

Oil Well Stimulation

油井增产技术

Robert S. Schechter 著

刘德铸 等译

王鸿勋 赵政超 审订

石油工业出版社

Oil Well Stimulation

油 井 增 产 技 术

Robert S. Schechter 著
刘德铸 等译
王鸿勋 赵政超 审订

石 油 工 业 出 版 社

Oil Well Stimulation

Robert S. Schechter

Authorized translation from the English language edition, entitled OIL WELL STIMULATION, 1st Edition, ISBN:0139499342 by SCHECHTER, ROBERTS., published by Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall PTR, Copyright ©1992

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PETROLEUM INDUSTRY PRESS, Copyright © [*Publisher shall herein insert the Year of Publication*],

本书中文版由美国 Prentice Hall PTR 授权石油工业出版社出版, 2003 年

版权所有, 翻印必究。

图字:01-2003-4183 号

图书在版编目(CIP)数据

油井增产技术/(美)谢克特(Schechter, R. S.)著;刘德铸等译.
北京:石油工业出版社,2003.7

书名原文:Oil Well Stimulation

ISBN 7-5021-4321-1

I. 油…

II. ①谢…②刘…

III. 石油开采-生产技术

IV. TE35

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 056961 号

石油工业出版社出版发行
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)
北京正阳久科技开发有限公司排版
北京华正印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 26.75 印张 688 千字 印 1—1000

2003 年 7 月北京第 1 版 2003 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-4321-1/TE·3031

定价:68.00 元

《油井增产技术》翻译委员会 成员名单

主 译:刘德铸

副主译:关志忠

翻 译:吕 俊 刘 伟 吴志俊 李 军 张 静 金勇军
赵 力 庄晓梅 朱龙超 金丽华 李国玉 刘建勇
宋翔虎 孙青松 龙 华 陈志华 刘 宏 韦志华

张潮润

译 校:翟应虎 张士诚

审 订:王鸿勋 赵政超

序 言

本书适于攻读石油工程专业课程以及油气井增产工程专业课程的大学本科生和研究生使用,可作为石油工程专业本科生和研究生的专业课教材。本教材资料翔实,且每章都附有课后习题,这些习题按计算过程难易程度划分成两类,以满足本科生和研究生对课程内容的不同程度的需要。作者希望本教材所给资料对从事油气井增产工程技术研究或产品开发的科研人员有所裨益;并可将本教材中某些章节作为石油工业工程技术人员专题课程短训班教材使用,以适应石油工业矿场工程技术人员继续深入学习专业知识的需要。本教材主要适用对象是研习石油工程专业课的大学生。至今,全球范围内该专业尚无与本课程有关的综合性教材。尽管已出版几部有关石油工程专业油气井增产工程类论述性专著,但这些专著所阐释的内容,通常对所论问题中更具基础性的原理方面及精确量化表示工艺过程方面探究均不够深入,所论问题亦均以定性化的方式讨论且无实例加以佐证。这种专著只适用于石油工程专业技术人员短训班学习教材。这类短训班教材虽具专著的论述特点,虽然作者对石油增产工程工艺过程模拟方法的复杂程度有深刻认识,但他们对这种模拟方法存在较深疑虑,并对复杂模拟过程简化为简易模拟过程的简化程度感到疑虑。因此这类著作作者仍不愿意采用可导致无效结果甚至是误导结果的简化模型;另一方面,当某一工艺过程必须由取决于时间和位置的一系列相互影响变量来表述时,若阐述内容是定性化问题时,学生们不易掌握这些变量的重要性且很难感知相关变量的相对重要性,故作者编著此书的初衷就是以模拟方法为本质内容。为便于教学,对工艺过程模拟方法进行简化似乎更好些。作者希望该方法并不是重要的教学方法,但可用于获取数学表达式。数学表达式的推理是本书的一个编写特点,也是本教材区别于其他同类教材的主要特征之一。学生可借助简单的手持计算器对所有的已开发出的数学模型进行评价,这些模型保留了工艺模拟过程的基本特点。在条件允许的情况下,采用这些相对简化模型所做预测结果已经与通过实验方法所获结果或借助复杂数值计算方法所获结果进行了比较,以重点说明这些模型的局限性并着重阐述和强调了工艺过程的真实复杂性。在许多计算实例中所采用的方法较新且有所不同,可以预测出这种方法将产生新概念。这种预测结果具有真实性。本书作者希望这些新概念可以引导课题研究路径新方向并最终产生新工艺方法或新产品。如果这种结果真正地发生了,那么这将是开始研究某问题时未能预料到的附加特性。

本书涵盖了许多计算实例及已按难易程度划分类别并标以星号(“*”)的章末课后习题。第一种较简单的标以单星号(“*”)的章末课后习题适用于强化学生对该章所阐释基本概念的理解,难易程度与该章各节中所给的计算实例难易程度相同;第二种较繁难的习题标以双星号(“**”),适用于更具思维推理能力的研究生求解,这类习题具有综合性的特点,需将几个相关概念统一,需要数值计算,且在特殊条件下甚至需要推导新的相关方程式。第二种较繁难的习题主要适用于研究生练习时使用,本科生可按自身实际能力试做。

在本书撰写早期,作者决定舍弃使用石油工业矿场单位并严格按照国际单位制计算各题。但是,本书偶尔也会以矿场单位表示变量的量纲并与该单位相应的国际单位数值结合,以帮助读者更加熟练地使用矿场单位且示明各参数或变量的大小。由于未采用矿场单位,本书所列方程式未与石油工业工程文献中常见的定义、不明确常数进行混乱无序地排列,但这类计算所

用常数在始终一致性系列单位中却有效。本书各例计算中均采用国际单位制。作者希望美国石油工业在不久的将来也能过渡到采用国际单位制的做法中来。随着石油工业发展的最终国际化,世界各国终将普遍采用国际单位制。在解题过程中,建议读者取以矿场单位给定的所有数据,并将该矿场单位换算成国际单位。鉴于此,本书末附有石油增产工程常用单位制及单位换算对照表。

本书中给出了某些矿场工作人员将其定性地划分为油气井增产措施范围以外的研究课题。但是,这类研究课题,特别是本书中以专章论述的射孔方法(第三篇第七章)和防砂(第六篇第十九章)均与使措施井保持良好生产动态密切相关,从实事求是的根本观点出发,这些章节不能完全与该研究课题的基本概念分离,仅凭人为的主观臆断而割离这些专业性很强、内在联系很紧密的各相关章节的工作方法是极端不负责任的行为;地层物质性质和注入井中措施流体(见第一篇中的第一章、第二章、第三章)特性是对储集层物质以及增产措施入井流体的相关化学性质、热性质和机械特性的综合研究才能进行更深入认知的复杂性质。在评价任何油气井增产工艺措施效果时这些性质至关重要。在某项课题研究的初始阶段,研究人员对这些性质的理解程度越深,所获得的经济回报率越高。

地层损害通常是需要对油气井施以增产措施的根本原因。所推荐的特殊措施方案及其最终的成功率关键取决于被消除的地层损害形成机理的承认与理解深度。任何专论油气井增产措施这一课题的专著忽略地层损害这一章节都是具有严重缺陷的教材。在承认地层损害重要性的基础上,所论地层损害专题范围(见第二篇中的第四章、第五章、第六章)甚是广泛。其他任何专著中未给出的地层损害方面的很多内容均在本材料中予以阐释。

油气井增产技术主要方法是水力压裂工艺方法(详见第四篇中的第八章、第九章、第十章、第十一章、第十二章)和基质酸化工艺方法(见第五篇中的第十三章、第十四章、第十五章、第十六章、第十七章和第十八章)。水力压裂工艺方法和基质酸化工艺方法这两项研究课题涵盖的内容范围介于从基本原理到方案设计的方法及新概念,本书则着重论述了酸化压裂工艺技术和基质酸化工艺方法。这些课题即使是有经验的实践者也极感兴趣。这两篇内容很适合作为石油工业短训班教材使用。本教材中各例题的求解结果与工业应用相关且有助于读者对油井增产工艺措施基础内容的理解。

位于美国奥斯汀的得克萨斯大学教授 A. D. Hill 及其学生们对本书给予的严肃认真的批评与商榷,使本人受益颇深,承蒙惠助,谨致谢意。本人对 Joye Johnson 女士所完成的本书部分手稿打印并进行编辑工作而对本书尽快出版所做的贡献表示感谢!最后,吾对本人之妻——Mary Ethel Schechter 不厌其烦并不遗余力地对本书手稿多次打印并修改打印文本所付的辛勤劳动表示深深谢忱。她在本书手稿打印及打印稿编辑过程中文字处理方面所具有的执著精神创造了“稳固而亲密的婚姻关系”的奇迹。

本书著者

石油工程
美国得克萨斯大学 专业双专业教授
化学工程

R. S. Schechter

译者前言

在中国大陆范围内引入由美国得克萨斯大学石油工程系石油工程专业与化学工程专业教授 R.S.Schechter 所著《油井增产技术》一书的目的旨在填补国内各高等学校石油工程专业与化学工程专业本科生和研究生学习油气井增产工程专业课程所需教材之空白,并为国内石油工业工程技术人员进一步深入学习专业知识提供可资借鉴的继续教育参考文献。继加入世界知识产权组织(WIPO)之后中国又正式加入世界贸易组织(WTO),这不仅要求国家政府部门通过入世在实现经济管理职能转变、产业结构调整、现代企业制度的建立以及立法司法体制改革等战略目标的同时,也会推动科技、教育、文化、卫生等其他业界的各项配套体制的市场取向的改革与完善。在这种宏观背景下,我们可以大胆地吸收和借鉴人类社会创造的一切优秀文明成果,吸收和借鉴当今世界各国一切反映社会化生产规律的先进经营方式和管理经验。有鉴于此,石油工业界的企业经营管理人员和广大科学技术人员正竭尽全力为中国石油工业的发展而努力奋斗,以适应目前国际经济全球化对人才素质提出的挑战,本书的引进与出版发行势必会为我们进一步提高石油专业技术知识容量起一定促进作用。

最早见于国际公认出版物中的油井增产技术文献的作者是 Whitman(1923)。Clark 等人(1948)曾推动该技术得以进一步发展。之后 Khristianovich&Zheltov(1955)及 Cooke(1976,1977)等人倡导此项技术。20 世纪 70 年代末期及 80 年代早期是油井增产技术应用于石油勘探开发工程的方兴未艾时期,西欧北海油气盆地成功地应用了油井增产技术措施,标志着该项技术已为提高石油采收率提供了切实可行的措施保证。此后,由西欧向东欧、南欧和北非等油气藏勘探开发工程中应用日趋增多的这种油气井增产技术得到长足发展。1973 年至 1979 年间世界原油价格波动所产生的石油经济危机导致了石油工程相关技术的相对停滞,尤其是 1985 年末至 1986 年初世界油气工业经济危机是自第二次世界大战以来的第五次石油经济危机,对包括油井增产技术在内的各种石油天然气勘探开发科学技术都产生了严重的负面影响。从 1987 年到 1990 年包括美国和西欧各国在内的水力压裂工艺技术在实验室研究和矿场先导试验及矿场工业化应用等方面均获得了突飞猛进的发展。而此期间前苏联(USSR)则因政治不稳、经济压力过大和技术限制等方面的原因仅在波罗的(Baltic)海地区以与外国公司合营的风险勘探开发管理方式钻了 25 口油气井。从 20 世纪 90 年代至今,油气井增产工艺技术在基础学科内涵上更加深入精细化,而在相关应用学科的外延上更加进一步扩展,是世界油气工业科技革命的助推器。以美国、英国、法国、挪威等科技发达国家为引领先驱的石油科技大军正对各种科学技术壁垒进行攻关并已有所突破。我国的石油工业上游工程科学技术继以 1988 年上半年钻井总数跃居世界第三位为其科技进步标志的后,仍以极强劲的发展态势前进。

油井增产技术随着现代科学技术的不断发展和日臻完善而日趋成为针对特种油气藏勘探开发特点的以进一步提高油气采收率、变难采储藏为可动用储藏,进而提高油气井经济效益的最具创造性、最有意义、最具开发前景的前沿科学技术之一。油气井增产工艺措施是石油与天然气勘探开发系统工程中不可缺少的最直接手段,是油气勘探开发过程中的一个规模大、技术复杂、投资多和风险大的技术和资金密集型工程,也是石油与天然气工业中耗资额高的专业工程以及参与世界石油与天然气勘探开发市场的主要竞争手段之一。油井增产技术是一门

综合而复杂的多学科交叉性技术学科,从基础理论上涉及数学、物理、化学、理论力学、热力学、流体力学、机械工程与控制理论、电工学、电子学、微电子学以及计算机科学与信息处理等学科,在生产实践中其广泛地涵盖着石油地质学、油藏工程学、材料力学、岩石力学、油田应用化学、多孔介质渗流理论、井下管柱力学与金属防腐工艺、试井工艺技术、仪器仪表与自动化控制工程学、地球物理测井技术以及工程经济评价和环境保护科学等应用性分支学科。

本书译者自始至终都力求遵循忠实原文、全面系统、深入细致地研究并斟酌原文精髓的翻译原则来阐释解原文。但因本书设专章论述的各相关专题实质内容与目前相应课题研究深度与广度之间仍存在着差距,诸如本书未论及不同的地质条件和不同油藏特性条件下的超深井、大位移井或位移距离超长井、丛式井、侧钻水平井、分支井或多底井、绕障分支井等特殊井身结构,复杂井眼轨迹的油气井综合配套增产工艺技术开发、先导试验及工业化应用问题;极地油气田、深水油气田等自然环境十分苛刻条件下综合配套增产工艺技术开发与应用问题;超稠油油藏、复杂断块油气藏、低渗致密油气藏、高温高压含硫油气藏等特种油气藏的综合配套增产工艺技术的开发与应用,以及环境保护要求标准极高的湿地、沼泽、沙漠、草原、湖泊、浅海(包括必须采取可持续发展措施加以保护的各级自然保护区)等特殊环境条件下综合配套增产工艺技术措施的研究、开发与各种方案编制及应用问题。而这些问题也是世界各国石油科技工作者所为之努力奋斗的攻关目标课题,尤其是能够满足现代社会对环境保护要求标准并专适于各种油气藏勘探开发要求的生物可降解压裂液、酸液及专用化学添加剂的研究与开发及相应矿场试验与技术推广等问题一直是悬而未决的研究课题,这也是石油科技工作者肩上的重任。衷心希望广大同道者能够取其精华、去其糟粕,从仁者见仁、智者见智的评价角度来评述本书。本书作为基础性专业课教材仍具有独创性、基础性和实用性等特点,尽管译者在本书定稿过程中曾参照多部有关参考书及相关课题研究论文和子课题研究报告,但终因国内相关参考资料甚为稀缺且本书在国内乃是填补专业教材的美国大学教材,再加之译者专业技术知识及专业英语修养水平和翻译能力所限,虽竭尽全力,但与本书已达到的和我们试图达到的目标还有很长距离,仍将存在疏漏或不足之处,有时亦会出现谬误之译释,恳请有识之士批评指正,诚望各位专家不吝赐教,以期订正!

译者

2003年2月2日

目 录

第一篇 地层物质和措施流体的性质

第一章 储集层与层内流体的化学性质	(3)
1.1 岩石组分与矿物	(3)
1.1.1 砂岩组分	(3)
1.1.2 灰岩组分	(4)
1.1.3 页岩组分	(4)
1.1.4 沉积岩组分	(5)
1.2 粘土	(5)
1.2.1 粘土矿物的基本结构组成	(5)
1.2.2 储层内粘土矿物的赋存	(8)
1.3 粘土与其他矿物的表面电荷	(9)
1.3.1 表面电荷起源	(10)
1.3.2 双电荷层	(12)
1.3.3 表面电荷在实践中的重要性	(14)
1.4 阳离子交换或碱交换作用	(14)
1.5 地层水化学性质	(20)
1.5.1 阳离子	(20)
1.5.2 阴离子	(21)
1.5.3 硅	(21)
1.5.4 地层水组分的表示方法	(22)
1.5.5 地层水总碱度	(24)
1.6 原油化学组成简介	(24)
参考文献	(24)
习题	(25)
第二章 地层物质的物理性质	(28)
2.1 地层岩石的机械性质	(28)
2.1.1 线弹性	(28)
2.1.2 弹性介质中波的传播	(30)
2.1.3 岩石抗嵌入强度	(32)
2.2 地层流体机械性质	(32)
2.2.1 等温压缩系数	(32)
2.2.2 流体粘度	(33)
2.3 多孔岩石热性质	(39)

2.3.1 热容	(39)
2.3.2 热导率	(39)
2.4 地层流体热性质	(40)
参考文献	(42)
习题	(43)
第三章 注入流体的化学性质和机械性质	(45)
3.1 水基聚合物溶液的化学性质	(45)
3.1.1 天然聚合物与合成聚合物简介	(46)
3.1.2 改性聚合物	(47)
3.1.3 酸的稳定性	(48)
3.1.4 交联作用	(48)
3.2 聚合物溶液的机械性质	(49)
3.2.1 幂律模型	(49)
3.2.2 紊流时的降阻作用	(52)
3.3 表面活性剂	(54)
3.3.1 阴离子型表面活性剂	(56)
3.3.2 阳离子型表面活性剂	(58)
3.3.3 非离子型表面活性剂	(59)
3.3.4 碳氟化合物型表面活性剂	(60)
3.4 泡沫	(61)
3.4.1 泡沫稳定性	(61)
3.4.2 泡沫流变特性	(63)
3.5 乳状液	(66)
3.5.1 乳状液稳定性	(66)
3.5.2 乳状液流变特性	(70)
3.6 酸	(70)
3.6.1 酸体系	(70)
3.6.1.1 无机酸	(71)
3.6.1.2 有机酸	(71)
3.6.1.3 粉末酸	(72)
3.6.1.4 酸混合体系	(72)
3.6.1.5 缓速酸	(72)
3.6.2 酸与碳酸盐岩反应化学计算方法	(73)
3.6.3 酸与碳酸盐岩反应时的平衡状态	(75)
3.6.3.1 离解平衡状态	(76)
3.6.3.2 反应平衡状态	(76)
3.6.4 酸与砂岩反应化学计算方法	(79)
3.6.5 酸与砂岩反应时的平衡状态	(80)
参考文献	(81)
习题	(83)

第二篇 地层损害

第四章 地层损害的成因	(89)
4.1 引言	(89)
4.2 悬浮微粒的俘获	(89)
4.2.1 长距离力——范德华力	(92)
4.2.2 长距离力——双电层斥力	(93)
4.2.3 长距离结构力	(95)
4.2.4 短距离斥力	(95)
4.2.5 DLVO 理论	(95)
4.3 产生地层损害的物理过程	(97)
4.3.1 钻井液与完井液	(97)
4.3.2 微粒从孔隙壁脱附	(97)
4.3.2.1 中间有流体流过而隔离开的吸附到平面上的球形微粒	(98)
4.3.2.2 脱附机理	(100)
4.3.3 储层岩心的淡水驱作用	(102)
4.3.4 pH 值对淡水驱的影响	(104)
4.3.5 层内乳化作用	(105)
4.4 产生地层损害的化学过程	(108)
4.4.1 多孔介质内的流体渗流前缘的运移	(108)
4.4.1.1 线性体系	(108)
4.4.1.2 径向体系	(114)
4.4.2 中间过渡层中的沉淀作用	(116)
4.4.2.1 离子交换与沉淀作用	(116)
4.4.2.2 溶解与沉淀	(116)
4.4.3 蜡质沉淀	(118)
4.4.4 沥青烯沉淀	(119)
4.5 产生地层损害的生物学过程	(119)
参考文献	(119)
习题	(122)
第五章 地层损害模拟	(126)
5.1 平行路径模型	(126)
5.1.1 基本概念	(127)
5.1.2 某些实验结果	(129)
5.1.3 淡水损害模拟	(131)
5.2 网络模型	(133)
5.2.1 有效介质理论	(133)
5.2.2 被损害地层渗透率	(136)
参考文献	(138)

习题	(139)
第六章 实施增产措施前的试井	(141)
6.1 油井实施增产措施前的压降试井	(141)
6.2 表皮因子的重要意义	(144)
6.3 气井的压力测试	(145)
参考文献	(145)
习题	(145)

第三篇 射孔方法

第七章 射孔工艺技术	(151)
7.1 聚能射孔器	(151)
7.2 聚能射孔器性能	(152)
7.2.1 岩心渗流效率	(154)
7.2.2 射孔效率	(155)
7.3 决定射孔孔眼净度因素	(160)
7.3.1 完井液因素	(160)
7.3.2 产液的渗流因素	(160)
7.3.3 压差因素	(161)
7.4 射孔方案设计	(162)
7.4.1 射孔孔眼穿透深度	(162)
7.4.2 射孔密度	(163)
7.4.3 射孔相位角	(163)
7.4.4 射孔孔眼入口直径	(164)
7.4.5 综合设计诺模图	(164)
7.5 为水力压裂措施而射孔	(165)
7.5.1 破裂压力计算	(165)
7.5.2 限流射孔	(166)
参考文献	(170)
习题	(171)

第四篇 水力压裂工艺技术

第八章 裂缝动态几何形状	(175)
8.1 裂缝方位	(175)
8.1.1 破裂压力	(175)
8.1.2 垂直裂缝或水平裂缝	(176)
8.2 垂直裂缝	(179)
8.2.1 裂缝方位角	(179)
8.2.2 裂缝高度	(181)

8.2.3	裂缝动态宽度	(183)
8.2.4	裂缝长度	(185)
8.2.5	井眼压力	(190)
8.2.6	非牛顿流体有效粘度	(191)
8.3	水平裂缝和扁平形裂缝	(192)
8.3.1	径向裂缝内的层流	(192)
8.3.2	水平裂缝的体积平衡	(193)
8.3.3	裂缝宽度	(194)
8.4	流体滤失	(195)
8.4.1	地层流体压缩特性	(195)
8.4.2	粘性流体侵入带	(196)
8.4.3	造壁作用的压裂液	(196)
8.4.4	压裂液滤失总系数	(197)
8.4.5	垂直裂缝的流体平均滤失系数	(198)
参考文献		(201)
习题		(203)
第九章 压裂液温度		(207)
9.1	垂直裂缝内压裂液温度	(207)
9.1.1	体积平衡与能量平衡	(207)
9.1.2	导入裂缝内的热能	(209)
9.1.3	温度分布	(209)
9.1.4	压裂液平均温度	(211)
9.2	水平裂缝内或扁平形裂缝内压裂液的温度	(212)
9.3	流入射孔孔眼内的压裂液温度	(213)
参考文献		(214)
习题		(215)
第十章 裂缝最终导流能力		(217)
10.1	加支撑剂水力压裂技术	(217)
10.1.1	支撑剂类型	(217)
10.1.2	被支撑裂缝的导流能力	(218)
10.1.3	支撑剂的沉降速度	(221)
10.1.4	裂缝闭合时间	(224)
10.2	酸压裂技术	(225)
10.2.1	酸液穿透距离	(225)
10.2.2	理想裂缝宽度	(231)
10.2.3	酸蚀裂缝导流能力	(233)
参考文献		(234)
习题		(236)
第十一章 水力压裂井产能		(238)
11.1	自喷期生产阶段	(238)

11.2 半稳态生产或稳态生产阶段	(239)
11.2.1 未受损害井增产比	(239)
11.2.2 受损害井增产比	(240)
11.2.3 紊流气井增产比	(241)
11.2.4 裂缝导流能力变化的井增产比	(241)
11.3 投产初期压裂井产量	(244)
11.4 自喷期生产	(250)
参考文献	(252)
习题	(252)
第十二章 水力压裂工艺方案设计与最优化理论	(256)
12.1 加支撑剂水力压裂工艺	(256)
12.1.1 压裂液和添加剂的选择	(256)
12.1.2 加支撑剂水力压裂工艺施工方案设计	(260)
12.1.3 压裂工艺施工方案设计需考虑的因素	(268)
12.2 酸压裂技术	(268)
12.2.1 压裂液和添加剂的选择	(268)
参考文献	(276)
习题	(277)

第五篇 酸反应速率与基质酸化

第十三章 酸化方法	(281)
13.1 酸化方法简介	(281)
13.1.1 酸种类	(281)
13.1.2 施工前准备	(283)
13.1.3 酸液添加剂	(283)
13.2 通过酸化措施在理论上可获得的产能提高百分比	(283)
13.3 最大注入排量	(284)
参考文献	(285)
习题	(285)
第十四章 酸与储层矿物质反应速率	(286)
14.1 酸与储层矿物质的反应	(286)
14.1.1 表面反应速率	(286)
14.1.2 盐酸与灰岩的反应	(288)
14.1.3 盐酸与白云岩的反应	(289)
14.1.4 长石与氢氟酸的反应	(289)
14.1.5 石英与氢氟酸的反应	(290)
14.1.6 粘土与氢氟酸的反应	(291)
14.2 酸溶液中的传质	(293)
14.2.1 酸扩散作用	(293)

14.2.2 对流传质	(294)
14.2.3 平行板式反应器	(295)
14.2.4 转盘装置	(296)
参考文献	(297)
习题	(298)
第十五章 砂岩基质酸化理论	(300)
15.1 酸反应平衡方程式	(300)
15.1.1 孔隙结构	(300)
15.1.2 多孔介质内的渗流与酸化反应	(303)
15.1.3 缓慢反应层特性	(312)
15.1.4 快速反应矿物质前缘的速率	(313)
15.2 酸化层渗透率	(314)
15.3 酸液渗过多孔介质时的径向流	(316)
15.3.1 与线性流比较	(316)
15.3.2 反应前缘的酸浓度	(316)
15.3.3 反应前缘的运移	(317)
15.4 通过射孔孔眼酸化	(319)
15.4.1 酸在射孔孔眼周围基质中的缓慢反应	(320)
15.4.2 酸在射孔孔眼内快速反应前缘的位置	(320)
15.4.3 与精确数值计算结果的比较	(321)
参考文献	(322)
习题	(323)
第十六章 砂岩基质酸化措施方案设计	(327)
16.1 砂岩基质酸化措施简介	(327)
16.2 酸诱导的损害	(327)
16.2.1 微粒运移导致的损害	(328)
16.2.2 二氧化碳导致的损害	(328)
16.2.3 沉淀损害	(329)
16.3 岩心机械性质	(335)
16.4 前置液	(335)
16.5 酸化措施	(336)
16.5.1 策略	(336)
16.5.2 酸组分	(337)
16.5.3 径向流穿透距离	(337)
16.5.4 径向流的酸化体积	(338)
16.6 后置液	(342)
16.6.1 添加剂	(343)
16.7 替代酸组分	(343)
16.7.1 SIGMA	(343)
16.7.2 pH 值较高的酸	(344)

16.7.3 氟硼酸	(344)
16.7.4 系列氢氟酸体系	(344)
参考文献	(345)
习题	(346)
第十七章 碳酸盐岩基质酸化基本原理及方案设计	(348)
17.1 碳酸盐岩酸蚀孔洞——一种腐蚀空洞	(348)
17.2 环形孔隙结构的流体滤失	(351)
17.2.1 滤失范围	(353)
17.3 基质酸化模拟	(355)
17.3.1 平行孔隙体系的模拟结果	(355)
17.4 酸蚀孔洞的分数维描述	(356)
17.4.1 分数维	(356)
17.4.2 径向流模型	(358)
17.5 碳酸盐岩基质酸化方案设计	(359)
17.6 碳酸盐岩基质酸化新方法	(361)
17.6.1 原地酸的形成	(362)
参考文献	(363)
习题	(363)
第十八章 酸液添加剂	(366)
18.1 基质酸化转向剂	(366)
18.1.1 转向剂的优点	(366)
18.1.2 酸液转向添加剂	(367)
18.1.3 流体转向简化理论模型	(368)
18.1.4 流体同时转向与酸反应特性	(370)
18.1.5 滤饼压缩特性	(371)
18.1.6 岩心测试结果误导吗	(371)
18.2 防腐剂	(371)
18.2.1 金属腐蚀	(372)
18.2.2 防腐剂选择建议	(374)
18.3 络合剂	(375)
18.4 表面活性剂	(375)
18.5 互溶剂	(376)
参考文献	(376)
习题	(378)

第六篇 防砂方法——砾石充填工艺方法与固砂技术

第十九章 防砂	(383)
19.1 非胶结性地层开采过程中出砂问题	(383)
19.2 出砂与井产能	(384)

19.2.1	砂体破裂机理	(384)
19.2.2	井出砂预测技术	(385)
19.2.3	优化射孔工艺防砂方法	(386)
19.3	砾石充填工艺措施	(386)
19.3.1	砾石充填工艺原理	(386)
19.3.2	选择砾石尺寸	(387)
19.3.3	选择衬管或筛管	(392)
19.3.4	砾石质量	(393)
19.3.5	砾石充填工艺	(394)
19.4	斜井砾石充填工艺措施	(399)
19.4.1	低粘度载液	(399)
19.4.2	需考虑的水动力学因素	(399)
19.4.3	质量平衡总方程式	(401)
19.4.4	砾石砂丘平衡高度	(403)
19.5	挤树脂胶结充填近井疏松出砂层段	(405)
19.5.1	对树脂重要性能的要求	(405)
19.5.2	挤树脂固砂工艺过程	(406)
19.5.3	相分离过程	(406)
19.5.4	注后置液	(407)
19.5.5	激活剂	(407)
19.5.6	挤树脂	(407)
19.5.7	树脂胶结砾石充填体	(407)
参考文献		(407)
习题		(409)
附录 石油增产工程常用单位制及单位换算对照表		(412)