

难动用油气储量开采技术丛书

Series on Exploitation Technologies of Difficult-to-Production Reserves

丛书主编 ○ 罗英俊

难动用储量开发 压裂酸化技术

丁云宏 ○ 主编

Exploitation Technologies
Difficult-to-Production Reserves

石油工业出版社

难动用油气储量开采技术丛书
丛书主编·罗英俊

难动用储量开发 压裂酸化技术

丁云宏 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

《难动用油气储量开采技术丛书》共分8个分册,本书是第6分册。

压裂酸化技术作为难动用石油储量开发中的主体工艺技术,在油田得到了广泛的应用。本分册全面系统地介绍了压裂酸化优化设计、实施与评估技术,并给出了一些油田的应用实例。

本分册技术性强,注重理论与实践的紧密结合,可作为从事难动用储量开发的管理人员和技術人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

难动用储量开发压裂酸化技术/丁云宏主编.

北京:石油工业出版社,2005.6

(难动用油气储量开采技术丛书)

ISBN 7-5021-5105-2

I. 难…

II. 丁…

III. 油层酸化-技术

IV. TE357.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 054708 号

难动用储量开发压裂酸化技术

丁云宏主编

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:www. petropub. cn

总 机:(010)64262233 发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心排版

印 刷:北京晨旭印刷厂印刷

2005年6月第1版 2005年6月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:24.25

字数:620千字 印数:1—5000册

定价:100.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

序 言

这套丛书的中心内容是难动用储量开发。难动用储量是专指因开采难度大、效益差而暂时未动用开发的石油和天然气储量。所涉及的内容主要指石油,也适用于天然气。

难动用储量是一个相对概念。因其开采难度大、经济上往往效益差而没有有效开发动用,但在不同的油价、不同的开采模式、不同的管理体制、不同的运作机制下,难动用储量将有不同的界定和结果。

难动用储量的开发是指对已探明的石油及天然气储量,按常规的评价方法达不到企业内部的最低收益率要求、生产能力建设投资过高、投产后操作成本过高、投资回收期长有的甚至难以回收、通常油价下经营困难甚至亏损的储量的开发。

从储量的品位和丰度来看,难动用储量属于低品位储量,它的主要特点是低孔隙度、低渗透率、低丰度、低产量以及油品性质差的稠油储量和一些特殊类型的石油储量。按照中国石油天然气股份有限公司的目前评价标准,暂把企业内部收益率低于 8.4% 的储量归入难动用储量之列。随着技术的发展、体制的创新、管理模式的改革、油价的变化,这部分储量从难动用成为可以开采,从不能动用变为可以动用是完全可能的,至少其中相当一部分储量动用并实现有效开发是现实的。

截止到 2003 年底,中国石油天然气股份有限公司除玉门油田暂未申报外,12 个油气田单位合计申报已探明未开发石油地质储量 $349384 \times 10^4 \text{t}$,标定的可采储量 $66461.6 \times 10^4 \text{t}$ 。其中已落实的石油地质储量 $268897 \times 10^4 \text{t}$,占未开发石油地质储量的 77%。其他为待落实储量 $37656 \times 10^4 \text{t}$,待核销地质储量 $36342 \times 10^4 \text{t}$,表外地质储量 $6489 \times 10^4 \text{t}$,合计为 $80487 \times 10^4 \text{t}$,占未开发地质储量的 23%。

在已落实的地质储量中按中国石油天然气股份有限公司的企业评价标准可陆续投入开发建设生产能力的地质储量 $112488 \times 10^4 \text{t}$,占探明未开发地质储量的 41.8%。其余的 $156409 \times 10^4 \text{t}$ 地质储量,低于中国石油天然气股份有限公司的经济评价筛选标准,这部分储量正是我们要下功夫采用多种办法逐步合作开发利用的难动用储量。难动用储量会逐年有所动用,同时新探明的储量中,还将会有一部分储量进入难动用储量之列。因此,难动用储量是变化的、动态的。

把难动用储量动用开发起来,建成一定规模的生产能力,并力求使之获得一定的经济效益是一项引起中国石油天然气集团公司高度关注并寄予厚望的产业,意义深远而重大。这对于中国石油天然气集团公司(下称中油集团)的可持续发展,对于中国石油天然气股份有限公司原油产量的稳定增长,对于中油集团所属地区服务公司市场的扩大和队伍的稳定以及收入的增加,对于促进勘探开发工程技术水平的提高,对于如何盘活储量资产等都具有重要的意义。因此,加大对难动用储量的工作力度,加深对难动用储量特性的认识,理清难动用储量的工作思路,明确开采难动用储量必须遵循的原则,推动实用的工程技术的应用就成了开采难动用储量的重点工作。

一、难动用储量的典型特征和主要难点

归纳起来,难动用储量大体具有以下典型特征:

(1)储量丰度低。油层厚度小,含油面积大,其丰度一般都小于 $50 \times 10^4 \text{t}/\text{km}^2$,有相当一部分储量,丰度小于 $30 \times 10^4 \text{t}/\text{km}^2$ 。

(2)大部分属于低渗、低孔和稠油储量。从 1996—2001 年勘探的统计资料看,在探明的石油储量中,低渗、低孔、稠油的储量比例多在 60% 以上。最高的 1997 年,比例达到了 77%。1995 年以前探明的石油储量中,低渗、特低渗的储量比例为 23%;累计的探明储量中低渗、特低渗的储量占到 30%。这中间有一部分已经动用,积累下来未动用的低渗、特低渗以及稠油储量,品位就更差一些。

(3)单井产量低,一般都在 $1 \text{t}/\text{d}$ 左右,还有相当一部分,其单井产量小于 $1 \text{t}/\text{d}$ 。这样,建一定规模的生产能力就需要钻更多的井,投资大,回收建设投资就很困难。

(4)采油成本高,利润空间小,有的经营亏损,特别在低油价下,亏损面更大。

难动用储量开发的最大难点不仅是在技术上,一般来讲,技术上的难点还是有办法可想的,关键的难点在于能否实现经济有效的开采。只要能实现经济有效的这个最终目标,至于采用什么样的技术,什么样的体制,什么样的管理模式都可以灵活应用,但都要服从于、服务于经济有效这个最终目标。

二、难动用储量开发必须要遵循的原则

(1)难动用储量开发必须遵循经济有效这个最终原则。也就是说,如果开发经营亏损,不能实现盈利,那么这样的开发将是不成功的。

(2)充分发挥科学技术在开发难动用储量和提高效益中的关键作用。难动用储量的开发难度除了经济有效外,技术上的难度也是很大的。只有在科学技术上有了突破,才能确保在经济上实现有效开发。

(3)必须改变传统的开发模式。即对难动用储量采用非常规、非正规的方式进行开发和建设。采用传统的、正规的做法来开采难动用储量,在经济效益上肯定不会有好的结果,因此,我们要特别强调的原则是采用非常规、非正规的方式来进行开发建设。

(4)务必实事求是,突出针对性、实用性和有效性。由于难动用储量的品位不高,开采难度很大,必须对它进行深入的研究和优选,要实事求是,承认难度,有针对性地采取措施,在实用性和有效性上下足功夫。

(5)必须采用新体制、新机制,不能沿用老一套管理模式。特别要指出不能沿用建采油厂、采油大队、采油小队那样的管理模式。提倡项目管理模式,大力减少用人,提高管理效能。不能把开发难动用储量单纯变成人员的安置,要在重效益这个大目标下确立用人机制。要强化责任制,推行激励机制。

(6)立足自身的努力,尽最大可能降低建设投入和控制开发成本。降低建设投入和控制开发成本是实现经济有效的两大关键,要将各方面的工作做细做好,我们希望能得到国家的扶持政策,但在还没有这些政策时,也要坚定信心,不懈努力,依靠自己的努力来实现难动用储量的经济有效开发。一旦有了政策的扶持,效益将会更好。

三、难动用储量开发的技术思路

(1)紧紧围绕提高单井产量这个中心环节。开发难动用储量要实现经济有效这个目的,最根本的就是尽一切力量提高单井产量,哪怕一口井提高 0.1t/d 也是一种成功。只有提高单井产量,才能减少钻井数,才能降低建设产能的投资。单井产量提高一倍,井数可以减少一半。因此,一切技术工作、管理工作都要紧紧围绕提高单井产量这个中心环节。

(2)采用简化安全而又实用的地面工程系统。以保证原油质量为前提,以实现安全生产为原则,大力简化地面工程系统。不追求先进,而追求实用。

(3)探索并形成难动用储量的多种开发模式和采油方式,采取实用成熟有效的技术,努力降低成本,增加利润空间。

(4)投产后尽可能简化、减少井下作业,努力降低操作成本。

四、难动用储量开发要大力推广应用经济实用技术

鉴于难动用储量开发的最终目标是经济有效,那么大力推广应用实用技术就十分重要。为了推动和促进这一工作,我们编写了这套《难动用油气储量开发技术丛书》,其目的在于为从事难动用储量开发的项目管理人员、技术人员、操作人员提供借鉴和参考。由于难动用储量开发涉及的专业多,各方面的技术内容丰富,为了将实用技术介绍清楚,编委会商定编写八个分册,各分册既是丛书的组成部分,又是一本独立的专业技术著作。各分册着重介绍实用有效的、可推广应用的成熟技术。

各分册的重点简要介绍如下:

第一分册《难动用储量油藏评价方法》,主要介绍油藏分类方法,前期地质评价、油藏工程评价及经济评价方法等内容。该分册是难动用储量开发的地质基础。

第二分册《难动用储量开发项目管理》,主要介绍难动用储量开发项目的技术评价、经济评价、项目管理模式、项目计划、财务及投资管理、招投标及合同管理、生产管理、项目考核与激励及后评估管理。该分册主要提供给管理人员参考、借鉴。

第三分册《难动用储量开发实用物探技术》,主要介绍未动用开发区块的物探评价,难动用储量开发地震采集技术、处理技术、资料解释技术、非地震技术及发展中的开发地震技术。该分册侧重难动用储量区块的前期评价,以求找到相对富集的区带,提高钻井成功率。

第四分册《难动用储量开发实用钻井技术》,主要介绍能够节约钻井费用、降低钻井成本的有关实用技术。如小井眼钻井技术、顿钻钻井技术、水平井钻井技术、分支井钻井技术、套管钻井技术、连续油管钻井技术、保护油层技术等内容。

第五分册《难动用储量开发采油工艺技术》,主要介绍难动用储量的采油工程设计要点、采油方式优选、实用的小泵深抽技术、螺杆泵采油技术、无油管采油技术、物理法采油技术及降低操作成本的采油技术。以向从事采油生产的技术人员和管理人员提供有可操作性的借鉴方法。

第六分册《难动用储量开发压裂酸化技术》,重点介绍提高单井产量和区块整体效益,使之实现有效开发的压裂酸化改造油层技术,以及应用这些技术在典型区块上取得好效果的实例,以供从事这方面工作的技术人员和管理人员参考。

第七分册《难动用储量开发实用地面工程技术》,主要介绍难动用储量地面建设模式、实用地面工程技术、小型高效设备及地面工程项目管理等内容。以在实用经济、降低造价、节约投

资等方面提供参考。

第八分册《难动用储量开发稠油开采技术》，主要介绍难动用稠油的渗流特征、完井工艺技术、开采技术、检测技术、修井作业技术，以及稠油的生产管理等内容。以向从事稠油开采的技术、管理人员以及操作人员提供参考。

羅英俊

2005 年 1 月

前 言

我国蕴藏的大量难动用储量中低渗透油藏占有很大的比例,这部分储量基本上需要通过压裂酸化才能获得经济有效开发。压裂技术从 1947 年开始迄今已有 50 多年的历史,就技术而言,已成为一项成熟的、有效的工程技术,并已在世界范围内得到广泛的应用。但在对待不同的油藏开发与开采特点以及不同的开发阶段有着新的发展,对于低渗透难动用储量,如何建立非常规、非正规的开发方法是使其经济有效动用的关键。

近几年来,难动用储量的经济有效开发受到中国石油天然气集团公司各级领导的重视,相继开展了相关的关键技术研究,并取得了重大的进展,尤其是压裂酸化技术已形成了配套的技术系列。压裂酸化技术的发展与油藏工程、经济学等学科的交叉、渗透形成多学科的研究组合,在低渗透油藏开发应用过程中,逐步建立与发展了压裂酸化技术体系。

本分册针对低渗透难动用储量从压裂力学(岩石力学和地应力场)、材料(压裂液、支撑剂、酸液)、油藏模拟、裂缝模拟、设备与施工、压后评估等方面系统地阐述了压裂酸化优化设计、实施与评估技术,并推荐了一些压裂酸化技术应用实例。本书可作为从事难动用储量开发的管理人员和技术人员的参考书。

本分册共分十一章,第一章介绍了难动用储量压裂设计技术,由王永辉编写;第二章叙述了地层岩石力学特征及地应力场,由田国荣编写;第三章介绍了压裂液与优选,由卢拥军编写;第四章介绍了支撑剂与优选,由丁云宏、大庆油田采油五厂薛涛编写;第五章叙述了难动用储量开发中水力裂缝与井网系统的优化匹配,由陈作编写;第六章介绍了压裂设备与施工技术,由王晓泉编写;第七章介绍了压后评估技术,由汪永利编写;第八章介绍了难动用储量酸化技术,由汪绪刚、邹洪岚编写;第九章介绍了碳酸盐岩储层酸压技术,由胥云编写;第十章介绍了油气井燃爆增产技术,由廖宏伟编写;第十一章对难动用储量压裂酸化技术应用实例进行了简述,由蒋廷学编写。

在本分册编著过程中,中国石油天然气集团公司罗英俊、赵明、王世林、刘万赋;中国石油天然气股份有限公司吴奇、冉新权;中国石油勘探开发研究院廊坊分院李文阳、蒋闾、林英姬等给予了支持与帮助,在此,致以诚挚的感谢!同时,本分册多处引用了前人的著作和成果,有些未能列入参考文献,尤其许多资料来自中国石油勘探开发研究院廊坊分院压裂酸化技术服务中心和油田研究人员的科研报告,在此一并表示感谢!由于编写者专业水平的局限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

作者
2005 年 5 月

目 录

第一章 难动用储量的压裂设计技术	(1)
第一节 难动用储量压裂的原则及技术关键	(1)
一、难动用储量压裂与压裂设计原则	(1)
二、难动用储量压裂的技术关键	(1)
第二节 压裂设计参数的确认	(2)
一、钻井、完井参数	(2)
二、压裂目的层及其邻层地质参数	(3)
三、压裂目的层流体参数	(3)
四、压裂材料性能参数	(3)
五、压裂设备数据	(3)
六、其他参数	(3)
第三节 压裂设计方法	(4)
第四节 压裂材料的选择	(5)
一、压裂液体系	(5)
二、支撑剂	(7)
第五节 压裂油气藏模拟	(7)
一、单井压裂产量的预测	(7)
二、整体压裂产量的预测	(14)
第六节 水力裂缝模拟	(24)
一、水力裂缝模型的基本方程	(24)
二、二维裂缝模拟及其应用	(25)
三、三维裂缝模拟及其应用	(26)
四、常用裂缝模拟软件介绍	(28)
第七节 压裂方案的经济评价	(31)
一、难动用储量压裂方案经济评价特性及原则	(31)
二、影响难动用储量压裂方案经济评价的因素分析	(33)
三、难动用储量压裂方案经济评价模型	(34)
第八节 压裂方案的优化	(40)
一、压裂方案的优化原则	(40)
二、方案优化	(40)
第九节 单井的压裂施工设计	(41)
一、压裂方式的优选	(41)
二、泵入方式的优选	(44)
三、泵注排量的优选	(44)
四、施工参数的确定和泵注程序的优化	(44)

五、压裂施工水马力的确定	(45)
六、压后排液的控制	(45)
参考文献	(45)
第二章 地层岩石力学特征及地应力场	(47)
第一节 难动用储量储层的岩石力学特性	(47)
一、实验室岩石力学参数测试方法	(47)
二、应力—应变曲线	(48)
三、杨氏模量与泊松比	(49)
四、岩石的压缩性和孔隙弹性	(61)
五、断裂韧性	(65)
六、抗张强度	(73)
第二节 地应力剖面	(74)
一、长源距声波测井资料计算地应力	(74)
二、微压裂(Micro - Frac)技术确定地应力	(74)
三、压裂测试技术(Mini - frac)确定地应力	(75)
四、岩石破坏曲线确定地应力	(75)
五、数值模拟方法确定地应力	(77)
第三节 水平最大主应力方位测量	(78)
一、岩心定向技术	(78)
二、差应变分析法	(82)
三、滞弹性应变恢复法	(86)
四、凯瑟(Kaiser)效应实验	(86)
五、井筒椭圆度方法	(88)
六、其他方法	(88)
参考文献	(89)
第三章 压裂液与优选	(90)
第一节 概述	(90)
一、压裂液的基本性质与作用	(90)
二、压裂液分类	(91)
第二节 压裂液添加剂	(95)
一、压裂液添加剂分类	(95)
二、压裂液添加剂组成与性能	(96)
第三节 压裂液体系及其适用条件	(103)
一、水压裂工作液体系及其适用条件	(103)
二、水基压裂液体系	(104)
三、CO ₂ 与 N ₂ 泡沫压裂液及其适用条件	(108)
四、油基压裂液配方与性能	(110)
五、乳化压裂液配方及其适用条件	(111)
第四节 压裂液优化技术	(111)
一、压裂液的选择	(111)

二、压裂液配方评价与优选	(112)
三、现场压裂液优化设计及质量控制	(116)
参考文献	(117)
第四章 支撑剂与优选	(118)
第一节 支撑剂的类型	(118)
一、石英砂	(118)
二、陶粒	(119)
三、树脂砂	(119)
第二节 支撑剂物理性能	(119)
一、定义	(119)
二、支撑剂性能指标	(120)
三、国产支撑剂物理性能测试结果	(122)
第三节 支撑剂导流能力	(122)
一、测量方法	(123)
二、支撑裂缝导流能力的影响因素分析	(123)
第四节 支撑剂选择	(126)
一、支撑裂缝带承受闭合压力的确定	(126)
二、支撑剂导流能力优化	(127)
参考文献	(127)
第五章 难动用储量开发中水力裂缝与井网系统的优化匹配	(128)
第一节 水力裂缝对井网系统优化匹配的作用与效果回顾	(128)
第二节 单井水力压裂的增产机理、效果预测及优化缝长和导流能力	(129)
一、水力裂缝井的渗流特点	(129)
二、增产机理	(130)
三、水力裂缝井的产能预测方法	(130)
四、非常规井网条件下缝长与导流能力优化	(135)
第三节 规则井网条件下水力裂缝与井网的优化匹配	(136)
一、弹性开采油藏水力裂缝与井网的优化匹配	(136)
二、注水开发油藏水力裂缝与井网的优化匹配	(138)
第四节 注水时机研究	(147)
一、理论计算	(148)
二、油田试验	(148)
参考文献	(150)
第六章 压裂设备与施工技术	(151)
第一节 压裂施工地面设备	(151)
一、压裂井口装置	(151)
二、压裂机组	(152)
三、现场配液设备	(169)
四、支撑剂存储和输送设备	(170)
第二节 压裂施工的质量控制技术	(171)

一、施工准备	(171)
二、压裂设备的现场摆放	(174)
三、现场压裂液和支撑剂的质量控制	(174)
四、施工过程的质量控制要点	(176)
五、施工后期管理质量要点	(177)
六、施工资料录取要求	(178)
七、压裂施工工程质量评价	(178)
八、健康、安全和环境管理	(179)
第三节 水力压裂数据采集与测试	(180)
一、数据采集和过程控制技术	(180)
二、压裂施工测试技术	(182)
第四节 压后管理	(185)
一、提高返排的增能技术	(185)
二、支撑剂回流控制技术	(186)
参考文献	(187)
第七章 压后评估技术	(188)
第一节 概述	(188)
第二节 压后水力裂缝评估	(188)
一、裂缝几何尺寸的评估	(188)
二、裂缝的导流能力评估	(203)
三、水力裂缝方位的确定	(204)
第三节 压后施工评估	(206)
一、压后储层再认识	(206)
二、压裂液的评估	(209)
三、支撑剂的评估	(211)
第四节 压裂井的效果评价方法	(212)
一、产量评价方法	(213)
二、经济评价方法	(214)
三、技术评价方法	(215)
参考文献	(216)
第八章 难动用储量的酸化技术	(218)
第一节 砂岩的矿物成分及酸岩反应	(218)
一、砂岩储层的矿物成分	(218)
二、砂岩储层的基本酸岩反应	(219)
第二节 酸液体系及用酸指南	(220)
一、常用酸液	(220)
二、酸液体系	(221)
三、酸液添加剂	(223)
四、用酸指南	(225)
第三节 砂岩酸化及二次伤害机理	(226)

一、岩心酸化流动模拟试验	(226)
二、残酸离子浓度分析	(234)
三、环境扫描电子显微镜微观分析	(237)
四、酸化前后储层岩石力学性质测定	(239)
第四节 砂岩基质酸化设计方法	(240)
一、设计基本步骤	(240)
二、酸化施工的典型步骤及用量	(240)
三、残酸返排	(241)
四、酸液的置放和转向	(241)
第五节 砂岩酸化实时监测评估方法	(243)
一、油井酸化实时监测评估方法	(244)
二、气井酸化实时监测评估方法	(244)
参考文献	(246)
第九章 碳酸盐岩储层酸压技术	(247)
第一节 深度酸压理论研究与发展概述	(248)
一、深度酸压基本概念	(248)
二、深度酸压技术理论研究概况	(248)
三、深度酸压理论研究新进展	(252)
第二节 酸压增产改造技术的特点及适应性	(253)
一、普通酸酸压技术	(253)
二、深度酸压技术	(253)
三、特殊工艺技术	(259)
四、新型酸压工艺技术	(261)
五、其他酸化技术概况	(261)
第三节 深度酸压技术优化设计与应用方法	(261)
一、低渗难动用碳酸盐岩储层增产改造技术研究思路	(261)
二、深度酸压系统工程研究方法	(263)
三、深度酸压技术的现场应用方法	(271)
四、深度酸压施工现场质量控制方法	(273)
五、深度酸压后的效果评估方法	(274)
第四节 碳酸盐岩储层酸压液体基本体系	(275)
一、基本酸液体系	(275)
二、酸化常用添加剂	(276)
参考文献	(280)
第十章 油气井燃爆增产技术	(282)
第一节 高能气体压裂技术	(282)
一、高能气体压裂机理	(282)
二、高能气体压裂分类	(284)
三、高能气体压裂适用范围及施工工艺	(287)
四、高能气体压裂设计	(290)

第二节 高能气体压裂联作技术	(295)
一、与射孔联作增产技术	(295)
二、与水力压裂联作技术	(297)
三、与化学解堵联作技术	(298)
第三节 燃爆压力测试	(299)
一、静态测试(峰值压力测试)	(299)
二、动态测试(井下压力—时间过程测试)	(300)
参考文献	(300)
第十一章 难动用储量压裂酸化技术实例分析	(301)
第一节 开发压裂技术	(301)
一、开发压裂技术提出的背景	(301)
二、开发压裂的研究意义、内容及方法	(301)
三、长庆靖安油田南部 ZJ60 井区开发压裂分析	(302)
四、开发压裂技术今后应继续攻关的内容	(316)
第二节 分层压裂技术	(316)
一、分层压裂技术的必要性	(316)
二、限流量法分层压裂	(317)
三、封堵球法分层压裂	(320)
四、分层压裂效果对比	(324)
第三节 重复压裂技术	(325)
一、第一次压裂失效的原因分析与遇到的问题	(325)
二、重复压裂的主要研究内容	(326)
三、高砂比压裂的必要性分析	(326)
四、胜利桩西桩 74 断块重复压裂分析	(327)
第四节 小井眼多层压裂技术	(331)
一、小井眼定义及小井眼多层压裂特点	(331)
二、大庆长垣外围宋芳屯油田小井眼多层压裂分析	(331)
第五节 长庆靖安油田五里弯一区 CO ₂ 泡沫压裂	(334)
一、油井选井及油藏基本条件	(334)
二、压裂方案设计	(335)
三、压裂实施情况	(336)
四、压裂监测情况	(337)
五、油井压后评估分析	(337)
第六节 上古气藏 CO ₂ 泡沫压裂	(340)
一、上古气藏 CO ₂ 泡沫压裂的难点分析	(340)
二、气井 CO ₂ 压裂基本情况	(341)
三、气井 CO ₂ 泡沫压裂实施情况	(343)
四、气井 CO ₂ 泡沫压裂压后评估分析	(347)
第七节 丘陵油田薄互层压裂	(355)
一、油藏地质概况	(355)

二、开发生产概况	(355)
三、薄层压裂评估	(358)
四、薄层压裂的原则及针对性措施	(359)
五、压裂液综合性能评价	(360)
六、薄层压裂的优化设计研究	(361)
七、薄互层压裂的实施要求	(363)
八、取得的认识	(363)
第八节 低渗透裂缝性油藏增产改造技术实例	(364)
一、玉门青西油藏	(364)
二、塔里木轮南奥陶系碳酸盐岩油藏	(366)
参考文献	(367)

第一章 难动用储量的压裂设计技术

第一节 难动用储量压裂的原则及技术关键

压裂是开发低渗储量的最有效和最成熟的手段之一,与常规低渗储量不同的是难动用储量的压裂须遵循其特殊的原则,其技术关键也不尽相同。

一、难动用储量压裂与压裂设计原则

1. 压裂原则

难动用储量压裂的根本原则就是技术和经济的可行性。技术可行而经济不可行是不能满足难动用储量开发的要求;反过来经济可行技术尚不成熟、不稳定同样会影响难动用储量的正常开发。

(1) 技术可行性:难动用储量多数为低渗或特低渗透、低丰度储层,需以造长缝扩大渗滤面积为主的压裂为原则。对于给定的地层条件,能否在压裂目的层造出期望的压裂裂缝长度,不仅受地层条件的限制,而且受压裂工艺、材料、设备等技术条件的限制。如对邻层为水层的储层能否压裂、能否造长缝,就不仅受到隔储层就地应力分布情况限制,而且受到压裂工艺参数条件等的限制。

(2) 经济可行性:储层条件是压裂增产的基础。并不是所有的低渗储层都能取得经济有效的压裂效果,储层的物质基础和能量基础是压裂增产的关键。压裂是一项投入较大的增产措施,并不是取得了增产效果的压裂都是经济有效的。如一些薄层或特低渗透层,其压后产出往往不能收回压裂措施的投入,就不是经济有效的。难动用储量的开发最终还要以经济有效为目标。当然,为了这个目标的实现而进行的研究和试验除外。

2. 压裂设计原则

(1) 考虑现有设备的能力。压裂方法立足于先进的工艺技术,施工参数应经济合理,指标先进,经努力可以实现。

(2) 压裂材料的选择应满足本层段的地质条件与工艺要求,应以降低对地层的伤害和提高压后效果为目标。

(3) 对不同的压裂设计,以压后产量和经济效益为目标,借助水力裂缝模拟和油气藏模拟,进行压裂施工规模的优化。

(4) 在优化的压裂规模下,以控制伤害、确保有效支撑缝长,扩大渗滤面积为目标进行单井压裂设计。

二、难动用储量压裂的技术关键

在难动用储量的压裂中,如下几点需特别强调。

1. 压裂增产的物质基础、能量基础

压裂层的厚度、渗透率、含油气饱和度、孔隙度、油气藏体积等是压裂增产的物质基础,而

地层压力的高低及压后生产中可能建立的压差是压裂增产的能量基础。排除压裂施工因素的影响,压裂目的层物质基础、能量基础是压裂取得增产、增注效果的关键。在一定压裂技术水平下,对压裂的物质基础和能量基础有其经济下限要求。

2. 需要足够的有效支撑缝长

对于低渗储层,由于供给裂缝的储层有限,以近井筒的改善为目的的压裂难以取得较好效果。研究表明,储层物性愈差,压裂增产需要的缝就愈长。由于难动用储量中多为低渗的储层,因此压裂需要足够的有效支撑缝长,以扩大渗滤面积,从而达到增产的目的。

3. 能否造出足够的有效支撑缝长

对于给定的地层条件,能否在压裂目的层造出期望的有效裂缝长度,不仅受地层条件的限制,而且受压裂工艺、材料、设备等技术条件的限制。故能否造出足够的有效支撑缝长就成为难动用储量压裂的关键。

4. 强调低伤害压裂

大量研究已表明低孔低渗型储层有如下几点特征:(1) 基质孔喉特征。低孔低渗型储层以细孔道为主,差的孔喉结构,导致储层对液固相伤害都敏感。高分子聚合物的伤害,可使渗透率降低达 60%。(2) 润湿性与界面作用。低渗储层比表面积大、亲水势能强,造成高束缚水饱和度。原始为常欠饱和,吸水至饱和,使流道减小甚至水锁。孔喉结构差,细喉道为主,使界面上各种物理—化学作用加剧,更易伤害,后果更为严重,且难以消除。(3) 敏感性矿物。低渗储层粘土矿物含量一般在 3% ~ 15%,有时高达 20%,并且有不同的类型和形态。这些粘土矿物在常用的水基压裂液作用下,会发生水化膨胀分散引起伤害。因为低孔细喉,伤害后果极其严重。粘土含量由 5% 增至 10%,渗透率则会由几百个毫达西降至几个毫达西。(4) 应力敏感性。储层应力敏感性主要与岩石基质力学性质、裂缝表面形态、饱和流体种类及压力有关。一方面,压裂时在短时间的高压作用下,可能使原储层主要渗流通道微裂缝闭合;另一方面,地层的高有效闭合应力作用及随着地层流体的产出,地层压力下降快难以及时补充,会使储层及裂缝的渗透率造成不完全可逆的恢复,影响渗透性。低孔低渗型储层的上述特征决定了此类储层压裂中要注意如下问题:

一是要针对地层特性及压裂工艺要求选取低伤害压裂液体系,以极大降低压裂液对地层及裂缝的伤害。

二是压裂优化设计中要从压裂材料、泵注程序及压后返排等进行优化和质量控制,特别强调采用低伤害压裂工艺技术。

5. 强调低成本

由于低渗储层物性差、产出有限,投入相对较高,要想经济有效地开发,压裂更要强调低成本。

第二节 压裂设计参数的确认

对于给定的压裂目的井层,能否压裂、怎么压裂,预期会有什么结果等是压裂设计应回答的主要问题。要进行压裂设计首先要对设计参数进行录取、分析,对压裂设计参数基本可分为如下几类。

一、钻井、完井参数

1. 井身结构、套管、油管及井口状况

包括井口装置的规范、井身结构、井径、井下管柱(油套管尺寸、规范、钢级、抗拉、抗内压、抗外挤及下深等)、水泥返深、油补距、套补距等。