

油田化学新进展

陈立滇 程杰成 等编译

YOUTIAN
HUAXUE
XIN
JINZHAN

石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

油田化学新进展

陈立滇 程杰成 等编译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书选择了近年来酸化压裂、表面活性剂、堵水调剖、生物聚合物的应用、环境保护等方面,有代表性的三十余篇油田化学论文编译而成。

内容包括分子模拟深入了解非离子型表面活性剂,¹⁹FNMR 研究 HF 酸化的化学机理、有关天然气水合物方面内容,涉及我国天然气资源的开发与利用、天然存在放射性物质污染的油田水处理与排放方法对石油工业的环保问题的研究与应用领域。对我国油田化学的发展及理论技术的提高有较重要的参考价值。

本书可对从事油田开发的技术人员、有关院校的师生,尤其是从事油田化学工作的技术人员有直接的指导意义和参考作用。

图书在版编目(CIP)数据

油田化学新进展/陈立滇等编译.

北京:石油工业出版社,1999.12

ISBN 7-5021-2753-4

I. 油…

II. 陈…

III. 油田-应用化学-进展-文集

IV. TE31-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 47896 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 26¼ 印张 663 千字 印 1—2000

1999 年 12 月北京第 1 版 1999 年 12 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2753-4/TE·2162

定价:35.00 元

前 言

中国石油学会与大庆石油管理局科技处组织有关从事油田化学工作的专业人员、编译了这本有关油田化学方面的译文集。目前，国内外油田化学的科学研究与技术开发均十分活跃，本书的出版对于了解国外动态、促进我国油田化学事业的进一步发展有很大的帮助。

本书选择编译的论文内容丰富、实用性较强。它涵盖了当前有关油田化学技术从理论基础研究至各项技术发展的情况。文章内容自局部到综合、自试验到理论、自现象到本质、清晰明了。它通过酸化压裂液有关的问题总结了 48 年来压裂液的发展，及面临的挑战；利用分子模拟软件揭示了表面活性剂的构像，从分子水平上表明了表面活性剂的特性，这对于我国开发设计分子水平的分子设计，对于推出更多更好的油田化学品是十分重要的；通过介绍国外的防止形成堵塞输气管线中所用的天然气水合物，指导了我国研究天然气水合物及其抑制剂的工作；选择生物聚合物的试验方法及应用实例的文章，可为我国进行的四次采油提供参考和帮助；另外对国内石油工业关注的有关健康、安全、环保方面的问题，本书也收编了一些文章提供学习和参考。

本书出版的宗旨希望对从事油田化学、三次采油技术及油井开发等工作的技术人员有所帮助。

编 者

目 录

第一部分 酸化、压裂液及有关化学问题

压裂液的回顾与展望·····	(3)
压裂施工用压裂液及添加剂选择的综合方法·····	(11)
基于交联压裂液降解所得聚合物碎片粒度分布的破胶剂效率表征·····	(24)
氧对压裂液的影响·····	(37)
12-羟基硬脂酸在有机液体和浓 CO ₂ 中的胶凝行为 ·····	(47)
用 ¹⁹ F 核磁共振谱仪测定氢氟酸酸化的化学行为 ·····	(58)
裸眼井化学增产的室内研究及现场应用结果·····	(70)

第二部分 表面活性剂

通过分子模拟软件加深对非离子表面活性剂的了解·····	(81)
表面活性剂对多孔介质中盐水与气的相对渗透率的影响·····	(86)
化学添加剂之间的相互作用及其对乳状液分离的影响·····	(93)
二叠纪盆地盐水中 CO ₂ 泡沫状分散所用表面活性剂的有目的快速筛选法 ·····	(104)
用低于临界胶束浓度的表面活性剂生产二氧化碳泡沫·····	(123)
无醇化学驱——从表面活性剂筛选到岩心驱替设计·····	(135)
原油和产出水稳定分散体系的形成——油的类型、含蜡量和沥青质含量的影响·····	(151)
凝胶渗透色谱法研究聚合物——表面活性剂体系的缔合与排斥作用·····	(162)

第三部分 堵水、堵气及调剖化学剂

18 种聚合物在柠檬酸铝胶态分散体凝胶液中的特性 ·····	(173)
利用聚合物泡沫在水力压裂井中封堵基岩气体·····	(183)
在生产井中提高烃水比——印尼——生产动态研究实例·····	(197)
有关苯酚—甲醛交联聚合物在本体溶液和多孔介质中胶凝的研究·····	(209)
选择性控制气井产水的聚合物的室内筛选和矿场试验对比研究·····	(224)
在井眼附近流动条件下与渗透率有关的聚丙烯酰胺的传播·····	(234)
磺化聚合物的热稳定性·····	(250)
剪切变稀流体粘度方程的改进·····	(260)
聚丙烯酰胺溶液通过多孔介质机械降解后的物理化学特性·····	(274)

第四部分 生物聚合物的应用研究

可供选用的利用生物聚合物调整渗透率的方法·····	(287)
硬葡聚糖生物聚合物改善水基钻井液性能·····	(295)
黄胞胶—铬（三价）凝胶体系与白云岩岩心物质间的液—岩相互作用·····	(313)

微生物提高采收率技术的新进展：成功项目的实例分析·····	(325)
在 Prudhoe 湾用微生物控制石蜡和沥青质的先导试验·····	(343)

第五部分 其它油田化学问题

增粘 CO ₂ 驱工艺中的化学剂的运移及其它的相关问题·····	(355)
新型降失水剂的研制与现场应用·····	(364)
一种新型适用于高压水平井的（钻开油层）水基钻井液的室内研制与现场应用·····	(375)
H 结构水合物对石油工业的意义·····	(388)
动力学抑制剂实验室与中试装置结果之间的可转换性·····	(398)
带有天然存在放射性物质的油田废弃物的处理和排放方案·····	(404)

第一部分

酸化、压裂液及有关化学问题

长福一集

照回字外关百见新界五 出刊

压裂液的回顾与展望

张林森 赵忠杨 胡彩珍 等编译
陈立滇

Alfred R. Jennings Jr 原著

摘 要

压裂液提供了水力压裂施工作业的手段。在所有压裂用于油、气井增产的应用中，最初的压裂设计和作业计划必须包括压裂液的选择。压裂液有两个重要用途：1) 提供足够的粘度以悬浮和输送支撑剂深入到人工裂缝；2) 压裂完成后，化学分解或破胶到低粘度，保证大部分压裂液返排到地面以净化裂缝。由于在施工期间（和作业刚结束时），压裂液的流变性及油藏条件下在裂缝中的性能的重要性，实验室研究耗资数百万美元，用于压裂液的研究与开发。

1960 年前的发展历史

从 1948 年水力压裂用于油井增产以来，压裂液有令人满意的历史^[1,2]。最初几百次压裂作业由较小体积的油基压裂液组成，以携带筛选砂到人工裂缝。为保证压裂液与产层相配伍，原油曾经用于早期的压裂。第二次世界大战后，由于具备的货源及凝胶化流体技术对水力压裂工艺的适用性，凝固汽油成为最初的“第二代”压裂液。用细致混合和适当的定时（在凝固汽油成为凝胶状固体之前），进行了许多次成功的压裂施工。柴油胶和煤油胶输送支撑剂，低泵压和高粘度，是早期凝胶压裂液技术的标志。

凝固汽油基凝胶剂质量的变化导致凝胶速率和凝胶性质不稳定，使得该体系应用非常困难。50 年代初，在原油和柴油中加入脂肪酸和氢氧化物，研制了另一种凝胶油体系。皂化（制造肥皂）工艺用于凝胶油在当时的服务公司中得到普遍使用，且使水力压裂的应用得到进一步发展。虽然这种凝胶方法较之凝固汽油、流体性能更可靠，但皂化工艺对用于凝胶的原油中存在的水非常敏感。

在 50 年代中期，用储层岩心与水基压裂液做了有关敏感性实验^[3]。因许多油层也产生储层水，储层盐水和和其它盐水溶液在理论上应能用作水基压裂液而不引起储层损害。储层盐水也是随时可得，且用在压裂作业中比矿场原油或凝析油安全得多。

研究者发现玉米淀粉可提高水基压裂液粘度和降低施工管内摩阻。虽然在几次压裂施工中使用过、但淀粉溶液远非理想的压裂液。对于一定浓度的淀粉、难以预测其粘度。淀粉溶液的地面性能非常依赖于混合时的剪切和液体的温度。即使平均处理液体积少于 500bbl (500bbl 约等于 90m³)，淀粉溶液也不得不分批混合；且对盐的浓度和细菌降解非常敏感。

到 50 年代末期，发现了瓜尔胶可作为可靠的水基压裂液稠化，既产生了当代压裂液化学。由于认可水力压裂是可行和实用的油井增产措施，因此对压裂技术的需求，促进了瓜尔

胶基压裂液的发展。虽然某些初期工作是以金属络合物与瓜尔胶溶液进行的（主要用胶凝堵塞和转向剂），然而，这些早期的交联冻胶当时并未用于压裂。

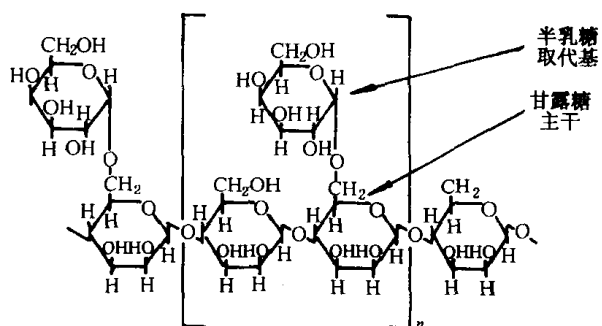


图1 瓜尔胶重复单元结构（见参考文献 [4]）

瓜尔胶，产自瓜尔豆，是一种长链聚合物，使其自身水合时自然形成粘性的水基液体。事实上，食品级瓜尔胶今天通常用于食品的稠化剂，从番茄调味酱到冰激淋。图1所示为瓜尔胶分子化学结构。该结构显示了瓜尔胶对于压裂液化学家的“用户友好”本性。在粉末状或未水合时，瓜尔胶分子紧紧地呈线圈状，象线轴上一定长度的尼龙钓鱼线。当瓜尔胶分子放入水溶液中时，瓜尔胶水合且分子松弛和伸展。长链水合分子赋予该水溶液表观、

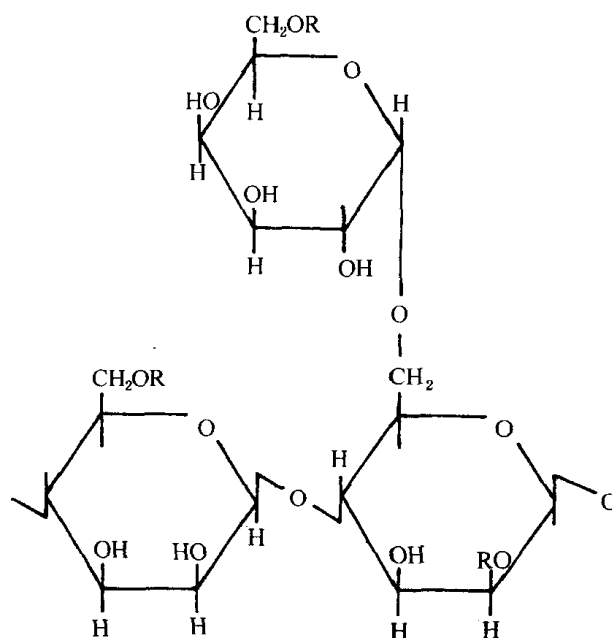


图2 HPG. $R = \text{CH}_2\text{—CHOH—CH}_3$ 重复单元结构（见参考文献 [4]）

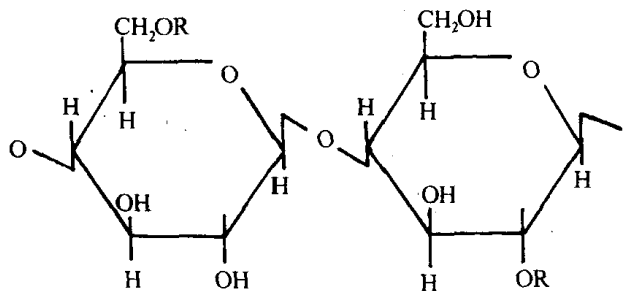


图3 HEC. $R = \text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ 重复单元结构（见参考文献 [4]）

非牛顿粘度。这些溶液被称为线性胶。瓜尔胶分子的化学结构（图1）能化学改性形成羟丙基瓜尔胶（HPG），即今天普遍使用的压裂液稠化剂。图2为HPG结构。

随着对瓜尔胶线性胶的认识，进行了许多压裂液体体系的改进工作（主要完成者是服务公司的研究实验室和瓜尔胶供应商），设计了滤失试验方法和标准程序。为改善在不同水中瓜尔胶的分散和稠化性能，在瓜尔胶化学性能方面也有所进展。为保证压裂后的破胶，引入酶破胶剂。发明了新型粘度计用于改进后测量高温条件下的瓜尔胶溶液的粘度性能。这些成果帮助确定当时压裂液界的使用限度，并加速了用于油藏温度高于 200°F（约 93℃）时，压裂井内温度稳定的羟乙基纤维素（HEC）线性胶（图3）的发展。

关键技术的进展

从 60 年代末到 70 年代中期，由于普遍重视水力压裂，导致几项重大的发展，这些发展对开发当前所用的压裂液也有所贡献。这些发展包括：压裂力学、超高粘液体用于压裂、模拟水力压裂的计算机模型应用、支撑剂的改进、裂缝监测的完善、压裂液流变学的研究、大型水力压裂的应用、高浓度支撑剂的应用、关于裂缝导流能力损害的研究和泡沫作为压裂液

的改进。

1. 压裂力学

虽然几位研究者已表明^[5-7]，由于地岩石应力的影响，在大部分垂直井中形成垂直裂缝，可是直到 1965 年大部分压裂设计和室内实验还是在形成和扩展水平的“扁平”裂缝基础上完成的。选择支撑剂浓度以提供部分单层支撑剂来“优化”裂缝的导流能力。水力压裂的大量结果支持了这个方法应用于压裂。压裂力学的持续研究和室内外实验，导致了对于压裂的应用迅速从水平裂缝转变到垂直裂缝。

2. 高粘压裂液的应用

瓜尔胶压裂液和纤维素稠化剂的改进使线性胶（未交联）的水力压裂液得到了显著的进展。为在油藏条件下具有几百厘泊（mPa·s）的压裂液用于压裂工艺开辟了新途径^[8]。虽然该工艺包括一种油基分散体系，但是，在压裂技术中使用该高粘液体可造成更宽的裂缝且可泵送更高浓度的支撑剂。在油基分散体系被引入后不久，一些服务公司开发了用金属交联剂将聚合物链连接在一起提高线性胶粘度，以提高水基冻胶粘度的方法。图 4 所示为瓜尔胶交联示意图。

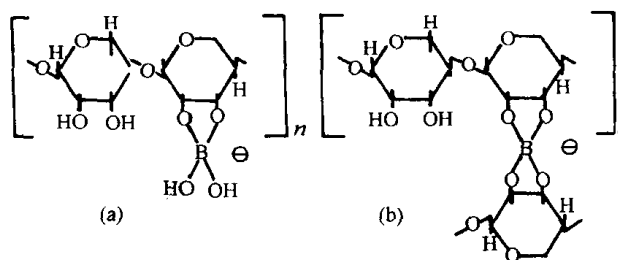


图 4 设想的交联机理（见参考文献 [4]）

3. 模拟水力裂缝的计算机模型的应用

最早的裂缝模型是简单的是以二维裂缝几何形状（用固定的高度）为基础的，裂缝面积和裂缝宽度用当时的理论方法计算。这些局限性的模型有能力在理论施工方案之间作出比较优化的压裂施工方法。随着恰当的流变数据的输入程序在模拟油藏的条件下，可将流体体系或用量彼此作出比较。后来发展的准三维和三维裂缝模型，可以更好地描述人工水力裂缝体系^[9-14]。

4. 支撑剂的改进

评价油藏条件下支撑剂性能与时间的关系，推动了深井应用高密度、高强度支撑剂的发展。这些支撑剂扩展了水力压裂的应用，同时也对现有支撑剂的传输特性方面提出了新的挑战。

5. 裂缝监测的改善

监测水力压裂施工（从而间接地监测压裂液）的能力，为产生描述压裂过程的数据提供了方法^[15,16]。数字化设备、施工期间现场人员之间通讯的改进以及混调及泵送设备的改善，均有助于在此期间压裂技术的进步。

6. 压裂液流变学的研究

随着复杂的交联冻胶体系的发展，特别是对交联聚合物冻胶需要有获得恒定流变参数的方法。粘度计已经做了改进，而且进一步完善以具备在模拟裂缝条件下测量交联冻胶的能力。数百万人工一小时的费用和研究费用已消耗于测试交联压裂液及开发此类压裂液的方法。虽然，美国石油学会下设的交联压裂液流变学分委员会仍然在研究“统一”的试验方法（室内和现场），但用现有方法得到的压裂液参数已成功地进行了许多关键井的压裂。

7. 大型水力压裂的应用

70 年代中期的能源危机孕育了 70 年代末的历史性繁荣。预期原油价格和需求的持续增

涨,强调用极大型的水力压裂作业开发低渗油藏以增加产量。而泵注时间的增长,特别是对那些完成于深、热、高压油藏的井,增加了开发中压裂液的热稳定性的难度。

8. 高浓度支撑剂的应用

对压裂工艺和支撑剂有了更多的了解后,要求更高浓度的支撑剂置于裂缝中以保持压裂后的产量的提高。根据压裂模拟,在裂缝体系内铺置较高浓度支撑剂的合理方法是在地面提高压裂液中的支撑剂浓度。这一方法将增加压裂液输送支撑剂的难度。

9. 裂缝导流能力损害的研究

有关瓜尔胶和 HPG 残渣的研究导致开发羧甲基 HEC、羧甲基 HPC 和羧甲基纤维素交联冻胶体系。虽然这些压裂液的基液成本明显高于瓜尔胶和 HPG 压裂液体系,但这些压裂液体系已成功地应用^[17,18]于现场。对当时所具有的支撑剂和压裂液体系的大量研究试验也影响到现代压裂液技术的发展^[19-21]。

10. 泡沫作为压裂液应用的改进

随着加强低渗透气藏的开发、用 70%~80% N₂ 或 CO₂ (或这些气体的混合物)使水基液充气制备的稳定泡沫成功地用于井的增产。并已作过许多工作以确定泡沫化流体的流变性和它们的应用范围^[22-24]。

11. 进步

研究和了解压裂液的化学特征已取得很大进展,这个问题永远在改变着压裂液技术。

12. 压裂液最优化的进展

正如繁荣带来效益,80 年代中期的工业下滑与萧条对压裂液的发展也有明显影响。80 年代中期和 90 年代研制的压裂液不仅要具备有效地输送支撑剂的能力,而且要有效地破胶,同时还必需可以经济地泵送。下面将讨论的重要进展是延迟交联冻胶体系、改进的硼酸盐冻胶体系和破胶技术。

13. 延迟交联冻胶体系

50 年代末已经具备形成硼酸盐交联冻胶的技术,但是直到瓜尔胶在相当低的 pH 值条件下用铈酸盐(以后用钛酸盐和锆酸盐)可交联形成交联冻胶体系以后,交联压裂液才得到普遍应用。图 1 和图 2 化学结构示意图表示瓜尔胶和 HPG 用于交联的羟基位置。图 4 描述瓜尔胶分子与金属(该例是硼酸盐)的交联。采用所用交联剂有特效的缓冲液调节 pH 值,可使交联点更易于接近。交联压裂液冻胶也可产生增粘作用。

70 年代中期,由于各种各样的配制水和各类油藏条件的成功压裂,均可采用钛酸盐交联冻胶体系,所以该交联冻胶体系得到普遍应用。尽管钛酸盐交联冻胶应用较广,但此类交联冻胶极易剪切降解,因为常规钛酸盐冻胶压裂液必须通过严酷条件的路径,即从压裂液储罐通过管汇、混合设备、离心泵、高压泵、井口设备,紊流进入施工管柱和射孔眼。

最初研究的是使用钛酸盐交联剂降低它们与聚合物分子上交联点的反应速率。这一重要突破,使延迟交联反应的益处明显可见^[25,26]。随着以后油气价格的降低,经济危机转移到强调压裂液成本,“经济—有效”便成为了压裂液理论和技术的发展被导向于低成本硼酸盐交联冻胶改进和开发。

14. 改进的硼酸盐交联冻胶体系

硼酸盐交联的 HPG 与瓜尔胶的改进,结合以硼酸盐交联物种的选择和 pH 值的优选,使低成本交联压裂液得到广泛的应用。当前,估计多达 75% 的压裂施工作业是用硼酸交联压裂液实现的。了解该体系的化学性质。以延迟交联时间用于深井的压裂且不产生有阻碍作

用的施工管柱摩阻。硼酸交联冻胶是对压裂液发展产生影响的例子。由于用硼酸盐交联提高了粘度，能降低聚合物浓度和压裂液成本，破胶后留在裂缝内的残渣也相应减少。

理解了交联压裂液的化学及机理，可使得水力压裂施工设计和应用进行许多改进。由于较好地控制了交联冻胶过程和压裂施工时的流体参数，可借助于压裂模型减少压裂液体积和增加支撑剂浓度，而提高经济效益。

15. 破胶技术进展

水力压裂施工引入了交联压裂液，促进了一系列技术的发展。许多技术及时地满足了工艺的需要（如延迟交联体系），其一些发展确实将应用交联冻胶有关的问题显露出来。水力压裂交联冻胶在早期应用中未含足够使冻胶液化学破胶的破胶剂^[27]。研究了未破胶的冻胶和压裂液残渣对施工后裂缝渗透率的影响^[20—22]。交联冻胶难于化学破胶的三个原因是：1) 除了破坏聚合物的骨架外，破胶剂必须与连接聚合物分子的交联键反应；2) 为保持液体的pH值在冻胶最稳定的范围内，泵送的交联压裂液一般均具有一个强的缓冲体系；3) 破胶反应必须足够缓慢，以保证压裂液的稳定性达到要求并适于铺置大量的支撑剂。

目前，适用于水基交联冻胶体系的破胶剂有三类：酸、酶和氧化剂。这里只讨论这些体系的一般综述；参考文献 28 到参考文献 32 中给出当前破胶剂技术的详细讨论。像交联压裂液的化学论题和性能一样，破胶机理尚不确定。

通常，酸破胶剂的作用是逐渐改变压裂液 pH 值到一个范围，在此范围压裂液不稳定，水解、或聚合物的化学分解便发生。用于破胶剂的大部分酸是缓慢溶解的有机酸，当它们溶解时便影响溶液 pH 值。要求 pH 值变化的速率由初始缓冲液强度、油藏温度和酸的强度所决定。由于酸性能的变化（如：消耗于储层岩石的酸溶性矿物），所以用酸作为水基交联压裂液破胶剂并不普遍。

氧化剂通过氧化交联键和聚合物链使交联冻胶破胶。氧化反应依赖于温度与时间，并在多种 pH 范围内有效。如果油藏温度可充分地活化氧化剂，氧化反应不致影响到压裂液的稳定性，则氧化剂可有效地用作交联冻胶破胶剂。然而交联压裂液在高温下应用时，除氧剂可用做压裂液稳定剂。除氧剂的存在将影响到可保留下来的与交联冻胶起作用的氧化剂的具体数量。

破胶剂应用的最新发展是氧化剂中的胶囊包制技术。在胶囊包制的过程中，固体氧化剂用一种惰性膜包起来，然后膜层降解或慢慢地被其携带液所渗透，而将氧化剂释放到压裂液中。几位研究者表明，使用胶囊破胶剂大大地提高了氧化破胶剂的适用性和有效性^[28,29]。

随着石油工业不断强调控制成本和改进作业效率，服务公司研究实验室一直在研究压裂液的破胶，酶破胶剂是个实例。与水力压裂技术的许多论题一样，关于酶破胶剂存在不同的学术观点。正在进行的工作是用于各种压裂液有较宽使用温度范围的聚合物专用酶的研究^[30]。参考文献 [31] 是对这项工作进行的讨论。其他研究人员则认为目前用于压裂液的大部分酶有温度上限并仍选择氧化剂作为高温压裂液冻胶破胶剂^[32,33]。研究酶和其它破胶剂以改进其应用是十分重要的一项工作，因为这些研究将增进整个石油工业界对压裂冻胶破胶作用的发展。

未来的压裂液

目前使用的压裂液有助于实现成功的水力压裂施工，从多种不同储层获得石油和天然气

的增产。例如,煤层甲烷气藏^[34]和低渗透气藏的增产,目前已有压裂液成功地用于中等渗透率井的增产^[35]。

本文讨论了目前压裂液技术的发展状况。由于应用范围广,大部分涉及水基压裂液的讨论,仅给出了与油基压裂液和泡沫(目前在许多生产领域普遍使用的液体)相关联的一些评述。然而当考虑到过去48年里压裂液的发展时,压裂施工没有明显改变。今天,在许多油田实施水力压裂设备组合虽有一定变化,但也仍是高压泵、混砂车、压裂罐、支撑剂供应、管汇和接头及压力监测设备的组合。

参 考 文 献

- [1] Clark, J. B: A Hydraulic Process for Increasing the Productivity of Oil Wells, *Trans, AIME* (1949) **186**, 1
- [2] Farris, R. F: U. S. Patent No. Re. 23733 (Nov. 10, 1953)
- [3] Howard, G. C. and Fast, C. R: Optimum Fluid Characteristics for Fracture Extension, *Drill. & Prod. Prac.*, API (1967) 261
- [4] Gulbis, J: Fracturing Fluid Chemistry, *Reservoir Stimulation*, M. J. Economides and K. G. Nolte (eds), Schlumberger Educational Services, (1987) Chap. 4, 2
- [5] Hubbert, M. K. and Willis, D. G: Mechanics of Hydraulic Fracturing, *Trans, AIME* (1957) **210**, 153
- [6] Fairhurst, C: Measurement of In Situ Rock Stresses with Particular Reference to Hydraulic Fracturing, *Rock Mech. Eng. Geology* (1964) **2**, 129
- [7] Anderson, T. O. and Stahl, E. J. Jr: A Study of Induced Fracturing Using an Instrumental Approach. *JPT* (Feb. 1967) 762
- [8] Kiel, O. M: A New Hydraulic Fracturing Process. *JPT* (Jan. 1970) 89
- [9] Clifton, R. J. and Abou-Sayed, A. S: On the Computation of the Three-Dimensional Geometry of Hydraulic Fractures, paper SPE 7943 presented at the 1979 SPE/DOE Low Permeability Gas Reservoirs Symposium, Denver, May 20 - 22
- [10] Cleary, M. P, Kavvas, M, and Lam, K. Y: Development of a Fully Three-Dimensional Simulator for Analysis and Design of Hydraulic Fracturing, paper SPE 11631 presented at the 1983 SPE/DOE Low Permeability Gas Reservoirs Symposium, Denver, March 14 - 16
- [11] Barea, R. D: A Practical Numerical Simulator for Three-Dimensional Fracture Propagation in Heterogeneous Media, paper SPE 12273 presented at the 1983 Reservoir Simulation Symposium, San Francisco, Nov. 15 - 18
- [12] Meyer, B. R: Frac Model in 3D—1: New Simulator Makes Fracture Design Routine, *Oil & Gas J.* (June 17, 1985) 87
- [13] Meyer, B. R: Frac Model in 3D—2: Proppant Placement Analyzed, *Oil & Gas J.* (July 1, 1985) 65
- [14] Meyer, B. R: Frac Model in 3D—3: Hydraulic Fracturing Simulator's Capabilities Examined, *Oil & Gas J.* (July 22, 1985) 65
- [15] Nolte, K. G. and Smith, M. B: Interpretation of Fracturing Pressures, *JPT* (Sept.

1981) 1767

- [16] Nolte, K. G: Application of Fracture Design Based on Pressure Analysis, *SPEPE* (Feb. 1988) 22, *Trans*, AIME, **285**
- [17] Royce, T. N, Rickards, A. R, and Beck, L. M: Rheological Characteristics of Adjustable Crosslinked Fracturing Fluids, paper SPE 13178 presented at the 1984 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, Sept. 16 – 19
- [18] Chatterji, J. and Borchardt, J. K: Application of Water-Soluble Polymers in the Oil Field, *JPT* (Nov. 1981) 2042
- [19] Cooke, C. E. Jr: Effect of Fracturing Fluids on Fracture Conductivity, *JPT* (Oct. 1975) 1273, *Trans.*, AIME. **259**
- [20] Almond, S. W. and Bland, W. E: Effect of Break Mechanism on Gelling Agent Residue and Flow Impairment in 20/40 Mesh Sand, paper SPE 12485 presented at the 1984 Formation Damage Symposium, Bakersfield, CA, Feb. 13 – 14
- [21] Penny, G. S: Evaluation of the Effects of Environmental Conditions and Fracturing Fluids on the Long-Term Conductivity of Proppants, paper SPE 16900 presented at the 1987 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, Sept. 27 – 30
- [22] Holcomb, D. L. and Blauer, R. E: Foam Fracturing Shows Success in Gas and Oil Formations, *Oil & Gas J.* (Aug. 1975)
- [23] Harris, P. C. and Reidenbach, V. G: High-Temperature Rheological Study of Foam Fracturing Fluids, *JPT* (May 1987) 613, *Trans*, AIME, **283**
- [24] Harris, P. C: Effects of Texture on Rheology of Foam Fracturing Fluids, *SPEPE* (Aug. 1989) 249
- [25] Gardner, D. C. and Eikerts, J. V: Rheological Characterization of Crosslinked Fracturing Fluids Using a Closed-Loop Pipe Viscometer, SPE 12028 presented at the 1983 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Francisco, Oct. 5 – 8
- [26] Hsu, C. H. and Conway, M. W: Fracturing Fluids for Deep, Hot Formations, *JPT* (Nov. 1981) 2213
- [27] Ely, J. W: *Stimulation Engineering Handbook*, Penn Well Publishing Co
- [28] Gulbis, J, Hawkins, M. T, and Brannon, H. D: Encapsulated Breaker for Aqueous Polymeric Fluids, *SPEPE* (Feb. 1992) 9; *Trans.*, AIME, **293**
- [29] Parker, M. A. and Laramay, S. B: Properties and Application of Delayed-Release Breakers, paper SPE 24300 presented at the 1992 SPE Mid-Continent Gas Symposium, Amarillo, TX, April 13 – 14
- [30] Brannon, H. D. and Tjon-Joe-Pin. R. M: Biotechnological Breakthrough Improves Performance of Moderate-to High-Temperature Fracturing Applications, paper SPE 28513 presented at the 1994 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Sept. 25 – 28
- [31] Brannon, H. D. and Tjon-Joe-Pin, R. M: Characterization of Breaker Efficiency Based Upon Size Distribution of Polymeric Fragments, paper SPE 30492 presented at the 1995 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, Oct. 22 – 25

- [32] Norman, L. R: Fracturing Fluid Breakers, Halliburton Energy Services. Duncan, OK
- [33] Norman, L. R., Vitthal, S, and Terracina, J. M: New Breaker Technology for Fracturing High-Permeability Formations, paper SPE 30097 presented at the 1995 SPE European Formation Damage Control Conference, The Hague, May 15 - 16
- [34] Coordinated Studies in Support of Hydraulic Fracturing of Coal-bed Methane, final report, GRI-95/0283, Stim-Lab Inc., Duncan, OK (Feb. 1996)
- [35] Jennings, A. R: Good Wells Make the Best Candidates for Well Stimulation, SPEPE (Nov. 1991) 371, *Trans, AIME*, **291**

(选自 JPT July 1966, pp. 604~610)

压裂施工用压裂液及添加剂选择的综合方法

陈立滇 编译

Hongjie Xiong 等原著
Brian Davidson

摘 要

本文介绍了利用模糊逻辑选择压裂施工用压裂液体系的新方法。基于给定的地层资料、模糊逻辑体系首先决定基液、增稠方法以及强化方法 (energization method)。然后该体系选取 3 至 5 种可能液体的最佳组合。最后该体系确定聚合物类型、用量、交联剂、必要时的气体以及用于该液体体系的其它添加剂。与此同时, 该体系还要检验基液及添加剂与地层流体及组分的配伍性。

本文介绍的模糊逻辑体系由一些模糊逻辑评价因子构成, 这种最佳流体体系可用来研究、评价和确定用于油、气增产和水井增注。该方法也可应用于解决有关钻井、完井和修井的许多类似问题。

引 言

水力压裂是增加油藏产量的主要方法之一。压裂处理的成败与作业中使用的压裂液及添加剂紧密相关。选择正确的压裂液和添加剂, 对于确保地层不被伤害, 支撑剂按设计要求布入地层以及压裂液彻底破胶和返排至关重要。

压裂液用来造缝并将支撑剂带下管柱, 经射孔眼而深置于裂缝中。为泵送完成成功的压裂施工, 理想的压裂液应有如下特性:

- 1) 压裂液必须与地层及油藏流体相配伍。
- 2) 压裂液需能在油藏温度下保持足够的粘度, 从而可悬浮支撑剂并将之深置于裂缝中。
- 3) 压裂液应能将裂缝扩展至必要的宽度、以便接受支撑剂或使酸得以深度穿入。
- 4) 压裂液应有低的滤失性或高的液体效率。
- 5) 压裂液应易于自地层排出以及对支撑剂和地层伤害最小。
- 6) 压裂液应易于泵入井下且在管线和裂缝中摩阻压力损失最小。
- 7) 压裂液应易于配制且使用安全。
- 8) 压裂液应成本低廉。

目前已有的压裂液品种、能够满足全部上述要求者甚少。但针对上述的特性在选择压裂液时必须考虑两点最重要的要求: 1) 在油藏温度下保持足够粘度的能力; 2) 与地层和油藏流体的配伍性。

压裂液可划分为四大类型: 1) 水基压裂液; 2) 油基压裂液; 3) 泡沫压裂液; 4) 醇基