

国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

碳酸盐岩缝洞型油藏开采机理
及提高采收率基础研究丛书

卷八

丛书主编 / 李 阳

碳酸盐岩缝洞型油藏 开发工程工艺技术

林 涛 著

DEVELOPMENT AND ENGINEERING TECHNOLOGY
OF PALEOKARST CARBONATE RESERVOIRS

石油石化
学术文库

THE ACADEMIC LIBRARY
OF PETROLEUM AND
PETROCHEMICALS



中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS



“十三五”国家重点出版物出版规划项目

碳酸盐岩缝洞型油藏开采机理
及提高采收率基础研究丛书

卷八

丛书主编/李 阳

碳酸盐岩缝洞型油藏 开发工程师工艺技术

DEVELOPMENT AND ENGINEERING TECHNOLOGY
OF PALEOKARST CARBONATE RESERVOIRS

林 涛 著

图书在版编目(CIP)数据

碳酸盐岩缝洞型油藏开发工程工艺技术/林涛著
·—东营:中国石油大学出版社,2017.12
(碳酸盐岩缝洞型油藏开采机理及提高采收率基础研究丛书;卷八)
ISBN 978-7-5636-5663-9

I. ①碳… II. ①林… III. ①碳酸盐岩油气藏—油田
开发—研究 IV. ①TE344

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 291434 号

书 名:碳酸盐岩缝洞型油藏开发工程工艺技术
作 者:林 涛

责任编辑:秦晓霞(电话 0532—86983567)

封面设计:悟本设计

出 版 者:中国石油大学出版社

(地址:山东省青岛市黄岛区长江西路 66 号 邮编:266580)

网 址:<http://www.uppbook.com.cn>

电子邮箱:shiyoujiaoyu@126.com

排 版 者:青岛友一广告传媒有限公司

印 刷 者:山东临沂新华印刷物流集团有限责任公司

发 行 者:中国石油大学出版社(电话 0532—86981531,86983437)

开 本:185 mm×260 mm

印 张:13.5

字 数:292 千

版 印 次:2017 年 12 月第 1 版 2017 年 12 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-5636-5663-9

印 数:1—1 500 册

定 价:93.00 元

丛书编委会

主 编：李 阳

编 委：袁向春 窦之林 曲寿利 计秉玉 康志江
王世星 胡向阳 鲁新便 林 涛 刘中春
金 强 姚 军 侯加根 张宏方 薛兆杰
刘学利 郑松青

丛书序一

碳酸盐岩油气在全球油气开采中占有极为重要的地位。碳酸盐岩油气资源量约占全球油气资源总量的 70%。我国广泛发育碳酸盐岩沉积,石油资源量高达 340×10^8 t,已经成为我国油气增储上产的重要接替领域。目前,我国碳酸盐岩油气探明储量的 2/3 分布在塔里木盆地,以缝洞型油藏为主。缝洞型油藏开发难度很大。

李阳院士带领的科技团队,以国家 973 计划项目“碳酸盐岩缝洞型油藏开发基础研究”“碳酸盐岩缝洞型油藏开采机理及提高采收率基础研究”和国家科技重大专项“碳酸盐岩油田开发关键技术”(“十一五”和“十二五”)等为依托,历时十余年,创建了缝洞型油藏开发理论与技术,实现了缝洞型油藏开发的重大突破,为塔河油田的科学高效开发提供了理论依据和技术支撑。

在上述科学研究、技术开发和生产实践所获得的科技成果的基础上,李阳院士领导的团队凝练提升并精心著述完成《碳酸盐岩缝洞型油藏开采机理及提高采收率基础研究丛书》。

该丛书共分 8 卷,分别涉及碳酸盐岩地质、地球物理、油藏建模、流动机理、数值模拟、注水开发、提高采收率、工程工艺方面的最新理论和技术成果,是目前该领域的代表性著作,集中体现了该领域理论研究和技術开发的现状、研究前沿和发展趋势。

该丛书系统阐述了缝洞型储集体形成机制模式、超深层缝洞型碳酸盐岩地球物理识别技术、分级分类岩溶相控建模技术、缝洞物理模拟及流体流动机制、缝洞型油藏数值模拟技术、空间结构井网及多井单元水驱技术、注气提高采收率技术以及储层改造、分段注水、稠油降黏、深抽等工程工艺技术,同时介绍了相关技术在塔河油田的应用情况,为碳酸盐岩缝洞型油藏高效开发提供了范例。

随着国内外海相碳酸盐岩油气勘探的深入发展,越来越多的碳酸盐岩缝洞型油气藏将不断被发现并投入开发。该丛书的出版问世必将大力促进碳酸盐岩缝洞型油气藏勘探开发的科技进步和高效生产。

该丛书可供油气勘探开发特别是碳酸盐岩油气勘探开发的科研人员、院校师生、现场技术人员和管理人员参考。



中国科学院院士

丛书序二

塔河油田是我国发现的特大型碳酸盐岩缝洞型油藏,具有超埋深、地质时代老、超高温高压、原油性质复杂等特点,其储集空间主要是大型溶洞和裂缝。针对如此特殊的油藏,国外还没有形成成熟的开发理论和方法。以李阳院士为首席科学家的项目组完成了国家重点基础研究发展计划项目“碳酸盐岩缝洞型油藏开发基础研究”“碳酸盐岩缝洞型油藏开采机理及提高采收率基础研究”,破解了缝洞型油藏开发这一世界级难题,从技术层面实现了油田开发由陆相碎屑岩油藏向海相碳酸盐岩油藏的跨越。在总结 973 计划项目重要成果的基础上,结合塔河油田的开发实践,形成了该丛书。

该丛书共包括 8 卷,既有理论创新,又有实用技术。其中,卷一和卷四分别解决了缝洞型油藏储集体形成机制和流体流动机理两个科学认识问题,阐明了岩溶作用与缝洞系统的成因联系,建立了缝洞系统发育模式,发展了缝洞型介质物理模拟流动实验方法,揭示了缝洞型介质的单相流动、两相流动及介质间流体交换规律,建立了流体流动的复合流动模型。卷二、卷三、卷五、卷六、卷七、卷八阐述了超深层缝洞储集体地球物理形体描述、多尺度非连续缝洞储集体建模、缝洞型油藏数值模拟、注水开发、注气提高采收率以及工程工艺等开发关键技术。上述成果推动了塔河油田的高效开发,填补了缝洞型油藏开发相关领域的空白,为保障国家能源安全、拓展海外资源领域提供了重要技术支撑。

该丛书是一套系统阐述缝洞型油藏开发理论与技术的著作,它对从事专业理论研究的学者具有一定的参考价值,对油田开发工作者的矿场实践具有重要指导意义。希望通过该套丛书的出版能引起更多学者对这一领域的关注,以促进我国碳酸盐岩油田开发技术的进一步发展。

罗平亚

中国工程院院士

丛书前言

陆相碎屑岩储层和海相碳酸盐岩储层是石油两大主要储层类型。中国石油工业起源于陆相碎屑岩油藏,陆相生油理论和注水开发技术在石油工业半个多世纪的快速发展中发挥了重要作用。随着勘探开发的重点由东部向西部和南方转移、由陆相向海相转移,我国西部和南方海相碳酸盐岩储层成为石油工业增储上产的主要领域之一。据国家新一轮油气资源评价,我国海相碳酸盐岩石油地质资源量为 340×10^8 t,主要分布在塔里木和华北地区的叠合盆地,具有埋藏深、时代老等特点,经历了多期构造运动的改造,复杂程度更高,勘探开发难度非常大。随着塔河油田的发现,海相碳酸盐岩开发成为新的研究领域。

海相碳酸盐岩油藏可分为孔隙型、裂缝-孔隙型和缝洞型三种介质类型。我国海相碳酸盐岩油藏中,缝洞型油藏占有重要的比重,约占探明储量的 $2/3$ 。塔河油田是我国已经发现的特大型碳酸盐岩缝洞型油藏,属于超深层、超高温高压复杂储层油藏。

碳酸盐岩孔隙型油藏开发主要采用碎屑岩油藏的开发理论与方法,裂缝-孔隙型油藏开发主要采用基于双重介质的开发理论与方法,但像塔河油田这样的以大型溶洞和裂缝为主要储集空间的油藏,由于国内外没有成熟的开发理论和方法,开发初期面临着钻井成功率低、储量动用程度低、产量递减快以及采收率低等开发困难。

缝洞型油藏在开发中主要存在三大难题:一是缝洞发育和分布规律认识难度大,由于经历了多期构造运动、多期岩溶叠加改造等过程,储集空间类型多、尺度差异大,储集体纵横向变化大;二是对缝洞型油藏流体流动规律的认识难度大,缝洞型油藏一般以缝洞单元为相对独立的流体储集体,单元内多种流动形式共存,介质间流体交换机理不清,流动规律复杂;三是补充能量、提高采收率难度大。

为成功开发这类油藏,迫切需要在碳酸盐岩缝洞型储集体形成机制、缝洞储集体定量描述、缝洞型油藏流体流动机理等方面进行攻关研究,建立碳酸盐岩缝洞型油藏开发基础理论与关键技术。

在上述背景下,2006年以来先后立项了国家重点基础研究发展计划(简称973计划)项目“碳酸盐岩缝洞型油藏开发基础研究(2006CB202400)”和“碳酸盐岩缝洞型油藏开采机理及提高采收率基础研究(2011CB201000)”,开展了碳酸盐岩缝洞系统发育模式及成因、缝洞储集体地球物理描述、缝洞型油藏数学表征、缝洞型油藏流体流动机理、缝洞型油藏数值模拟和缝洞型油藏高效开发等方面的研究,经过两期973计划项目10年的研究,形成了8个方面的重大进展:

(1) 创建了岩溶动力作用组合分析法,阐明了岩溶作用与缝洞系统的成因联系,揭示了碳酸盐岩缝洞型储集体形成机制,建立了缝洞系统发育模式。

(2) 自主研发了物理模型正演技术,形成了针对超深层缝洞体的小面元、高覆盖三维地震资料采集方法,研制了地震高精度成像方法,建立了超深层缝洞储集体地球物理形体描述技术。

(3) 突破了碎屑岩地质建模思路,以岩溶成因和构造控制建立溶洞和多尺度裂缝离散分布模型,提出了表征大型溶洞特征的非渗流属性参数方法,形成了多尺度非连续缝洞储集体建模方法。

(4) 发展了缝洞型介质物理模拟流动实验技术,揭示了缝洞型介质的单相流动、两相流动及介质间流体交换的机理与规律,建立了流体流动的复合流动模型。

(5) 在多重介质模型的基础上,建立了离散缝洞和多重连续介质混合数值计算模型,形成了较为完整的碳酸盐岩缝洞型油藏数值模拟技术,并在多个缝洞型油藏数值模拟研究中取得了很好的应用效果。

(6) 建立了缝洞单元综合评价技术,揭示了注水开发机理,形成了缝洞型油藏注水开发及优化技术。

(7) 建立了缝洞型油藏剩余油评价技术,揭示了剩余油形成及动用机制,明确了提高采收率的主要技术途径,形成了注氮气提高采收率技术及配套工艺。

(8) 形成了缝洞型油藏储层改造、分层注水、稠油降黏、深抽及堵水等工程技术。

为总结973计划项目研究成果,丰富碳酸盐岩油藏开发理论,推动该类油藏开发水平的提高,组织编写了本丛书。本丛书共分8卷,第一卷碳酸盐岩岩溶储层缝洞结构与充填模式,阐述碳酸盐岩缝洞系统发育规律、演化机理和控制机制;第二卷碳酸盐岩缝洞型油藏缝洞单元地球物理表征,阐述缝洞体地震正演模拟技术、超深层缝洞体地震精确成像方法和缝洞体地震识别与流体检测技术;第三卷碳酸盐岩缝洞型油藏地质建模方法,论述碳酸盐岩缝洞型油藏储集特征、缝洞单元的划分与评价和碳酸盐岩缝洞型油藏三维地质建模方法;第四卷碳酸盐岩缝洞型油藏流动机理,阐述缝洞型介质单相流体流动规律、两相流体流动规律和介质间流体交换规律;第五卷碳酸盐岩缝洞型油藏数值模拟技术与应用,阐述缝洞型油藏多重介质

数值计算模型、离散缝洞和连续介质混合数值计算模型；第六卷碳酸盐岩缝洞型油藏多井单元注水开发技术，阐述缝洞型油藏缝洞单元评价、注水开发及优化技术；第七卷碳酸盐岩缝洞型油藏提高采收率技术，阐述缝洞型油藏剩余油形成机制、评价及注氮气提高采收率技术；第八卷碳酸盐岩缝洞型油藏开发工程工艺技术，阐述缝洞型油藏酸压、堵水、深抽、降黏等工程工艺技术。本丛书成文过程中，经专家多次讨论，数易其稿。本丛书不仅是 973 计划项目所有研究人员的科研成果结晶，也凝聚了众多专家的智慧。

感谢国家 973 重点基础研究项目组袁向春、窦之林、曲寿利、李江龙、康志江、王世星、胡向阳、鲁新便、林涛、刘中春、荣元帅、金强、姚军、侯加根、张宏方、薛兆杰、刘学利、郑松青、刘慧卿、邹胜章、钟建华、顾汉明、管路平、朱生旺、赵群、曹辉兰、吕爱民、吴锋等所有研究人员。

感谢中国科学院郭尚平院士，中国工程院韩大匡院士、罗平亚院士、康玉柱院士、彭苏萍院士，罗治斌教授，黄素逸教授，闫金定博士，张烈辉教授等在本丛书撰写过程中给予的多次指导！

在本书的编著和校稿过程中，康志江、郑松青、薛兆杰等同志做了大量工作，付出了辛勤劳动，在此一并表示感谢！

中国工程院院士

前言

碳酸盐岩油气藏在世界已发现油气藏中占有重要位置,“十二五”期间我国的碳酸盐岩油气藏勘探开发呈现快速发展的态势,其中位于新疆天山南麓——塔里木盆地北部的塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏具有典型性与代表性。

隶属于中国石油化工股份有限公司西北油田分公司的塔河油田碳酸盐岩油藏具有以下特点:一是储集空间主要由大小不等的溶洞、裂缝、溶蚀孔隙和微裂缝组成,溶洞是最有效的储集体类型,裂缝是次要的储集空间,基质部分不具有储油能力。二是缝洞单元为基本组成,具有独立的油气水系统,纵横向叠加呈似层状展布,部分充填形成缝洞体内流动屏障导致非均质性极强。三是油藏埋深达 5 300~7 000 m,为常压低温油藏,压力系数为 1.09~1.13,平均地温梯度为 2.27 °C/(100 m)。四是流体性质及分布十分复杂。平面上由东南到西北,油气性质呈现凝析气—正常油—重质油的变化特点;西北部稠油不能自主流出地面,属高硫、含蜡、低凝点、高黏度的重质原油,原油密度为 0.945 2~1.005 0 g/cm³(平均 0.972 9 g/cm³),50 °C 黏度为 138.05~152 123.17 mPa·s(平均 2 794.73 mPa·s),凝固点为 -28~15 °C(平均 -10.46 °C),含硫量为 1.30%~2.98%(平均 2.49%),含蜡量为 2.01%~10.71%(平均 5.21%);地层产出水以 CaCl₂ 型为主,总矿化度为 18×10⁴~22×10⁴ mg/L,Cl⁻ 含量介于 126~190 000 mg/L 之间,平均为 120 000 mg/L,HCO₃⁻ 含量平均为 150 mg/L,最高达 1 402.66 mg/L,产出水 pH 值为 5.0~6.5,地层流体具有“高 CO₂、高 H₂S、高矿化度、低 pH 值”的“三高一低”特点。

由于碳酸盐岩油藏固有的特点、特性及油田开发的不断深入,开发向着更深、更偏远的方向发展,地质条件和油藏特征变得愈来愈复杂,给开发工程工艺带来了更多、更难、更高的要求,且面临着很大的挑战:一是深井、高温、高破裂压力梯度储层酸压改造难度大;二是深井、裸眼精细分段注水配套难度大;三是稠油油品性质、胶质沥青质含量差异大,尚未形成集约化、集成化降黏开采方法;四是油品性质复杂、油藏产量快速递减导致举升系统设计配套难度大、效率低;五是高温(大于 120 °C)、高盐(矿化度 21×10⁴ mg/L)及复杂的储层特征对堵剂性能提出了特殊要求。

以上问题影响了单井产能的释放和采收率的提高,制约了碳酸盐岩油藏高效开发的进程。本书基于多年来的探索与实践,以“十二五”国家重点基础研究发展计划(973 计

划)项目“碳酸盐岩缝洞型油藏开采机理及提高采收率基础研究”、国家科技重大专项“塔里木盆地大型碳酸盐岩油气田开发示范工程”及科学技术部、中国石油化工集团公司各类项目为支撑,通过持续科技攻关研究、技术引进与应用以及现场实践,工程技术水平有了长足的进步,取得了以下主要工程技术成果:

(1) 在储层改造方面,形成了大型深穿透复合酸压技术,酸蚀缝长由 120 m 提高到 140 m;应用超深井酸压技术,实现了 7 000 m 以浅井成功酸压;应用控缝高酸压改造技术,将避水高度由 60 m 降低到 40 m;在玉北实现了超深井分三段成功改造。

(2) 在裸眼分段注水方面,形成了碳酸盐岩油藏注水水质标准,建立了超深分注管柱力学模型,形成了超深井碳酸盐岩油藏分层注水管柱结构与设计方法,以及超深投捞测试配套方案与解释方法。

(3) 在稠油降黏方面,构建了超稠油沥青质预测模型,研制了具有高分散、强乳化作用的高效复合降黏剂,研发了掺稀优化图版,形成了电加热-油溶性降黏超稠油井筒降黏举升技术。

(4) 在井筒举升方面,形成了深抽工艺选井、选型、配置等系统优化设计方法,初步建立了深抽对套管、储层影响预测模型方法,建立了掺稀井系统效率计算模型,形成了提高系统效率的优化方案。

(5) 在调剖堵水技术方面,研制了油藏条件下就地聚合延缓成胶堵剂,研发了低密度二次膨胀型凝胶颗粒调剖剂、耐温抗盐两亲聚合物调剖体系,初步形成了定性、半定量、定量 3 种堵水选井分析方法,建立了与碳酸盐岩缝洞型油井储层特征配套的堵水及调剖工艺。

本书适用于从事油气田开发工程工艺设计、施工、技术研发与管理的科技工作者学习参考,对从事非常规油气井提高采收率的科技人员 also 具有很高的参考价值,同时还可作为相关科研人员及大专院校相关专业师生的参考书。

本书的出版得到了国家出版基金项目、“十三五”国家重点出版物出版规划项目的支持,在此表示感谢。在本书写作和出版过程中,李阳院士给予了悉心指导,提出了许多宝贵意见,在此向李阳院士表示衷心感谢。本书引用了大量的文献,在此向所引文献的作者致以谢意。

本书是中国石油化工股份有限公司西北油田分公司“十二五”期间开发工程技术的结晶,凝聚了所有开发工程技术人员的辛苦与付出,感谢各级领导、专家对本书的支持。

本书第一章由林涛、耿宇迪、张泽兰执笔,第二章由王雷、曾文广、丁雯执笔,第三章由赵海洋、何龙、杨祖国、程仲富执笔,第四章由张建军、彭振华、张园执笔,第五章由吴文明、李亮、刘广燕执笔。全书最终由林涛统稿。

由于作者水平有限,书中难免存在错误与不妥之处,敬请读者批评指正。

目 录

第一章 储层改造.....	1
第一节 大型深穿透复合酸压技术	1
一、酸压液体优选	1
二、酸液注入优化	3
三、酸压工艺参数优化	5
第二节 超深井酸压技术	6
一、抗高温压裂液及酸液体系	6
二、工艺优化与配套	8
第三节 控缝高酸压改造技术	9
一、覆膜砂控缝高技术	10
二、多级停泵沉砂控缝高技术	11
三、凝胶人工隔层控缝高技术	12
第四节 水平井分段酸压改造技术	16
一、分段酸压工艺	16
二、工作液体系	17
三、参数优化	19
第二章 分层注水	25
第一节 注水水质标准	26
一、水质基本要求	26
二、注水水质指标	26
第二节 裸眼分层注水工具的选择	27
一、分层注水管柱	27
二、超深井分注封隔器	29
三、超深井分注配套工具	33

第三节 裸眼分层注水管柱与工具受力分析 36

 一、分注管柱力学分析模型建立 36

 二、管柱受力与变形分析 38

 三、封隔器胶筒受力分析 46

 四、其他注水工具的受力分析 48

第四节 裸眼分层注水工艺管柱 49

 一、结构设计 49

 二、工作原理 50

 三、技术指标 50

第五节 投捞测试及解释技术研究 50

 一、调配技术 50

 二、解释技术 52

第六节 分层注水工艺技术现场试验 53

 一、管柱结构 53

 二、施工测试过程 54

 三、效果分析 55

第三章 稠油降黏 56

第一节 超稠油致稠机理 56

 一、黏温特性 57

 二、稠油组成 58

 三、碳数分布 60

 四、地层水性质 61

 五、微观影像 62

 六、分子组成 62

第二节 掺稀降黏技术优化 67

 一、掺稀油密度优化方法 67

 二、掺稀比优化方法 70

第三节 经济、高效稠油降黏剂配方体系 75

 一、新型聚合物高效油溶性化学降黏剂 75

 二、抗盐型水溶性化学降黏剂 76

 三、分散-乳化一体的高效复合化学降黏剂 77

 四、降黏体系对环境及后续处理的影响评价 77

第四节 加热降黏增效技术 82

 一、掺稀降黏增效技术 82

 二、物理-化学降黏增效技术 92

第五节 稠油降黏配套工艺	97
一、超稠油尾管加深举升增效技术	98
二、井下叶轮自动旋转高效强混技术	98
第四章 深抽工艺	100
第一节 深抽工艺技术研究	100
一、深抽工艺优化设计方法	101
二、高效深抽工艺技术	102
第二节 深抽对套管与储层影响分析研究	107
一、套损与井壁坍塌现状	108
二、岩石物理力学性质及地应力	110
三、深抽对套损的影响研究及技术对策	112
四、深抽对储层稳定性的影响研究及技术对策	113
五、套损与井壁坍塌预测技术研究	114
第三节 深抽配套工艺技术研究	118
一、深抽管柱配套技术	118
二、深抽杆柱配套技术	121
三、深抽地面配套技术研究与应用	122
第四节 深抽系统效率评价方法	123
一、深抽井系统效率计算方法	124
二、深抽井系统效率评价方法与标准	131
第五章 堵水技术	133
第一节 就地聚合延缓成胶堵剂	134
一、单体	134
二、引发剂	137
三、交联剂	138
四、增溶剂	141
五、体系浓度对成胶时间的影响	142
六、堵剂性能评价	143
第二节 高温高盐缝洞型油藏调剖剂	149
一、耐温抗盐两亲聚合物 K W Y	150
二、低密度二次膨胀型凝胶颗粒调剖体系	154
三、高温高盐缝洞型油藏调剖剂	162
第三节 堵水调剖配套技术及工艺方案设计	166
一、堵水选井配套方法	166

二、调剖选井方法	172
三、堵水配套工艺	175
四、堵水设计优化	178
五、调剖配套工艺	180
第四节 堵水调剖现场试验及效果	181
一、孔缝型储层堵水	181
二、缝洞型储层堵水	184
三、裂缝型储层堵水	187
四、TK432 井组化学调剖	189
参考文献	192

第一章

储层改造

塔河油田奥陶系碳酸盐岩缝洞型油藏油井完井后大多自然产能低或无自然产能,75%的井需要通过储层改造形成人工裂缝,沟通油气储集空间,提高油井产能。由于油藏类型复杂,储层非均质性强、埋藏深,井下温度高,储层改造面临以下问题:一是以塔河油田10区、12区为代表的储层液体滤失量大,酸蚀裂缝穿透距离有限;二是以托甫台、跃进区块为代表的井层深度超过6 000 m,施工压力高,施工规模及排量难以得到有效提高,施工难度大;三是以塔河油田6区和7区为代表的储层底水发育,内部地应力差小,酸压改造容易沟通水层,需要能够有效控制小跨度井层酸压裂缝高度的材料和工艺技术;四是塔河外围油藏类型愈加复杂,采用水平井开发成为趋势,但碳酸盐岩缝洞型油藏水平井分段酸压技术尚未配套。

针对以上难题,结合不同的区域储层地质特点,研究形成了多种技术:大型深穿透复合酸压技术,将酸蚀缝长由120 m提高到140 m;超深井酸压技术,能实现7 000 m以浅井成功酸压;控缝高酸压改造技术,能将避水高度由60 m降低到40 m;在玉北实现超深井分三段成功改造。这些技术在现场应用中取得了很好的效果,为塔河油田的高效开发提供了技术手段。

第一节 大型深穿透复合酸压技术

针对塔河油田12区酸岩反应速度快、酸液滤失严重、有效酸蚀缝长短等难点,开展酸压液体优选、酸压液体注入优化、酸压工艺参数优化,形成增加有效酸蚀缝长的大型深穿透复合酸压技术,优化施工规模、施工参数、注入工艺、降滤失技术和配套技术,为碳酸盐岩缝洞型油藏酸压优化设计提供理论依据和工艺技术。

一、酸压液体优选

1. 前置液体系

在分析塔河油田12区储层地质特征以及已施工井施工数据的基础上,优选出满足大型