

煤层气单分支水平井氮气泡沫解堵试验及效果分析

范志辉

中联煤层气有限责任公司

DOI:10.12238/gmsm.v5i3.1371

[摘要] 随着国家经济社会的高速发展以及能源结构的转型,煤层气作为清洁能源在能源绿色低碳转型和供应保障中发挥了重要作用。但是在煤层气产业发展的过程中,煤粉制约煤层气井产能的问题越来越受到人们的重视与关注。研究区块 15#煤属于沁水盆地东南缘高阶煤储层,应力较为敏感,煤粉产出严重,卡泵、煤泥堵死筛管频繁出现,影响生产时效的同时,给储层带来不可逆伤害。为充分释放研究区高产煤粉井的产能,实现煤层气井高效稳定连续排采,针对性的开展了氮气泡沫解堵增产措施试验,结果表明:氮气泡沫解堵措施增产效果明显,但目前情况并不适用与所有井;氮气泡沫解堵措施配合其他生产措施会有更好的增产效果;排采过程要以“持续、稳定”为基本指引,才能最大程度的释放产能。

[关键词] 煤层气; 增产措施; 单分支水平井; 氮气泡沫解堵

中图分类号: TF702+7 **文献标识码:** A

Test and Effect Analysis of Nitrogen Foam Plugging Removal in Single Lateral Horizontal Well of Coalbed Methane

Zhihui Fan

China United Coalbed Methane Corporation Ltd

[Abstract] With the rapid development of the national economy and society and the transformation of the energy structure, coalbed methane, as clean energy, has played an important role in the green and low-carbon transformation of energy and supply guarantee. However, in the process of the development of the coalbed methane industry, the problem of pulverized coal restricting the production capacity of coalbed methane wells has attracted more and more attention. The 15# coal in the research block belongs to the high-rank coal reservoir in the southeastern margin of the Qinshui Basin, which is relatively sensitive to stress and produces serious pulverized coal. Pump stuck and coal slime blocking screen pipes frequently occurred, which affected the production time and brought irreversible damage to the reservoir. In order to fully release the production capacity of high-yield pulverized coal wells in the study area and realize efficient, stable and continuous drainage and production of coalbed methane wells, tests of nitrogen foam plugging removal and production enhancement measures were carried out in a targeted manner. The results show that the nitrogen foam plugging removal measures have obvious effect of increasing production, but the current situation is not applicable to all wells; the process of drainage and production of coalbed methane must be guided by "continuous and stable", to release production capacity to the greatest extent.

[Key words] coalbed methane; production increase measures; single lateral horizontal well; nitrogen foam plugging removal

引言

针对研究区现状,煤粉对煤层气生产的影响位置主要在井筒和储层,井筒:煤粉颗粒堵塞筛管或者在水平段沉积造成气井不产水问题;煤粉附着螺杆泵定子,造成卡泵,停机修井又会加重水平段煤粉沉积,形成恶性循环。储层:煤粉在煤储层孔隙中容易造成堵塞,降低储层渗透率,伤害储层,从而影响产

能^[1-4]。研究区绝大多数的15#煤井都深受煤粉影响,因此需要对其进行储层改造,经过前期调研,国内大量学者对氮气的吸附理论以及作用机理做了深入的研究^[5-6],并且氮气越来越多的利于储层改造中,包括注入氮气驱替煤层气^[7]、煤层气井氮气焖压^[8]、煤层气氮气泡沫压裂^[9]、注氮驱替改造^[10]等,表明利用氮气对煤储层进行改造、提高煤层气采收率在技术上是可行的。因

此开展煤层气单分支水平井氮气泡沫解堵试验进行研究,以期降低煤粉对15#煤层气井的影响,实现煤层气高效开发的目的。

1 选井原则

为选取合适的氮解脱堵煤层气井,根据地质条件以及前期排采数据,确定了以下原则:

(1)地质条件较好,且井位置构造较为简单,无断层。(2)在钻井过程中未出现过漏失以及复杂事故现象,尽量保证井轨迹无漏点。(3)煤层含气量较大,前期排采过程中出现过高产,后期由于煤粉影响导致低产,且常规增产措施无法恢复。(4)根据氮气泡沫解堵设计情况,要酌情考虑井场大小是否能容纳下氮气泡沫解堵设备。

该井位于沁水盆地东南缘单斜构造部署的一支单分支水平井,所处区域构造为一西倾的单斜构造,地层平缓,断层不发育。该井影响区域中15#煤厚度中等,水平井轨迹区域范围内厚3-3.7m,埋深330-658m,平均含气量为19.52m³/t,15#煤的顶板为灰岩,底板为泥岩,具有相对较好的煤层气保存条件。15#煤层孔隙度8.64-8.75%,平均8.70%,渗透率0.08-5.71mD,平均1.85mD。该井在钻井过程中未发现有漏失等井况。观察该井生产周期的数据(图2)可以发现,前期最高产量19219方/天,但由于该井排采水中煤粉含量较高,先后由于煤粉造成共计5次卡泵故障,不产液,甚至最严重的一次直接由于卡泵造成了抽油杆断脱,在频繁的检泵作业过程中,气量也逐渐下贱,给生产造成了严重损失。因此该井是具有较高的产气能力,且由于煤粉原因造成了低产,并且完全满足了其他的选井原则,故选取该井作为氮解脱堵的试验井。

2 氮气泡沫解堵增产措施

2.1 氮气泡沫解堵技术原理

氮解脱堵主要是通过将液氮(同时伴随有泡沫液)以大于向储层滤失的速度向井口高压注入,将堵塞在水平段筛管的煤粉冲开,在高压的作用下,氮气突破煤储层内孔裂隙的堵塞点进入远端,扰动地层的过程中,也会诱导沟通煤储层的孔裂隙结构,提高储层渗透率。注入完成后,快速放喷储层中氮气、储层水、泡沫液以及的混合液,混合液会携带煤储层孔裂隙中的松动煤粉以及井眼中堵塞部位的煤粉携带至地面,实现解堵对井眼的清洗。

2.2 氮气泡沫解堵技术优势

(1)氮气属于惰性气体,不易与煤储层中的其他物质发生化学反应,可以避免对地层的损坏。(2)由于氮气扩散作用、气体扩散作用引起的甲烷分压降低以及有气体扩散引起的氮气分压升高,实现了弱吸附性的氮气对煤中甲烷的置换效果^[5]。(3)泡沫液具有较强的携煤粉能力,并且由于泡沫密度小,可以疏通更细微的裂缝。(4)氮气返排过程中带疏通气水通道,利于压降漏斗快速向地层深处传播,促进甲烷解吸并产出。

2.3 设计思路以及参数

氮气泡沫解堵技术按照井底流压变化分为三步(图1):(1)井底流压上升阶段,在该阶段高压注入液氮混合物,主要目的是

疏通水平段筛管以及近井筒地带的堵塞;(2)井底流压稳定阶段,该阶段继续持续注入液氮混合物,保持井底流压相对稳定,其作用是为了让氮气向远处扩散,疏通远处原有通道,沟通储层割理裂隙,扩大原有压降漏斗;(3)井底流压下降阶段,也就是我们所说的放喷阶段,该阶段井口不再施压,氮气混合物携带储层和井筒中的煤粉沿着井筒稳定反排至地面。

根据前期资料,该井15#煤原始储层压力为2.67MPa,破裂压力9.94MPa,闭合压力8.72MPa,本着注氮压力要大于储层压力小于破裂压力的原则,设计注氮后井底压力为9.6MPa。储层温度25℃-26℃,设计注入液氮温度不低于15℃。根据实际设备情况以及现场限制结合作业需求,确定了作业物资量:氮气50000标方,清水25标方,起泡剂300公斤,助排剂30公斤、消泡剂25公斤(表1),氮气注入速度不低于650m³/min,解堵液注入速度为120-150L/min,起泡剂注入速度300L/min,防喷速度控制在24000-30000m³/h。

表1 氮气泡沫解堵准备材料

成分	用量
氮气	50000m ³
清水	25m ³
起泡剂	300 公斤
助排剂	30 公斤
消泡剂	25 公斤

2.4 氮气泡沫解堵设备

按氮气泡沫解堵措施设计要求,所需液氮泵车两辆,液氮罐车四辆,泵车一辆,水罐车两辆,储液罐两台,修井机一台,具体参数见表2。整体占地面积相对较大,因此需要在选井就考虑到占地问题。

表2 氮气泡沫解堵所需设备

序号	设备设施名称	型号规格	单位	数量
1	液氮泵车	1000K 型	辆	2
2	液氮罐车	20m ³	辆	4
3	泵车	350 型	辆	1
4	水罐车	25m ³	辆	2
5	储液罐	≥20m ³	台	1
6	储液罐	≥50m ³	台	1
7	修井机	30T	台	1

3 应用效果分析

在氮解脱堵试验过程中,严格按照设计要求进行施工,现场实测记录的井底流压最高9.654MPa(下图),未超过破裂压力。



图1 氮气解堵过程中井底流压变化曲线

该试验井时一口单分支水平井,所处位置地质条件较好,于2019年5月3日投产运行,经过57天的单相水排采阶段,开始见套,然后气量稳步上升(图2),7个月后达到最高产气量19219方/天,随后稳产9个月后,开始频繁出现停机现象,仅由于煤粉堵塞造成的停机就有5次之多,导致地层压力反复被扰动,产生大量煤粉并沉积堵塞气水通道以及井筒排采设备,之后气量开始下降,最终稳定在5000-7000方/天,气量直接腰斩。2022年初,对该井进行氮气泡沫解堵增产措施,放喷出煤糊15方,气量持续回升,且甲烷气体浓度超过90%,目前已经由原来5000方/天,上升至13000方/天,仍没有恢复到之前产量,还具有一定的上升空间,但增产效果十分显著。

从氮气解堵之后的生产曲线(图2)可以看出,虽然气量仍然处于回升阶段,但产水量持续下降,几乎要与之前卡泵前的产水量持平,并且从现场实际的产水情况来看,随着时间的推移,采出水中的煤粉含量依然较高,后期依然有很大的卡泵风险,煤粉的产出是一个持续的过程,氮气解堵并不能从根本上解决煤粉产出问题,只能暂时性的缓解储层内煤粉的堵塞情况,因此,之后排采的过程中仍需要避免地层扰动,并配合回注水系统进行循环洗井,尽量减小煤粉引起井筒内排采设备故障的风险。

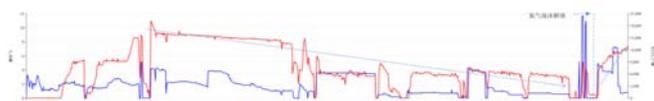


图2 试验井排采数据曲线

4 结语

(1) 氮气泡沫解堵确实能够疏通井底的气水通道,短期内达到提高产量的目的,且效果显著。煤粉产出是一个长期持续的过程,解堵完成后依然存在堵塞的风险,氮气解堵只能作为一种常规的增产措施,但经济效益会限制氮气泡沫解堵的实用性,氮气泡沫解堵更适合于中高产井的增产,低产井的实用性只能通过后期氮气泡沫解堵成本降低来提高。

(2) 试验井前期产量降低的原因主要是由于频繁的停泵检修作业导致地层波动,产生的煤粉堵塞气水通道,致使该井的产

能无法完全释放,因此在排采过程中要本着“持续、稳定”的生产原则,尽量避免有可能造成停泵的排采措施。

(3) 单一的氮气泡沫解堵增产措施效果并不能长久持续,后期依然需要其他的生产制度调整来配合,包括但不限于回注水洗井等不会造成较大地层波动的措施制度。

(4) 煤粉的产出以及治理目前依然是煤层气行业不可避免的一大难点,因此,开展煤层气开发中煤粉问题的研究是煤层气行业亟需要解决的问题之一。

[参考文献]

[1] 曹代勇,姚征,李小明,等.单相流驱替物理模拟实验的煤粉产出规律研究[J].煤炭学报,2013,38(04):624-628.

[2] 张芬娜,蔡耀光,徐春成,等.煤粉对煤层气井产气通道的影响分析[J].中国矿业大学学报,2013,42(03):428-435.

[3] 刘岩,苏雪峰,张遂安.煤粉对支撑裂缝导流能力的影响特征及其防控[J].煤炭学报,2017,42(03):687-693.

[4] 胡胜勇,郝勇鑫,陈云波,等.煤粉运移与沉积对支撑裂缝渗透率动态影响规律[J].煤炭学报,2021,46(04):1288-1296.

[5] 唐书恒,汤达祯,杨起.二元气体等温吸附实验及其对煤层甲烷开发的意义[J].地球科学,2004,02:219-223.

[6] 崔永君,张群,张泓,等.不同煤级煤对CH₄、N₂和CO₂单组分气体的吸附[J].天然气工业,2005,01:61-65+211.

[7] 李凤龙.弱吸附性氮气对煤中甲烷的置换效应[D].河南理工大学,2015.

[8] 罗培培.N₂闷压增透实验研究[D].中国矿业大学,2014.

[9] 武志学,郭萍,侯光东,等.氮气泡沫压裂液技术在大宁-吉县地区煤层气井的应用[J].内蒙古石油化工,2012,38(12):119-121.

[10] 袁延耿,刘明仁,李文强,等.煤层气井注氮驱替增产改造技术[J].中国煤层气,2021,18(02):26-29.

作者简介:

范志辉(1994--),男,汉族,山西省吕梁市人,工学硕士研究生,助理工程师,研究方向:煤层气开发。