. 9 CBM production curves caused by coal powder

3 结论及建议

1) 钻井液对储层污染会对煤层气产能造成不利影响,建议钻井工程中采用清洁钻井液体系(如改性清水钻进、无固相盐水钻井液体系等),减少钻

井液造成的储层伤害。

2) 固井质量差严重影响压裂增产效果,造成产水量过高或持续产水,排采时间长,产气困难;建议固井过程中严格执行标准/规范要求,对于固井质量差的井应及时采取补救措施(如射孔挤水泥),保障固井质量合格。

3) 煤层井径扩大率过大造成固井水泥环较厚,影响射孔质量,为压裂施工带来困难,影响裂缝效果,从而影响煤层气产能;建议对煤层井径扩大率较大的井采用大孔径、深穿透的射孔弹,保障射孔质量。

4) 煤层气产能与压裂前置液量、砂比成正比关系,与压降速率成反比关系,建议施工中适当提高前置液用量及砂比,适当降低压降速率。

5) 煤粉的产生会对压裂效果带来不利影响;建议优选前置液体系,可加入分选性好的短切活性纤维,在地层水作用下形成网状结构,阻隔煤粉进入裂缝,保障导流能力。

参考文献 (References):

- [1] 韩贤军,杨焦生.沁水盆地南部煤层气产能特征及影响因素分析[J].科学技术与工程,2013,33(13):9940-9944.
HAN Xianjun, YANG Jiaosheng. Coalbed methane deliverability characteristic and its controlling factors in southern Qinshui Basin [J]. Science Technology and Engineering, 2013, 33(13): 9940-9944.
- [2] 孟庆春,左银卿,魏强,等.沁水煤层气田樊庄区块产能影响因素分析[J].中国煤层气,2010,7(6):10-14.
MENG Qingchun, ZUO Yinqing, WEI Qiang, et al. Analysis of factors influencing production capacity of Fanzhuang Block in Qingshui CBM Field [J]. China Coalbed Methane, 2010, 7(6): 10-14.
- [3] 王宁,周芊芊,陈贞龙,等.和顺区块煤层气井排采影响因素分析[J].中国煤层气,2012,9(5):9-11.
WANG Ning, ZHOU Qianqian, CHEN Zhenlong, et al. Analysis of factors influencing recovery of CBM wells in Heshun Block [J]. China Coalbed Methane, 2012, 9(5): 9-11.
- [4] 吕玉民,柳迎红,曲英杰,等.煤层气井组产能差异的影响因素评价[J].煤炭科学技术,2015,43(12):80-82.
LYU Yumin, LIU Yinghong, QU Yingjie, et al. Evaluation on factors to influence production capacity differences of coalbed methane well group [J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(12): 80-82.
- [5] 陈龙伟,左银卿,田炜,等.樊庄区块煤层气水平井产能模式划分及分类评价[J].煤炭科学技术,2017,45(2):109-112.
CHEN Longwei, ZUO Yinqing, TIAN Wei, et al. Division evaluation and production mode classification of coalbed methane horizontal well in Fanzhuang Block [J]. Coal Science and Technology, 2017,

- 45(2): 109-112.
- [6] 张兵,葛岩,谢英刚,等.柳林区块煤层气井生产动态及其影响因素分析[J].煤炭科学技术,2015,43(2):132-135.
ZHANG Bing, GE Yan, XIE Yinggang, *et al.* Analysis on production performances and influence factors of coalbed methane wells in Lulin Block[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(2): 132-135.
- [7] 王丹,赵峰华,姚晓莉,等.临汾区块煤层气产能地质影响因素分析[J].特种油气藏,2016,23(2):2-3.
WANG Dan, ZHAO Fenghua, YAO Xiaoli, *et al.* Analysis of geological factors on CBM productivity in block Linfen[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2016, 23(2): 2-3.
- [8] 杨克兵,严德天,马凤芹,等.沁水盆地南部煤系地层沉积演化及其对煤层气产能的影响分析[J].天然气勘探与开发,2013,36(4):23-26.
YANG Kebin, YAN Detian, MA Fengqin, *et al.* Analysis of the southern Qinshui Basin coal measures strata sedimentary evolution and its influence on the coalbed methane productivity[J]. Natural Gas Exploration and Development, 2013, 36(4): 23-26.
- [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):194-197.
TAO Shu, TANG Dazhe, 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): 194-197.
- [10] 王军鹏.沁水盆地南部煤层气储层敏感性评价与保护技术研究[J].中国煤层气,2014,11(1):25-29.
WANG Junpeng. Research on sensitivity evaluation and protection technology of coalbed methane reservoir in southern Qinshui Basin[J]. China Coalbed Methane, 2014, 11(1): 25-29.
- [11] 陈飞,池晓明,王祖文,等.煤岩储层保护技术研究进展[J].中国煤层气,2013,10(1):26-29.
CHEN Fei, CHI Xiaoming, WANG Zuwen, *et al.* The research progress of coal reservoir protection techniques[J]. China Coalbed Methane, 2013, 10(1): 26-29.
- [12] 张振华,孙晗森,乔伟刚.煤层气储层特征及钻井液选择[J].中国煤层气,2011,8(2):24-27.
ZHANG Zhenhua, SUN Hansen, QIAO Weigang. Characteristics of CBM reservoir and drilling fluid technology[J]. China Coalbed Methane, 2011, 8(2): 24-27.
- [13] 陈振宏,王一兵,杨焦生,等.影响煤层气井产量的关键因素分析:以沁水盆地南部樊庄区块为例[J].石油学报,2009,30(3):409-412.
CHEN Zhenhong, WANG Yibing, YANG Jiaosheng, *et al.* Influencing factors on coal-bed methane production of single well: A case of Fanzhuang Block in the south part of Qinshui Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(3): 409-412.
- [14] 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.* EProudction measures for CBM gas wells and their practices in the Fanzhuang Block, southern Qinshui Basin[J]. Nature Gas Industry, 2011, 31(11): 26-29.
- [15] 杨秀春,接铭训,王国强.潘河煤层气试验区产能影响因素分析[J].天然气工业,2008,28(3):99-101.
YANG Xiuchun, JIE Mingxun, WANG Guojiang. Influencing factors on CBM productivity in Panhe trial production area[J]. Nature Gas Industry, 2008, 28(3): 99-101.
- [16] 计勇,郭大立,赵金洲,等.影响煤层气井压后产量的因素分析:以韩城区块为例[J].煤田地质与勘探,2012,40(1):10-13.
JI Yong, GUO Dali, ZHAO Jinzhou, *et al.* Factors affecting the production of coalbed methane well after fracturing: a case study of Hancheng block[J]. Coal Geology & Exploration, 2012, 40(1): 10-13.
- [17] 杜志敏,付玉,伍勇.低渗透煤层气产能影响因素评价[J].石油与天然气地质,2007,28(4):516-519.
DU Zhimin, FU Yu, WU Yong. Evaluation of factors affecting productivity of low-permeability coalbed methane reservoirs[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(4): 516-519.
- [18] 樊彬,秦义,崔金榜,等.压降速度对煤层气井产量的影响分析[J].中国煤层气,2010,7(6):20-23.
FAN Bin, QIN Yi, CUI Jinbang, *et al.* Analysis of the influence of pressure drop velocity on CBM well production[J]. China Coalbed Methane, 2010, 7(6): 20-23.
- [19] 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 power to high rank coalbed methane production[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(2): 229-232.
- [20] 曹代勇,袁远,魏迎春,等.煤粉的成因机制-产出位置综合分类研究[J].中国煤炭地质,2012,24(1):10-12.
CAO Daiyuan, YUAN Yuan, WEI Yingchun, *et al.* Comprehensive classification study of coal fines genetic mechanism and origin site[J]. Coal Geology of China, 2012, 24(1): 10-12.