

页岩气储层多脉冲压裂复合工艺研究

曹汉旭（大庆钻探工程公司井下作业工程公司，吉林 松原 138000）

摘要：页岩气是新兴的能源。它不仅是常规天然气的潜在替代能源，而且还是清洁环保的能源。我国页岩气储量丰富，由于我国页岩气储层地表环境的复杂性和地质特征，其开发过程和技术仍处于试验和探索阶段。目前，基于水力压裂的页岩气储层改造技术无法达到理想的生产效果。可以看出，页岩气开发新技术的探索和研究迫在眉睫。为此，本文主要介绍了页岩气目前存在的技术问题，储层和渗透空间的特征，形成机理，并对页岩气储层的多脉冲压裂复合技术模型进行了研究。

关键词：页岩气；多脉冲复合压裂；工艺研究

由于页岩气储层的低孔隙度和极低的渗透率，储集空间中的气体主要以基质吸附气体和自由气体的形式存在于缝隙和孔隙中。页岩气的生产与储层中微裂缝的发生密不可分。压碎起着两个作用：分别是通过和储存，是页岩气进入井的重要方式。由于页岩气提取的主要技术是压裂技术，因此其目的是将裂缝转变为网状裂缝系统并提高电导率。但是，水力压裂仅在纵向方向上伸展，其作用机理受到原地应力的约束，因此很少形成网状压裂。因此，考虑将复合多脉冲破碎法用于储层的复合破碎。在页岩气储层中进行第一次多脉冲压裂之后，在井周围区域可能会发生不受地面应力控制的多次随机压裂，从而导致井壁附近的应力集中，并开始减少或消失。

1 储藏和渗透空间的特征及形成机理

缝隙和基质孔隙是页岩气的主要储存空间。基质的孔包括微裂纹，有机孔，残留的初级孔和由粘土矿物和不稳定矿物（例如长石和方解石）的溶解产生的溶解孔。残留的初级孔隙：大多数孔隙散布在片状黏土的粉质颗粒之间。随着埋藏深度的增加，孔的数量急剧减少。这类似于传统储层的孔隙条件。有机孔：有机孔的直径通常为 $0.01-1\mu\text{m}$ 。经过研究，在页岩油气的形成和演化过程中，有机物含量为 7%。当消耗了 35% 的有机碳时，页岩的孔隙度增加了 4.9%。

1.1 微裂缝

在大多数情况下，页岩气藏的裂缝以微裂缝的形式出现，这对页岩气的生产能力有重大影响。同时，页岩气的产生也归因于此。它变得特别复杂。优点是：微裂缝的发展不仅提供了更多的储藏和渗透空间，增加了页岩气的游离量，而且还有利于吸附天然气的解吸，这是页岩运动和发展的通道。缺点是过度发展的微破坏会导致大型断层，使页岩气的储存更加困难。

1.2 次生溶解孔隙

次生孔隙是由有机矿物脱羧并使页岩气储层中的碳酸盐矿物强烈溶解后产生的酸性水形成的。研究确定四川东部志留系龙马溪组的深色泥页岩时，我们发现存在溶解的孔隙。次生溶解孔的直径通常为 $0.01-0.05\text{mm}$ ，有些为 $0.05-0.60\text{mm}$ ，连通孔隙度最低。该值仅为 0.82%，最高为 32.41%，通常为 16%。最可能形成高孔隙段的碳酸盐含量在 10-30% 之间。调查后，可以看到页岩中颗粒的溶解。在微纳米级电子显微镜下对腐蚀的孔进行分析表明，孔径

通常在 $15-20\mu\text{m}$ 的范围内，并且有不规则的孔边缘。

页岩对天然气的吸附是在物理吸附和化学吸附的共同作用下实现的，但这两个优点表明了储层状态和页岩气分子之间的差异。起初，吸附速率非常快，但逐渐降低，但是由于表面效应，气体分子更容易从页岩颗粒中吸附和解吸，并进入自由相和溶解相。

2 我国发展页岩气的技术难题

不同盆地的页岩气含量标准不统一。当前估计的资源储备数据仅供参考，应进一步调查和确定。断裂，岩浆活动，褶皱活动等构造活动十分激烈，多次构造运动后的地质条件极为复杂，给后续的勘探和开采带来很大困难。需要进一步研究，以优化优势区，尤其是试点示范区。

水库改造技术有待加强。许多技术，例如地球物理勘探和水力压裂技术，不能满足页岩气提取的要求。特别是，破碎工具，设备和技术仍与国外有很大不同。差距很大的“油井工厂”型 3D 压裂技术需要继续探索和详细分析，以创建中国式水平水力压裂技术系列。

3 破碎技术

油层破碎技术是有效开发页岩气的关键，因为页岩层的多孔性和渗透性非常差。当前，页岩气储层开发技术尚未普及，主要集中在美国和加拿大，特别是在美国。经过几十年的发展，北美地区主要开发了重复的清洁水，泡沫和水力破碎技术。页岩气开采技术。通过对北美页岩气藏地表条件的分析和主要开发技术的研究与研究，可以不断加快日本页岩气开采技术的发展进程，努力在日本实现商业开发。

3.1 LPG 破碎技术

一种特殊类型的 LPG（液化石油气）破碎介质，其主要成分为丙烷（ C_3H_8 ），其中含有少量的丙烯，乙烷，丁烷和化学添加剂。大多数添加剂是通过磷酸酯和硫酸铝的化学反应形成的增稠剂。由于增稠剂的碳链长度与成形液的碳链长度相同，因此可以控制增稠剂的浓度以获得更令人满意的压力。

LPG 压裂技术的特点：LPG 压裂在操作过程中基本上不需要水。如果 LPG 压裂不与水接触，则与水基压裂液有关的盐敏感性，水敏感性，湿润逆转和其他储层破坏问题就足够了。同时，在破碎和重整之后形成的有效破碎面积变大，回流变得更快和更彻底，回收率得到改善，并且还具有环境效益。该技术已被广泛尝试并应用于北美页岩储

层的开发,但在中国却是史无前例的,其优势(显著的节水,环境保护等)可改善天然气的生产和建设。

3.2 CO₂ 泡沫破碎技术

CO₂ 泡沫破碎技术以 CO₂ 气液两相泡沫流为载体,可优化泡沫质量和破碎液配方,减少进入井内的流体量并损坏储层,从而降低了可能性。达到增加产量的目的。CO₂ 泡沫破碎机是将 CO₂, 发泡剂,增稠剂和其他添加剂与水按一定比例混合而成的。作为一系列实验研究和应用的结果,当今的家用 CO₂ 泡沫破碎机在酸性条件下实现了植物胶粘剂的交联,但是植物胶粘剂会产生更多的残留物,而单一的交联剂会对储层造成很大的破坏。

3.3 重复破碎技术

重复压碎是重新压碎的手段,可以继续压碎先前压碎的矿井。通过重复压碎技术形成的压碎可以穿透井周围的污染区域,并打开井重新建立井与储层之间的渗透通道,从而形成更高的导通率。因此,如果油气井使用重复压裂技术,生产能力将恢复到以前的水平或更高,采收率将再次提高。如果页岩气井的初始水力压裂效果已经很充分,或者存在诸如对现有支撑剂的损坏或质量差以及产量急剧下降的问题,那么可以重复使用液压油。

3.4 清洁水力压裂技术

清洁水压裂技术使用包含某些减阻剂的清洁水作为压裂液,表明该技术非常清洁。顾名思义,这种破碎液的主要成分是水,几乎没有粘土稳定剂,减阻剂和表面活性剂。水的低流体黏度有助于形成复杂的裂缝网络系统,并且无

需清洁。此外,将支撑剂转移到网状断裂会延长断裂时间。如今,清洁水力压裂是美国页岩气高效,环保生产的最重要手段。

4 总结

我国的页岩气储层具有典型的低孔隙度,超低渗透率和致密性等物理性质。在本文中,我们将详细研究家用页岩气储层的物理特征,储层和渗透率特征,成藏机理和评价标准,并分析页岩气储层的地质特征对储层改造的影响,然后介绍页岩气储层的特征。海外主要开发页岩气。通过分析每种技术的机理和特点,可以得出结论,页岩气开发的关键是形成复杂的破碎网络系统。因此,结合国外页岩气开发的成功,尝试了多脉冲复合破碎技术在我国的发展。

参考文献:

- [1] EIA U S. Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources:An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States [J]. US Department of Energy/EIA, Washington, DC,2013.
- [2] 赵晨光,刘继东,刘计国,等.非常规天然气系统及其在中国的勘探前景 [J]. 石油天然气学报,2009,31(3):193-195.
- [3] 董大忠,程克明,王玉满,等.中国上扬子区古生界页岩气形成条件及特征 [J]. 石油与天然气地质,2010,31(3):286-308.
- [4] 张雪芬,陆现彩,张林晔,等.页岩气的赋存形式研究及其石油地质意义 [J]. 地球科学进展,2010,25(6):595-600.

(上接第 79 页)压配水间流动,但是在污水分配的过程中并没有出现其他比较明显的变化,但是却有一定数量的悬浮固体,而造成这一现状的原因是相应的设备需要定期清洗。相关工作人员经过调查发现,过滤器和相应的沉降罐需要进行清洗。之后相关工作人员又运用了非线性波来解决管道出现的堵塞情况,从而有效地降低井口的压力。同时相关工作人员还可以采用相应的过滤装置,或是润管剂等方法来解决管道被其他物质腐蚀或是结垢的问题。

2.5 加强环境保护工作,减少能源消耗

为了能够增强污水运输的有效性,一般都会采用污水处理技术。该技术的应用能够在一定程度上达到节约水资源的功效。因此,相关工作人员应该积极地展开相应的污水治理排放工作,使其能够降低水资源对当地的污染,从而最大限度地实现对枯竭式能源开发的有效规避。

3 结语

综上所述,随着我国相关工作人员对石油注水技术的不断研究,当前我国已经制定了切实可行的优化方案,该方案在实际应用中得到了较好的评价,使我国的注水开发效率得到显著的提升,从而有效地增强了石油工程水驱动开发的效益,使其能够达到当前我国油田开发对水资源质量和数量的需求。而相关工作人员在实际的工作过程中采用分层注水技术不仅能够有效地提升注水的成效,而且还能够增强水动力的开发效率。而相关工作人员为了提升注水井的应用性,首先就需要增强对各个岗位工作人员的技术

能训练,使其能够满足日常工作的需求,其次,就应该加强对注水过程的监控管理,认真记录管道的注水压力和注水量,并且加强对注水井各项参数的关注,然后进行实际的调整,使其能够实现运行的最优化。而相关工作人员为了能够实现油田生产的最高效能,就应该巧妙地利用高新技术来增强油田注水的驱动力,从而有效地增强油井中油量的产出率。

参考文献:

- [1] 王冰,阿卜杜许库尔·达伍提,刘强,李磊.石油钻井工程技术措施优化研究 [J]. 中国化工贸易,2018:141.
- [2] 王炜龙,魏庆婷,张瑞雪.油田污水处理工艺技术优化 [J]. 化工管理,2017.
- [3] 石勇.石油工程井下作业修井技术现状及工艺优化 [J]. 建筑工程技术与设计,2018:605.
- [4] 贾世雄.石油工程井下作业修井技术现状及工艺优化研究 [J]. 石化技术,2020:281-282.
- [5] 王翔,单安平,王东伟.石油钻井工艺技术探讨优化 [J]. 化学工程与装备,2018:124-125.
- [6] 马学超,赵雅娟.石油工程注水工艺技术优化 [J]. 云南化工,2018:198.

作者简介:

张涛(1994-),男,本科,陕西西安人,研究方向:“石油工程:油气田开发”。