

国外油气勘探开发新进展丛书 (二)

GUOWAI YOUQI KANTAN KAIFA XIN JINZHAN CONGSHU

Reservoir

Formation Damage—Fundamentals, Modeling

Assessment, and Mitigation

油层伤害—— 原理、模拟、评价和防治

Reservoir Formation Damage—
Fundamentals, Modeling,
Assessment and Mitigation

石油工业出版社

〔美〕法鲁克·西维 编著

杨凤丽 侯中昊 等译 沈琛 审校

国外油气勘探开发新进展丛书(二)

油 层 伤 害

——原理、模拟、评价和防治

[美]法鲁克·西维 编著

杨凤丽 侯中昊 等译

沈 琛 审校

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是对目前地层伤害研究领域最新发展状况的归纳和总结。本书详细分析了在油气开采的各个阶段,在井眼附近引起地层伤害和流动效率减小的有关过程。介绍了有关实验室取心测试分析方法和对地层伤害预测和控制所使用的各种模型和模拟方法,以及在油气储层中评价、诊断、最小化和控制地层伤害所采用的各种技术。包括基于实验室测试数据解释所建立的模型、对各种地层伤害问题的预测和模拟、使地层伤害最小化的一些策略评估、对于处理试验室和现场测试数据的科学指导等。

本书适合于从事地层伤害控制的石油工程师、化学工程师、环境工程师、地质学家、地球化学家和物理学家以及石油工程专业的本科高年级学生和研究生学习和参考;同时可作为行业培训课程、本科高年级学生和研究生石油工程课程。

图书在版编目(CIP)数据

油层伤害:原理、模拟、评价和防治/[美]法鲁克·西维(Faruk Civan)编著;杨凤丽等译. —北京:石油工业出版社,2003.7
(国外油气勘探开发新进展丛书;2)

书名原文: Reservoir Formation Damage—Fundamentals,
Modeling, Assessment, and Mitigation
ISBN 7-5021-4334-3

I. 油…

II. ①法… ②杨…

III. 油层—保护

IV. TE258

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 063217 号

©2000, Gulf Publishing Company, Houston, Texas

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopy, recording, or any information storage and retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

石油工业出版社出版
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)
北京乘设伟业科技排版中心排版
石油工业出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 32.75 印张 838 千字
2003 年 7 月北京第 1 版 2003 年 7 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5021-4334-3/TE·3036
定价: 115.00 元

《国外油气勘探开发新进展丛书》(二)

编 委 会

主 任：刘宝和

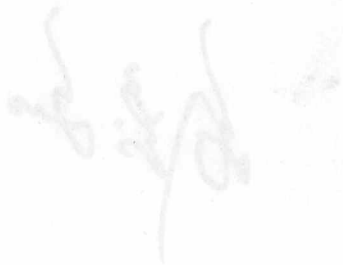
副 主 任：冉新权 张卫国

编 委：张正卿 刘德来 李 阳 沈 琛

何江川 阎建华 周家尧 张仲宏

李 斌 咸玥瑛 汪大锐 钟太贤

北京石油勘探开发研究院



(二)《井丛集报油开探国外》序

为了跟踪国外油气勘探开发的新理论、新技术、新工艺,提高中油股份公司油气勘探开发的理论和技术水平,提高整体经济效益,中油股份公司勘探与生产分公司有计划地组织有关专家对国外油气勘探开发及生产方面的新技术、新理论、新成果进行调研引进、吸收,并翻译出版,推荐给油田广大技术人员及管理干部,以期能达到促进生产、更新知识、提高业务水平及技术水平的目的。第一批引进的5本专著出版后,产生了较好的社会效益,得到了广大读者的高度关注和认可,普遍认为翻译质量高,出版质量好,内容满足实际需要。

为了进一步搞好股份公司石油勘探开发的科技发展事业,促进石油工业发展,我们在第一辑出版的基础上,经过多次调研、筛选,又推选出国外最新出版的5本专著,即《油藏评价一体化研究》、《油层伤害——原理、模拟、评价和防治》、《油藏工程实践》、《异常高压气藏》、《酸气开发设计指南》,以期追踪国外油气田勘探开发的热点问题和切合我国油气田开发实际需要的实用技术。

在全套丛书的引进、翻译出版过程中,勘探与生产分公司和石油工业出版社组织了一批著名专家、教授和有丰富实践经验的油田工程技术人员担任该书的翻译和审校人,并使本套丛书得以高质高效地出版。希望各油田及科研院校从事于勘探、开发工作的管理人员、技术人员以及研究人员读读这套丛书,同时在实践中应用之,这将会对今后的工作起到一定的指导和推动作用,为搞好油田勘探开发,实施低成本战略,创造更大效益做出贡献。

中国石油天然气股份有限公司副总裁

译者前言

本书从引起地层伤害的储集岩表征、引起地层伤害的孔隙介质作用的表征、颗粒作用引起的地层伤害、有机和无机作用引起的地层伤害、潜在地层伤害的评价、泥浆滤液与固体侵入以及泥饼形成和地层伤害的诊断和减轻等七个方面对油藏地层伤害进行了全面系统地论述,可为读者提供地层伤害的室内研究、伤害模型、伤害预测与模拟、伤害预防和减轻以及伤害的控制和补救等方面的系统知识。正如本书作者所述,“本书适用于从事地层伤害控制的石油工程师、化学工程师、环境工程师、地质学家、地球化学家和物理学家以及石油工程专业的本科高年级学生和研究生。因此本书可作为行业培训课程、本科高年级学生和研究生水平的石油工程课程。对地层伤害课程和从事钻井、采油和模拟研究的人员尤其推荐此书。”

全书共分 23 章,同济大学的杨凤丽教授翻译了本书的序言、第 1 章至第 9 章、第 13 章、第 14 章,胜利油田的侯中昊高级工程师翻译了第 10 章至第 12 章、第 15 章至第 23 章,杨凤丽教授和胜利油田的张宏逵教授级高级工程师负责对全文进行了统稿。中国石油化工集团公司沈琛教授级高级工程师负责审校了全书。另外,同济大学硕士研究生王清参与了第 4、第 5、第 13 章的翻译。

翻译的过程也是我们自己学习的过程,每一个参加这项工作的人都从中受益匪浅,原书中也存在一些错误,我们在翻译过程中都一一作了修改。由于经验不足,翻译过程难免存在错误,如果读者发现有不妥之处,欢迎批评指正。

译者

2003 年 6 月

原 著 序

无论在在工作中还是在经济上,地层伤害都是不受欢迎的。它发生在对地下油气储层开采过程,包括采油、钻井、水力压裂裂缝、修井操作等的各个阶段。因此,为了有效地对油气储层进行开采,对地层伤害做出评价、控制和防治是最重要的。这些伤害是由化学的、物理的、生物的、地层与流体间的热作用,以及在应力和流体剪切力作用下地层的形变等各种不利因素所产生的。对地层伤害的检测包括渗透率损害、井壁污染和井产量降低。在本书中,适当提供了一些实验方法和分析技术来帮助理解在油气储层中对地层伤害的诊断、评价、预防和控制。

本书提供了在油气开采的各个阶段,在井眼附近引起地层伤害和流动效率减小有关过程的基本理解。回顾了基于实验室取心测试分析和解释所建立模型以及对地层伤害预测和控制所使用的各种模型和模拟方法,以及在油气储层中评价、诊断、最小化和控制地层伤害所采用的各种技术。重点在于对岩心、流体、颗粒间的相互作用,流体和颗粒渗入,滤饼、地下移动、运移、细粒沉积,有机与无机沉淀,结垢、孔隙度和渗透率变化,在实验室和储集层中的结构以及单相和多相流体系统的影响等。

地层伤害涉及多学科的内容,因此吸引着众多的研究人员。本书是对目前地层伤害研究领域最新发展状况的扼要重述。目的是想成为一种涉及多方面知识、方便的资料来源。为了不违背作者的本意,对于所涉及的资料,我尽量用最详尽的语言转述。本书适用于从事油气储层开采工作,并涉及各种地层伤害问题的研究人员参考,本书提供了涉及不同方面地层伤害的理论和实际知识,包括基于实验室测试数据解释所建立的模型、对各种地层伤害问题的预测和模拟、使地层伤害最小化的一些策略评估、对于处理实验室和现场测试数据的科学指导等。

在搜集、分析和系统整理近几年来油气储层地层伤害研究领域最新发展方面,我已经作了最大努力。本书的目的在于对基本理论和出现在文献中的实验和理论方法提供一种快速的、和全面的概述。当然,它不是对研究成果百科全书式的证明材料的描述,它只是讨论引起地层伤害和井产量降低的过程,系统展示了对地层伤害的诊断、测量、开采和模拟的各种方法,描述了对储集层伤害的评价、最小化、控制和防治技术。

本书适用于从事地层伤害控制的石油工程师、化学工程师、环境工程师、地质学家、地球化学家和物理学家以及石油工程专业的本科高年级学生和研究生学习与参考。因此本书还可作为行业培训课程、本科高年级学生和研究生水平的石油工程课程的教材。对从事地层伤害、钻井、采油和模拟的研究人员尤其推荐此书。从本书中读者将:

(1)了解地层伤害过程的机理和基本理论背景;(2)熟悉在地层伤害评价中所采用的测试、建模和模拟技术;(3)能研究和制定一些将不利因素最小化和避免地层伤害发生的较好的管理策略。

本书中的资料来源于行业短期培训课程和在 Oklahoma 大学石油和地质工程学院的课程讲义。

我和致力于研究及处理和减缓各种地层伤害问题的研究人员进行过讨论,他们已努力在

地层伤害、开发新技术和对有效检测、评价、减缓储层伤害方面积累了相当有价值的知识和经验,他们的研究成果已发表在各种文献中。我很高兴能有这样一个机会来分析、归纳、翻译和介绍地层伤害领域的最新进展。本书中使用的很多图、表和其他有关资料是从不同研究人员、同事和组织机构发表的文献中摘录出来的,包括:学院出版社;AAPG——美国石油地质家协会;ACS——美国化学协会;AIChE——美国化学工程师协会;美国物理研究院;API——美国石油协会;ASME——美国机械工程师协会;A. A. Balkema 出版社;Baroid 钻井液公司;加拿大矿业、金属和石油协会;化学处理杂志;Chemicky Prumysl;计算机机械公司;Elsevier 科学、地质协会;电子和电子工程师协会;意大利地热研究国际协会;伊利诺伊国家地质勘探局;John Wiley & Sons 有限公司;Marcel Dekker, Inc. ; M-I L. L. C. ; Plenum 出版社;俄克拉何马大学 Sarkeys 能源中心;SPE;SPWLA——专业录井分析协会;Transportation Research Board;华盛顿特区国家研究院;土耳其油气杂志;美国能源部。另外,G. Atkinson, T. Dewers, A. Hayatdavoudi, I. B. Ivanov, P. R. Johnson, P. A. Kralchevsky, R. Philip, T. S. Ramakrishnan, M. M. Reddy, G. W. Schneider, H. Tamura, 以及 K. J. Weber 允许使用他们发表的资料;伊利诺伊国家地质勘探局的 B. Seyler 提供了本书中的图片。对以上这些合作和许可一并表示感谢!

我还要感谢海湾出版公司, Timothy W. Calk, 以及 Execustaff Composition Services 在本书的资料收集和出版过程中给予的支持。特别感谢 Susan Houck 非常仔细地打印了我的手稿。

书中难免有错误之处, 欢迎作者批评指正。

Faruk Civan, 博士

版 权 声 明

本书英文书名为“Reservoir Formation Damage—Fundamentals, Modeling, Assessment, and Mitigation”。

本书经由美国 Gulf Publishing Company 授权翻译出版, 中文版权归石油工业出版社所有, 侵权必究。

图字 01-2002-1039

Barak Civan, 博士

目 录

1 地层伤害概述	(1)
1.1 概要	(1)
1.2 引言	(1)
1.3 常见的地层伤害问题、因素和机理	(2)
1.4 认识和防治地层伤害的研究组	(4)
1.5 本书的目的	(4)
参考文献	(4)

第一部分 引起地层伤害的储集岩表征

2 含油地层的矿物学和矿物敏感性	(9)
2.1 概要	(9)
2.2 引言	(9)
2.3 含油地层的成因	(9)
2.4 沉积岩的组成	(9)
2.5 含油地层的组成	(10)
2.6 沉积地层的矿物敏感性	(12)
2.7 粘土膨胀机理	(17)
2.8 粘土膨胀模型	(19)
2.9 渗透性排斥压力	(20)
2.10 吸水速率	(20)
2.11 粘土膨胀系数	(22)
2.12 粘土膨胀过程中的含水量	(22)
2.13 与时间相关的粘土膨胀系数	(23)
2.14 膨胀引起的孔隙度下降	(25)
2.15 膨胀引起的渗透率下降	(26)
2.16 讨论和归纳	(27)
2.17 结论	(28)
2.18 粘土含量的图示法	(28)
2.19 Hayatdavoudi 水化指数(<i>HHI</i>)	(29)
参考文献	(30)
3 含油气地层的岩石学特征及结构	(34)
3.1 概要	(34)

3.2	引言	(34)
3.3	岩石学特征	(34)
3.4	组构和结构	(34)
3.5	孔隙度	(35)
3.6	球形孔隙空间近似法	(35)
3.7	过流面积	(37)
3.8	迂曲度	(37)
3.9	孔隙的连通性	(37)
3.10	孔隙和孔喉大小展布	(38)
3.11	结构参数	(42)
	参考文献	(43)
4	岩石物理学——流体函数和参数	(46)
4.1	概要	(46)
4.2	引言	(46)
4.3	润湿性反转	(46)
4.4	端点饱和度	(49)
4.5	流动函数的变化:毛细管压力和相对渗透率	(50)
	参考文献	(53)
5	渗透率关系	(56)
5.1	概要	(56)
5.2	引言	(56)
5.3	卡曼—科泽尼 (Carman - Kozeny) 水力管模型	(56)
5.4	引入流动单元概念的卡曼—科泽尼 (Carman - Kozeny) 修正方程	(58)
5.5	因沉积作用造成蚀变的孔隙介质的 Carman - Kozeny 修正方程	(58)
5.6	流动效率概念	(59)
5.7	堵塞与非堵塞平行通道模型	(61)
5.8	多参数回归模型	(64)
5.9	网络模型	(64)
5.10	改进的 Fair - Hatch 方程	(64)
5.10.1	幂律流动单元方程	(65)
5.10.2	溶解和沉淀作用对孔隙度和渗透率的影响	(65)
5.10.3	沉积/溶解作用和应力对孔隙度和渗透率的影响	(66)
5.10.4	温度对孔隙度和渗透率的影响	(66)
5.11	练习	(67)
	参考文献	(67)
6	表征储集岩的仪器和实验室技术	(72)
6.1	概要	(72)
6.2	引言	(72)

6.3 地层评价.....	(72)
6.4 X射线衍射(XRD).....	(74)
6.5 X射线CT扫描(XRCT)	(75)
6.6 X射线荧光镜检查.....	(76)
6.7 扫描电子显微镜(SEM)	(76)
6.8 薄片岩石学(TSP)	(76)
6.9 岩石图像分析(PIA)	(77)
6.10 偏振光显微镜(PLM)	(77)
6.11 核磁共振波谱法(NMR)	(77)
6.12 声波技术	(78)
6.13 阳离子交换能力(CEC)	(78)
6.14 ξ 电位	(81)
6.15 润湿性	(82)
6.16 矿物的量化	(84)
参考文献	(86)

第二部分 引起地层伤害的孔隙介质作用的表征

7 孔隙介质中的多相、多物质传输	(91)
7.1 概要.....	(91)
7.2 孔隙介质中的多相、多物质系统	(91)
7.3 多物质、多相宏观传输方程	(94)
7.4 练习.....	(97)
参考文献	(97)
8 孔隙介质中的颗粒作用.....	(99)
8.1 概要.....	(99)
8.2 引言.....	(99)
8.3 颗粒作用	(100)
8.3.1 作用在颗粒上的力	(102)
8.4 孔隙骨架中颗粒作用的速率方程	(104)
8.5 练习	(112)
参考文献.....	(113)
9 孔隙介质中的晶体生长和结垢	(116)
9.1 概要	(116)
9.2 引言	(116)
9.3 无机沉淀	(116)
9.4 有机沉淀	(117)
9.5 结晶	(117)

9.6 颗粒的成核、生长和溶解	(117)
9.7 结晶动力学	(121)
9.8 颗粒在溶液中的生长与溶解	(123)
9.9 孔隙表面的结垢和溶解	(124)
9.10 溶解和沉淀引起的晶面位移	(126)
参考文献	(126)

第三部分 颗粒作用造成的地层伤害

10 单相流细粒运移和粘土膨胀伤害	(131)
10.1 概要	(131)
10.2 引言	(131)
10.3 薄片代数模型	(131)
10.3.1 模型公式的建立	(131)
10.3.2 典型情况的诊断方程	(136)
10.4 隔舱串联常微分模型	(139)
10.5 简化的偏微分模型	(141)
10.6 堵塞—未堵塞平行路径偏微分模型	(142)
10.7 考虑粘土质地层膨胀和内源、外源颗粒的模型	(146)
10.8 实验数据的模型辅助分析	(150)
10.8.1 Wojtanowicz 等人的模型的应用	(150)
10.8.2 Čerňanský和 Široký模型的应用	(152)
10.8.3 Gruesbeck 和 Collins 模型的应用	(156)
参考文献	(164)
11 两相流细粒运移产生的地层伤害	(167)
11.1 概要	(167)
11.2 引言	(167)
11.3 公式建立	(167)
11.4 流体与物质传递	(169)
11.4.1 流体饱和度和压力的确定	(170)
11.4.2 各相物质浓度的确定	(172)
11.5 润湿性反转和颗粒界面传递	(173)
11.6 孔隙介质中的颗粒滞留	(173)
11.6.1 表面沉淀	(173)
11.6.2 孔喉堵塞	(173)
11.6.3 胶质移动	(174)
11.6.4 水动力移动	(175)
11.6.5 孔隙度和渗透率变化	(175)

11.7	注入面滤饼的形成	(175)
11.8	实验数据的模型辅助分析	(175)
11.8.1	地层细粒运移造成的伤害	(176)
11.8.2	颗粒侵入伤害	(177)
11.8.3	泥浆滤失伤害	(178)
	参考文献	(181)
12	泥饼滤失:机理、参数与模拟	(183)
12.1	概要	(183)
12.2	引言	(183)
12.3	不可压缩泥饼滤失	(185)
12.3.1	线性滤饼模型	(185)
12.3.2	径向滤饼模型	(190)
12.3.3	模型参数和诊断图的确定	(193)
12.3.4	应用	(196)
12.3.5	结论	(201)
12.3.6	包括细粒侵入的可压缩泥饼滤失	(201)
12.3.7	径向滤失公式的建立	(202)
12.3.8	线性滤失公式的建立	(204)
12.3.9	压力—流量关系式	(205)
12.3.10	颗粒沉淀速率	(207)
12.3.11	孔隙度和渗透率关系式	(208)
12.3.12	厚度平均的流体压力和滤饼厚度	(208)
12.3.13	结论	(216)
	参考文献	(218)

第四部分 无机和有机作用造成的地层伤害

13	无机结垢和地球化学地层伤害	(223)
13.1	概要	(223)
13.2	引言	(223)
13.3	地球化学现象——分类,公式化,模拟及软件	(225)
13.4	多孔介质中的反应	(226)
13.4.1	水相反应	(226)
13.4.2	矿物反应	(227)
13.4.3	离子交换和吸附反应	(228)
13.5	地球化学建模	(230)
13.5.1	水物质形成模型	(231)
13.5.2	地球化学模拟——反演和正演	(232)

13.5.3	反应—传输地球化学模拟	(233)
13.6	岩石—流体化学平衡的图形描述	(233)
13.6.1	饱和指数或矿物稳定性图表	(233)
13.6.2	活性—活性图	(234)
13.6.3	$pe - pH$ 图	(236)
13.6.4	地球化学模型辅助的固体矿物分析——水相相互作用和作图	(236)
13.6.5	矿物表征和分析	(237)
13.6.6	水分析	(237)
13.6.7	饱和指数图	(238)
13.6.8	$pe - pH$ 图	(246)
	参考文献	(256)
14	有机沉淀造成的地层伤害	(261)
14.1	概要	(261)
14.2	引言	(261)
14.3	沥青质油的特征	(262)
14.4	重质有机沉淀的机理	(267)
14.5	沥青质和蜡的相态及其沉淀包络线	(268)
14.6	沥青质的吸附	(272)
14.7	单相沥青质沉淀地层伤害的经验代数模型	(281)
14.8	单相沥青质诱发地层伤害的简化解析模型	(284)
14.9	单相沥青质沉淀的堵塞和非堵塞通道模型	(290)
14.10	沥青质和石蜡同时沉淀的双相、双重孔隙模型	(293)
14.10.1	模型的考虑	(293)
14.10.2	孔隙度和渗透率的关系	(294)
14.10.3	关于流体和物质运移的描述	(296)
14.10.4	相变	(298)
14.11	有机沉淀的单孔隙双相模型	(299)
14.11.1	公式表述	(300)
14.11.2	实验室数据的模型辅助分析	(303)
	参考文献	(307)

第五部分 潜在地层伤害评价

15	地层伤害的室内评价	(315)
15.1	概要	(315)
15.2	引言	(315)
15.2.1	油藏中地层伤害的基本作用	(316)
15.2.2	油藏配伍流体的选择	(316)

15.2.3	地层伤害测试实验装置	(316)
15.2.4	专用岩心夹持器	(319)
15.3	室内地层伤害试验指南和程序	(322)
15.3.1	推荐的室内地层伤害试验的操作	(322)
15.3.2	岩心流动试验	(328)
15.4	地层伤害问题的室内评价方法	(328)
15.5	液堵问题	(328)
15.6	泥浆伤害问题	(329)
15.7	钻井液——潜在伤害与伤害消除的评价	(329)
15.8	水力压裂液评价	(332)
15.9	修井和注入流体评价	(332)
15.10	修井伤害和补救化学剂评价	(334)
15.11	孔隙介质中细粒水动力脱离的临界隙间流速和 pH 值	(334)
15.12	实验室到井筒的标配	(338)
15.13	室内试验确定潜在地层伤害	(339)
15.13.1	岩相分析	(339)
15.13.2	试验研究的重点与设计	(341)
	参考文献	(358)
16	模拟软件的开发	(362)
16.1	概要	(362)
16.2	引言	(362)
16.3	基本模型方程描述	(363)
16.4	地层伤害模型的数值解	(365)
16.5	常微分方程	(366)
16.5.1	实例 1: Wojtanowicz 等人的细粒运移模型	(366)
16.5.2	实例 2: Čerňanský 和 Široký 的细粒运移模型	(366)
16.5.3	实例 3: Civan 的无细粒侵入不可压缩滤饼模型	(367)
16.5.4	实例 4: Civan 的有细粒侵入可压缩滤饼模型	(368)
16.6	偏微分方程	(368)
16.6.1	有限差分法	(368)
16.6.2	一阶导数	(369)
16.6.3	二阶导数	(370)
16.6.4	实例 5: Civan 和 Engler 的泥浆滤失侵入模型	(371)
	参考文献	(376)
17	室内和现场试验的模型辅助分析与解释	(379)
17.1	概要	(379)
17.2	引言	(379)
17.3	测量误差	(380)

17.3.1 随机误差	(380)
17.3.2 系统误差	(381)
17.3.3 误差分析——传播、影响和估算	(381)
17.4 敏感性分析——稳定性与条件性	(384)
17.5 模型的确认、改进和参数估算	(385)
17.5.1 试验系统	(386)
17.5.2 等价方程	(386)
17.5.3 用线性化模型进行参数估算	(386)
17.5.4 参数识别的历史拟合	(388)
17.5.5 敏感性分析	(389)
17.6 模拟确定潜在地层伤害	(389)
17.6.1 地层矿物和盐水	(389)
17.6.2 潜在地层伤害	(397)
17.6.3 碱驱	(410)
参考文献	(416)

第六部分 现场应用的地层伤害模型

18 钻井液滤失与固体侵入及滤饼形成	(423)
18.1 概要	(423)
18.2 引言	(423)
18.3 简化的单相钻井液滤液侵入模型	(426)
18.4 两相流井筒钻井液侵入和滤饼形成模型	(429)
参考文献	(434)
19 注水井的注入能力	(436)
19.1 概要	(436)
19.2 引言	(436)
19.3 注入能力比	(437)
19.4 区分内部和外部滤失过程的模型	(438)
19.4.1 过渡时间	(438)
19.4.2 内部滤失模型	(439)
19.4.3 外部滤失模型	(441)
19.4.4 滤失系数	(442)
19.5 注水能力试验的诊断型曲线	(443)
19.6 现场应用模型	(444)
19.7 兼顾内部和外部滤失的模型	(446)
参考文献	(446)
20 油藏砂粒运移和砾石充填伤害:应力诱发地层伤害,出砂趋势、预测与防治	(449)