

Research on Fracturing Fluid Distribution in Hole Clusters of Shale Gas Horizontal Well Distribution

Ling Xue Yi Yang Yinjiang Deng Honglei Wang Yafang Huang

Chongqing Institute of Science and Technology, Chongqing, 401331, China

Abstract

Horizontal well fracturing technology in production enhancement technology plays a very important role in the development of shale gas. However, due to the complex underground environment, the transport and distribution of fracturing fluid has a great impact, resulting in the lack of real-time accurate grasp of the distribution of fracturing fluid, thus affecting fracturing and shale gas production effect. Therefore, it is meaningful to study the effects of fracturing fluid distribution and provide theoretical guidance for the actual fracturing operation. For this reason, many scholars in China and other countries have carried out research on the influencing factors of fracturing fluid distribution.

Keywords

fracturing; fracturing fluid distribution; influencing factors

页岩气水平井段孔簇内压裂液分配研究

薛令 杨毅 邓银江 王洪蕾 黄亚芳

重庆科技学院, 中国·重庆 401331

摘要

增产技术中的水平井压裂技术,在页岩气开发领域起着十分重要的作用。然而,由于井下的环境错综复杂,压裂液的运移和分配有着很大的影响,导致无法实时的准确的掌握压裂液的分配情况,从而影响压裂和页岩气增产效果。因此,研究影响压裂液分配,为实际的压裂操作提供理论指导是有意义的。为此,中国和其他国家的许多学者都对影响压裂液分配的影响因素展开了研究。

关键词

压裂; 压裂液分配; 影响因素

1 引言

水平井压裂技术在油气增产领域有着巨大的优势,而随着页岩气、页岩油等非常规能源生产的深入,对射孔井进行压裂增产措施逐渐增加,出现了由于摩擦力而导致的损耗,这会导致携砂压裂液在运移的过程中会受到很大的阻力,致使液体分配不均、裂缝的长度和裂缝与井筒的沟通过程等存在着诸多的问题,主要包含裂缝弯曲、孔眼摩擦、孔眼相位不一致等。

2 裂缝弯曲

1990年,Palmer^[1]指出井筒与裂缝的连接并不是一个纯粹的、拉链状的连接;正相反,它表现的是由更加复杂的

弯曲裂缝网格来连接裂缝主体和井筒。为了量化和改善这种近井筒效应,1994年Weijers^[2]建立中等井斜的定向井实验模型模拟裂缝增长,Weijers在模型试验中观测到的近井筒裂缝几何结构图,总结实验结果指明,近井筒的裂缝弯曲可能是由下列因素所致:

①从初始裂缝平面想最佳裂缝平面的重新定向导致裂缝发生平缓或急剧的弯曲;

②水力压裂裂缝与天然的或钻井诱发裂缝交叉,产生急剧裂缝弯曲度;

③由于水泥粘结不牢而产生沿着水泥和坚硬套管之间的环形方向的裂缝生长,裂缝起裂后从射孔井段离开进入地层。

在2000年,Weijers^[3]提出用于解决射孔或近井筒高摩擦的补救措施,采用逐级降排量测试法在有效压裂之前作为例行程序加以应用,以评估可能的支撑剂铺设问题,并且发现了裂缝入口摩擦主要有两部分组成,即射孔摩擦和裂缝弯曲摩擦。

【基金项目】重庆科技学院科技创新项目(项目编号:YKJXC2020323)。

【作者简介】薛令(1998-),男,中国重庆人,硕士,从事水力压裂工程研究。

3 压裂液在射孔簇中的流动特性

携砂压裂液在孔簇中的流动属于固液两相流动模型。固液两相流动本身具有一定的复杂性，尤其对于压裂液在小尺寸的射孔簇的流态情况。两相流动的理论模型研究的早期尝试性工作大致是从20世纪40年代末开始，基于不同的观点和假设建立了不同的两相流模型^[4]。

2015年，Wu Kan等人在研究中分析了孔眼直径、射孔数等不同射孔参数对多簇压裂裂缝的影响。Faraj基于支撑剂在井眼中沉降以及支撑剂在射孔簇之间的分布问题，在实验模型中主要发现压裂液的泵入速度和支撑剂浓度对压裂液的影响。2019年，Min Zhang在偏斜井眼中通过穿孔的支撑剂传输离散元法(CFD-DEM)进行流体动力学研究，在考虑不同射孔簇方向，改变井眼流速、支撑剂浓度、流体黏度，数值模拟结果表明井眼倾角对支撑剂分配有一定影响^[5]。

4 支撑剂在远井筒缝内运移机理

支撑剂沉降主要发生在压裂液运移的过程中，而支撑剂沉降的数学模型在水力压裂早期有较多的研究。

2005年Harris通过对比三种用于验证压裂液运输测量技术，并通过做对比实验验证较低的液体剪切速率有利于支撑剂运输。基于支撑剂分布不均问题，2007年Brannon在俄克拉荷马大学的油井建设技术中心研究了支撑剂在压裂液液体流动实验，评估了各种支撑剂浆液成分和处理参数对支撑剂传输的相对影响。2009年温庆志在研究支撑剂在裂缝中运移特性中，找到在不同性能的压裂液和不同尺寸的裂缝影响下的支撑剂沉降的规律^[6]。

黄志文采用FLUENT软件建立流固耦合作用的携砂液流动模型模拟携砂液在垂直裂缝中的流动过程，依据数值模拟结果直观表征携砂压裂液在矩形平面裂缝中的分布情况，2019年徐加祥开展了在形态复杂的裂缝中的支撑剂的分配铺置的实验，在考虑了压裂液滤失和支撑剂与流体共同作用下的，支撑剂在迂曲裂缝中输送和分布情况。2014年，

Kern在低压室内实验室环境复杂裂缝模型评估复杂裂缝网络中支撑剂运移情况，在实验中研究了裂缝形状的复杂性，水泵的排量等因素对支撑剂的运移的影响，还利用窄缝实验模型，考虑了壁面的摩擦阻力影响，实验结果同样证明粗糙度对支撑剂分布具有重要影响。

5 结论

①大位移水平开压裂技术逐渐成为页岩气等非常规能源的重要手段，压裂施工过程常常存在近井筒高摩擦损失，针对近井筒液体流动的摩擦损失问题尚无明确的研究机理。

②固液两相流动仍没有标准的数学模型和理论模型来界定每一个固相流动问题，尤其是针对射孔簇内压裂液流动，流动模型较为复杂，需要进一步的探索近井筒效应状态下，压裂液在井筒内流动以及各孔簇之间的流动分配。

③携砂压裂液在井筒以及裂缝中的流动二者之间存在复杂的耦合交互，因此探究携砂压裂液在井筒多个射孔簇之间的分配机理，揭示固体颗粒与压裂液在近井筒区域的复杂流动规律的研究深度还有待提升。

参考文献

- [1] Palmer, I D, Veatch, et al. Abnormally High Fracturing Pressures in Step Rate Tests[C]. SPEPE,1990.
- [2] Weijers, L De pater, C J, et al. Gemetry of Hydraulic Fractures Induced From Horizontal Wellbores[C]. SPEPE, 1994.
- [3] Weijers, L Wright, C A, et al. The rate stepdown test: A simple real-time procedure to diagnose potential hydraulic fracture treatment problems[C]. SPEPE,2000.
- [4] 温庆志,罗明良,李加娜.压裂支撑剂在裂缝中的沉降规律[J].油气地质与采收率,2009,16(3):100-103.
- [5] 黄志文.压裂泵入流体在射孔孔道处的压力损失计算[J].新疆石油天然气,2006,2(1):55-58+74.
- [6] 徐加祥,丁云宏,杨立峰.压裂支撑剂在迂曲微裂缝中输送与分布规律[J].石油学报,2019,40(8):966-973.