

# 浅谈水力压裂技术的发展及展望

孙路革

( 商丘工学院, 河南 商丘 476000 )

**摘要:** 经过较长一段时间的发展, 水力压裂技术在多个方面都取得了较为可观的发展成果, 为油气藏的增产增效提供了重要手段, 也提高了对油气储层的认识和评价能力。本篇文章重点介绍了水力压裂技术的近期发展成果与现状, 并对其未来发展趋势进行了分析与展望, 为水力压裂技术的进一步发展提供一定的借鉴与参考。

**关键词:** 水力压裂 技术成果 发展趋势

**DOI:** 10.12319/j.issn.2096-1200.2022.30.175

压裂是低渗层开采的必要手段, 这一点在众多的压裂实践中都有表明。水力压裂技术是通过向目的层泵入前置液, 通过人工手段制造裂缝, 并将其扩大延伸, 然后向裂缝中注入含有支撑剂的携砂液, 携砂液能够起到改造裂缝的作用, 并且会将支撑剂送入裂缝之中, 将压裂液降解成粘度更低的流体, 在流入井内过程中, 形成一条导流性更好的通道。利用这一技术, 不仅能够提高油井的产能, 还能够提高废液处理井和注水井的吸收能力, 改善油气开采的整体效益。

## 一、水力压裂技术的发展历程

最早的压裂井建造于二十世纪四十年代中后期的美国, 截止到今天, 水力压裂技术已经有七十余年的发展历程。最初的水力压裂技术内容比较简单, 并且无论是排量还是液量都比较低, 而如今水力压裂技术已经成熟, 在应用范围和效率上都有明显的改进。水力压裂技术的发展历程主要包括以下四个方面<sup>[1]</sup>。

### (一) 由单井增产发展成整体压裂优化

最初阶段的压裂技术, 只能作用于单个油气井, 无法对整个油藏进行非均质性、水驱扫油效率和开采效益的提升。在二十世纪八十年代中后期, 油气藏开发开始成为一个整体性的单元, 油气藏开发与水力压裂技术研究更全面的结合起来, 其效用也能够作用于油藏整体<sup>[2]</sup>。

### (二) 由压裂开采发展为压裂开发

最初的压力开采要受到井网条件的限制, 在进行作业时, 水力裂缝的方向和距离是确定的, 那么相应的优化缝长也是确定的, 裂缝的长度和井的数量就受到了限制。在二十世纪九十年代, 出现了压裂开发的模式, 在对开发井网前, 全面考量可能对油藏开发造成影响的水力裂缝的方向、长度和导流性等要素, 并得出最优的井网系统与水力裂缝系统组合, 并将总体经济效益和采收率作为井网系统

设计的最终目的, 实现投入与产出的最优化<sup>[3]</sup>。

### (三) 由二维模型发展到三维模型

在二维模型中, 只能考虑裂缝的宽度和长度要素, 而不能把握高度的变化。而通过三维模型建立裂缝延伸模型, 能够将高度也作为变量考虑进去。拟三维模型常用于平面应变问题的处理, 对常用的有拟三维裂缝几何模型、温度场模型、产量和经济评价模型, 相比于全三维模型, 拟三维模型的优势在于舍弃一定可以接受的精度而获得更高的计算速度。全三维模型则主要用于弹性应力应变的解决, 具有更高的精度, 同时能够模拟复杂地应力状态和各层的条件, 能够更好地满足较为复杂的井层的压裂设计。随着三维技术的成熟, 拟三维与全三维模型的应用都越来越普及<sup>[4]</sup>。

### (四) 由小型压裂规模发展到大型压裂作业

一开始的压裂作业, 液量十分有限, 而在现代的大型压裂作业中, 能够轻易的完成上千立方米液量的压裂, 这种大型压裂技术已经广泛的应用于各种油气藏工程中。水力压裂技术的进步是由压裂材料、压裂设备等多方面的进步共同实现的, 如最初的压裂材料以石英砂为主, 而现在的压裂材料还包括烧结陶粒、树脂涂层砂等, 以及最初的压裂设备大多依靠人工, 而现代化压裂设备通过计算机联网可以实现更高效的自动化<sup>[5]</sup>。

## 二、水力压裂技术发展现状

水力压裂技术经过数十年的发展, 已经成为一项相当普遍的石油工程技术, 是油气藏工业性开采中经济性较强的一种手段, 并且针对不同情况的油藏开发, 形成了不同的工艺。如将油藏按照渗透率进行分类, 水力压裂技术可以划分为高砂比和端部脱砂压裂技术和低渗透油藏总体优化压裂技术, 将气藏按照常规与非常规分类, 可以将水力压裂技术分为致密砂岩气藏大型水力压裂技术和煤层甲烷

气压裂技术等，在这里我们对现有的水力压裂技术发展成果进行具体分析。

### （一）致密砂岩气藏的大型水力压裂技术

当前社会发展对资源、能源的需求量快速提高，人类对油气资源的开发和利用效率也在不断提高，而致密砂岩气藏正是当前油气开发的一项重点。致密砂岩气藏的孔隙度低、含水饱和度高、渗透率低、单井原始产量小，具有不小的开发难度，经过较长一段时间的实验，最终形成了较为成熟的可以用于致密气藏开发的大型水力压裂技术。具体的应用步骤可以分为以下几步。首先，对地层进行评估，具体包括岩心分析、地震层分析、地应力测试等。其次，利用全三维或拟三维模型对压裂施工设计进行优化。再次，展开水力裂缝实时监测、分析，对裂缝进行诊断，了解裂缝的具体形状和性质。最后，对压裂施工进行评估。

### （二）低渗透油藏总体优化压裂技术

低渗透油藏总体优化压裂技术形成于上个世纪八十年代中后期，这一技术以整个油藏为一个单位，对放入低渗透油藏中的水力裂缝的动态变化开展预测与分析，并形成与油藏最为匹配的裂缝设计。当前，低渗透油藏总体优化压裂技术已经得到普遍应用，它的优势在于能够处理不同特征的不同后果，针对油藏整个动态的开发过程进行设计，以最终的净收益为目标建立模拟模型，确定最佳的裂缝长度和导流性，实现水力压裂与油藏工程的有效结合。

目前，低渗透油藏总体优化压裂技术已经形成了一套较为成熟的应用方法。首先，对油藏地质地层进行了解，为压裂施工前后期的技术评估提供可靠的数据信息。然后，利用三维延伸模型调整工艺参数，以实现缝长的最优化。接着通过现场实验与实验室试验相结合，检验并评估压裂施工材料的性能能否满足施工方案的要求。最后，对裂缝的形状和特性进行技术诊断，通过各项测试，确定压后裂缝能否满足优化设计的要求，保证最终的施工效果。

### （三）深井压裂酸化技术

在油气藏从浅层向深层的推进过程中，深井压裂技术是必不可少的一项勘察手段。深井以及超深井地层的温度、地应力和孔隙压力都明显增强，这些特点同时也影响了岩石力学的性质、孔隙度和渗透度，增加了施工的难度和限制，因此相比于普通井，深井和超深井的压裂成功率也明显偏低。针对这一问题，相关领域将工作重点放到了工艺和设备的完善与研发上，目前深井与超深井压裂技术的成功率明显提高。深井压裂酸化技术的具体实施包括几个方面的技术，如全三维水力裂缝模拟技术、酸化增注设

计技术、满足深井压裂工艺的压裂液体系、有机缓速酸体系以及长岩芯酸化模拟实验技术等。

### （四）煤层气压裂技术

煤层气压裂技术是针对煤层气的具体特点而形成的一项技术，相比于砂岩或石灰岩储层，煤层的杨氏模量通常会低一个数量级，并且压缩系数更高。同时，煤层气通常与地下水共存，气藏的整体压力偏低，气层容易受到破坏。因此，针对煤层的水力压裂作业，主要目的是联系煤层中的缝隙系统，将其与井筒连接起来。使用水力压裂开采煤层气，不仅效率高，并且经济性较好。煤层气压裂技术的实施建立在压裂液的进步和煤层心对压裂液的损害实验的基础之上，在应用煤层气压裂技术时，需要通过模拟实验，研究裂缝的具体方向、长度和形态机理，把握裂缝的形状和大小与煤层气产量的关系，找到最合适的压裂作业参数、方式和条件，借助专门的水力裂缝模拟软件模拟煤层气井的控制面积、渗透率和甲烷气吸入时间等可能影响煤层气产量的具体要素，以实现煤层气经济效益的最大化。

## 三、水力压裂技术的发展展望

在持续不断的油气藏开采活动中，人们对水力压裂技术的研究与完善也在不断的深入。并且在其它相关领域快速发展的背景下，如计算机技术、卫星联网技术等，也使水力压裂工艺与设备不断的成熟起来。在水力压裂施工设备方面，具有越发明显的自动化趋势，自动化控制水平不断提高，这极大的改变了施工人员的评价、施工方式。在实验室中，重点开展岩石测定和就地应力研究，推进新工艺和新设备的应用，提高实验室仪器的精度。在水力压裂施工工艺方面，要提高地层评估的准确性，加快更优质的压裂材料的研发，完善压裂施工模型，优化施工设计，提高裂缝诊断技术的自动化水平。具体来说，水力压裂技术的发展方向主要包括以下几方面的内容。

### （一）中高渗层的重复压裂发展展望

高砂比与端部脱砂压裂技术是针对中高渗层的重复压裂对水力裂缝的导流性要求而形成的一项技术。高砂比压裂技术即提高地面砂液比例，使用于裂缝支撑的支撑剂浓度进一步提高，达到增强裂缝导流能力的目的，流动阻力降低，水力裂缝的流通面积增加。而端部脱砂压裂技术是典型的非常规压裂技术，在裂缝长度达到预期时，前置液全部滤失完，而此时裂缝端部会出现砂堵，使裂缝的压力快速升高，裂缝就会开始横向扩大，从而使裂缝的导流能力快速增加。在一些应用高砂比压裂技术和端部脱砂压裂技术的油田中，我们可以明显发现应用这一技术后油田的

产量倍增,但从整体上而言,高砂比和端部脱砂压裂技术还有一定的发展空间。如进一步提高对油藏的描述能力,建立能够更准确描述非牛顿流体侵入的压裂液滤失模型;实现对水力裂缝的实时监测,建立专门的控制系统,监控压裂过程中裂缝的端部脱砂;进一步提高泵注设备的排量和输砂能力等,通过持续研发,提高中高渗层重复压裂工艺的完善度。

### (二) 煤层气压裂工艺发展展望

煤层气压裂技术的发展方向可以大致分为四点。一是加强对煤层破裂机理的研究,通过进一步掌握煤层破裂的变化及其影响因素,为后续的压裂作业方式的设计、设备的选择提供可靠的指导。二是加快研发更适合煤层特点的压裂材料和防滤失措施,其目的在于进一步降低压裂作业对煤层造成的伤害,通过保护煤层,实现煤层气开采整体收益的进一步提高。三是提高水力裂缝模拟软件的应用水平,利用好煤层气水力裂缝模型,优化煤层气压裂作业设计,推进现有压裂工艺的成熟和完善,同时提高煤层气并在压裂作业前和作业后的评估的准确性与科学性。四是基于煤层特点,建立专门的拟三维、全三维压裂设计软件,从单井设计优化出发,实现区块总体优化设计。

### (三) 低渗透油藏开发工艺发展展望

人类对低渗透油藏开发的时间比较长,在相关的工艺和技术方面也更加完善,在未来的低渗透油藏开发工程中,重点在于进一步提高油藏的开发效益。进一步提高低渗透油藏开发效益,可以从以下四个方面入手。一是加大在支撑剂研发和支撑剂质量管理方面的投入,提高支撑技术。二是加强压裂液研发,在提高压裂液的效能的同时,能够妥善的处理压裂液使用中时有发生返排情况。三是研发和完善大型水力压裂技术,提高对大型油藏的开发能力,提升大型油藏开发效益。四是以现有的压裂技术为基础,探索水平井与水力压裂技术结合的可行性方案,对配套技术进行完善,尤其在最小主应力、裂缝特征掌握、裂缝导流能力的提升、试井技术的完善等方面加大投入。

### (四) 致密气藏的开发技术发展展望

当前阶段,如何控制开采与开发过程中的投入,是进一步提高天然气开发效益的关键问题,通过加大相关工艺和设备的研发投入力度,以科技创新推动天然气开发效率的提升,以现代化开发模式实现天然气产业的高速发展。在致密气藏开发方面,水力压裂技术的发展方向包括几个方面。一是实现压裂作业前期储层评估的标准化、精细化,推动气藏分析和描述精度的进一步提高。二是强化裂

缝、岩石性质、就地应力测试等方面的理论性研究,为技术和工艺的进一步完善夯实理论基础。三是针对含砂量高以及位置较深的气藏进行压裂技术研究,提高对于较为复杂的气藏的开发和开采能力。四是优化气藏压裂液高效返排工艺,提高压后返排控制能力,减少对储层的伤害,保证压裂改造的最终效果。五是开展全三维裂缝模拟,对裂缝进行实时监测与控制,利用虚拟现实技术,对气藏参数进行模拟,最高程度的还原气藏情况。同时,利用三维图形库,实现工作站软件的一体化。

### (五) 深井、超深井压裂工艺发展展望

一方面是由于当前浅层的油气藏已经无法满足社会经济发展的需要,必须要向更深层的位置推进,以发掘更丰富的油气资源。另一方面则是在持续的油气藏开采经验的积累下,以及相关技术的成熟和设备的进步下,人们逐渐具备了对深层油气藏开采的能力。因此,针对深井、超深井油气藏改造的技术已经成为油气开发领域的一项重点。深井、超深井水力压裂技术的发展有几个方面的重点。一是加强对超深井增注技术的研究,提高对超深井气藏的开发能力。二是提高超深高深层压裂技术的实用性,展开一系列工程论证与技术评估,确保水力压裂技术在超深井中应用的可行性,保证超深井压裂的安全与高效。

## 四、结语

水力压裂技术已经成为现阶段油气藏开发活动中的一项关键技术。将水力压裂技术与油气藏开发进行结合,进一步提高油气藏的开发效率,降低油气藏开发损耗,是油气藏开发领域的重要发展方向。在这一领域,我国已经形成了较为完备的工业基础和人员储备,在未来的发展中,要把握具体的发展重点,实现我国水力压裂技术的有利突破。

## 参考文献

- [1]蒋廷学,周珺,廖璐璐.国内外智能压裂技术现状及发展趋势[J].石油钻探技术,2022,50(03):1-9.
- [2]张怀钰.水平井压裂技术与工艺现状及发展[J].化学工程与装备,2022(02):94,91.
- [3]覃木广.井下煤层水力压裂理论与技术研究现状及发展方向[J].中国矿业,2021,30(06):112-119.
- [4]刘治.油田开发后期压裂改造技术现状及发展方向[J].化学工程与装备,2020(07):134-135.
- [5]项成成,高嵩.浅析水力压裂技术研究现状及发展趋势[J].化工管理,2018(02):241.