

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

卷六

丛书主编 / 李 阳

碳酸盐岩缝洞型油藏 多井单元注水开发技术

—— 窦之林 鲁新便 荣元帅 等著 ——

WATER FLOODING DEVELOPMENT TECHNOLOGY
OF MULTI-WELL UNITS IN 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

卷六

丛书主编/李 阳

碳酸盐岩缝洞型油藏 多井单元注水开发技术

WATER FLOODING DEVELOPMENT TECHNOLOGY
OF MULTI-WELL UNITS IN PALEOKARST CARBONATE RESERVOIRS

窦之林 鲁新便 荣元帅 等著

图书在版编目(CIP)数据

碳酸盐岩缝洞型油藏多井单元注水开发技术/窦之林等著. —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;卷六)

ISBN 978-7-5636-5738-4

I. ①碳… II. ①窦… III. ①碳酸盐岩油气藏—注水(油气田)—油田开发—研究 IV. ①TE344

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 303205 号

书 名: 碳酸盐岩缝洞型油藏多井单元注水开发技术

著 者: 窦之林 鲁新便 荣元帅 等

责任编辑: 岳为超(电话 0532—86981532)

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

字 数: 281 千

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

书 号: ISBN 978-7-5636-5738-4

印 数: 1—1 500 册

定 价: 88.00 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

塔河油田位于我国新疆塔里木盆地,于1997年被发现,经过20年的勘探开发,已建成年产原油 7.37×10^6 t的特大型油气田。塔河油田已成为我国油气增储上产的主阵地之一,也是我国“稳定东部、发展西部”的重要能源战略支撑。

塔河油田是一类超深、以缝洞为储集体的特殊类型油藏,与常规碎屑岩油藏和裂缝型油藏有本质区别。这类油藏开发的主要难点:一是油藏埋藏深(5 300~7 000 m),缝洞型储集体的描述技术手段有限;二是储集空间以大型溶洞为主,以孔洞、裂缝为辅,尺度差异大,储集体不连续分布,连通关系复杂;三是流动状态多样,大洞、大缝以自由流为主,小尺度孔缝又具有渗流特征,开发规律难以把握。此类油藏的注水开发没有现成技术和管理经验可以借鉴,属于世界级开发难题。

碳酸盐岩缝洞型油藏注水开发技术主要存在四方面问题:一是多井单元存在多种能量类型,其开发特点需进行进一步研究;二是缝洞型油藏注水开发机理不清楚,该类油藏能否注水没有先例;三是缝洞型油藏没有现成的注水开发技术政策,如何注水缺乏技术指导;四是没有可以借鉴的缝洞型油藏注水效果评价方法,注水效果没有评价标准。针对上述问题,本书以物理模拟、数值模拟、油藏工程为手段,结合现场开发实践,形成了碳酸盐岩缝洞型油藏多井单元注水开发技术,为碳酸盐岩缝洞型油藏提高采收率提供了技术支撑。

面对这类特殊类型的油气藏,现场的广大专业技术人员大胆实践、勇于探索,不断总结提升,形成了从油藏描述、注水试验到推广应用、初步技术政策建立等一系列实用性成果。在此基础上,联合有关科研院所及高校,开展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”攻关,在碳酸盐岩缝洞型油藏多井单元分类评价、注水机理、评价方法等方面形成了原创性成果,形成了一整套较完整的注水开发技术及政策,推动了碳酸盐岩缝洞型油藏开发理论与技术的进步。

本书详细总结了塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏开发20年的经验和已经形成的注水开发技术及政策,统揽了10多年的研究成果。本书内容具有很强的实用性、较好的指导性和操作性, also 具有很强的理论基础,形成了一套较完善的油藏工程方法,可对研究油藏深层次问题提供帮助。本书共分六章,第一章简要介绍国内外碳酸盐岩油藏特点与注水

开发采收率,以及塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏注水开发历程;第二章介绍缝洞单元相关理论概念及研究进展;第三章在碳酸盐岩缝洞型油藏开发规律研究基础之上介绍缝洞单元综合分类评价方法,为注水开发奠定基础;第四章从缝洞型油藏注水开发物理模拟出发,结合油藏数值模拟和现场实践,介绍缝洞型油藏注水开发机理;第五章介绍缝洞型油藏注水开发技术政策及注采优化方法;第六章介绍缝洞型油藏注水开发效果评价指标及方法。

本书各章节的撰写分工如下:第一章由窦之林、鲁新便、荣元帅撰写;第二章由鲁新便、李峰、刘遥撰写;第三章由吴峰、龙喜彬、罗娟、汪彦撰写;第四章由鲁新便、汤妍冰、李科星撰写;第五章由荣元帅、李小波撰写;第六章由李小波、刘洪光撰写。全书由窦之林、鲁新便、荣元帅统稿并定稿。

由于塔河油田缝洞型油藏开发时间较短,注水开发技术及开发理论还处在不断发展完善中,加之作者水平有限,错误之处在所难免,敬请广大读者批评指正!

目 录

第一章 绪 论	1
一、碳酸盐岩油藏特点与注水开发采收率	1
二、塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏的特殊性	2
三、缝洞型油藏的性质及缝洞单元的提出	2
四、开发井网的构建与注水开发	3
第二章 缝洞单元理论概念的提出及研究	5
第一节 缝洞单元理论概念的提出及开发意义	5
一、缝洞单元理论概念的提出	5
二、缝洞单元划分对油藏开发及管理的意义	7
第二节 缝洞单元的研究	8
一、缝洞单元的划分	8
二、缝洞单元划分的主要原则	9
三、缝洞单元划分的主要方法	10
四、缝洞单元油水界面深度分析研究	16
五、缝洞单元空间结构及连通性研究	20
第三章 缝洞单元的开发规律及分类评价	32
第一节 缝洞单元的能量变化特征	32
一、缝洞单元的驱动阶段划分	32
二、缝洞单元能量变化特征	37
第二节 缝洞单元的含水变化特征	47
一、单井含水变化特征	47
二、单元含水变化特征	57
三、缝洞单元含水综合预测模型	60

第三节 缝洞单元的递减变化特征	71
一、宏观递减特征	71
二、单井递减特征	72
三、单元递减特征	74
四、缝洞单元产量递减模型	81
第四节 缝洞单元分类评价	88
一、单指标分类评价	88
二、多指标综合分类评价	96
第四章 碳酸盐岩缝洞型油藏注水开发机理	99
第一节 缝洞型油藏提高采收率原理	99
第二节 注水机理物理模拟研究	101
一、典型缝洞结构物理模型设计与制作	101
二、缝洞型油藏水驱物理实验及认识	112
第三节 现场注水实践及认识	120
第五章 碳酸盐岩缝洞型油藏注水开发技术政策及优化方法	127
第一节 注水时机优化	127
一、压力保持水平	127
二、含水阶段	129
第二节 注采关系优化	130
一、缝洞型油藏注采特点	130
二、注采关系建立总体方法优化	131
三、不同岩溶地质背景下的注采关系建立方法	141
第三节 注水方式及注采参数优化	144
一、注水方式优化	144
二、注采参数优化	158
三、注水技术政策	168
第四节 缝洞型油藏矿场注采优化方法	168
一、注采井网完善	169
二、注采参数优化	170
三、注水方式优化	173
第六章 碳酸盐岩缝洞型油藏多井单元注水开发效果评价	174
第一节 碳酸盐岩缝洞型油藏注水开发效果评价指标优选	174
一、评价指标筛选	174

二、单指标注水开发效果评价	176
第二节 多井单元注水开发效果综合评价	184
参考文献	186

第一章 绪 论

一、碳酸盐岩油藏特点与注水开发采收率

据全世界 256 个大型油田统计,碳酸盐岩油田有 115 个,占 45%,分布在 40 多个国家和地区的近 60 个沉积盆地中,其原油产量约占世界原油总产量的 65%。国外碳酸盐岩油藏主要集中在中东地区和美洲地区,油气类型有大型隆起断块型、生物礁、潜山等。自 20 世纪 70 年代以来我国在胜利、华北等油田相继发现和开发了一些碳酸盐岩油田,主要是断块潜山类型,尤其是华北油田由 20 多个规模不等的碳酸盐岩潜山油藏组成,部分油藏通过后期的注水开发,取得了一些新的认识和效果。目前文献中所见到的碳酸盐岩注水开发实例多是碳酸盐岩裂缝型油藏或碳酸盐岩裂缝-孔隙型油藏。碳酸盐岩潜山油藏在天然能量开发阶段,随着地层压力的下降,其裂缝闭合渗透率降低,油井的比采油指数和渗透率也随之减小,但通过注水开发方式,随着压力的恢复,比采油指数、油井产能增加。例如,任丘油田雾迷山组油藏 12 口井统计结果表明,注水后平均比采油指数由 $70.9 \text{ t}/(\text{d} \cdot \text{m} \cdot \text{MPa})$ 上升为 $133.6 \text{ t}/(\text{d} \cdot \text{m} \cdot \text{MPa})$,取得了较好的开发效果。

从碳酸盐岩油藏储集空间类型和注水开发提高采收率来看,大体上可以划分为三大类:一是常规碳酸盐岩油藏,储集空间以原生孔隙和溶蚀孔洞为主,其产能的大小与裂缝的发育程度密切相关,采收率变化较大,其中裂缝不发育的白云岩孔隙型油藏的采收率只有 18%,裂缝及溶蚀孔洞发育的灰岩油藏的采收率可达 37%;二是以礁灰岩为主要岩石类型的油藏,其储层主要由生物礁形成的高孔隙度(20%以上)的孔隙和裂缝组成,这类油藏储量规模较大、储量丰度高、产能高,油藏平均采收率可达 50%以上;三是裂缝-溶洞型油藏,这类油藏最为复杂,其特点是基岩致密,孔隙度小于 2%,渗透率小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,储集空间主要是由古岩溶作用形成的溶蚀洞穴,分布受控于古地貌、古岩溶,非均质性极强,这类油藏采收率变化范围大,以天然能量一次开发为主,尚无注水开发的实例。

统计 8 个国外典型碳酸盐岩油藏二次注水开发提高采收率的情况发现,水驱提高采收率最高可达 32%,最低为 5%,大部分达到 15%以上,注水开发取得了较好的开发效果。

二、塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏的特殊性

塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏成藏条件复杂,缝洞型储集体多样,油气分布复杂,油藏类型极为特殊,既完全不同于国内外已有的砂岩孔隙型油藏,也不同于国内外已有的碳酸盐岩裂缝型或裂缝-孔隙型油藏,其特殊性具体体现在4个方面:

一是油藏埋藏深,缝洞型储集体识别精度低。塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏埋藏深度在5 300~7 000 m,是世界上目前已开发的较深的碳酸盐岩油藏之一。受深度的限制,通过地球物理手段识别储集体的精度相对较低,认识缝洞内部结构及连通性存在较大难度。

二是以缝洞为主的储集体的非均质性极强,不同于连续分布的砂体。油藏储集空间以构造变形产生的构造裂缝与溶蚀缝、孔、洞为主,大型洞穴是最主要的储集空间,裂缝是主要的连通通道。开发实践表明,该油藏为缝洞型储集体叠合而成的复杂油藏,具有复杂的空间结构。油藏内各缝洞型储集体之间具有较强的分隔性,不同储集体类型在空间上相互交织,组成了连通程度各异的缝洞单元,各缝洞单元具有不同的压力系统及油水界面。

三是流体流动模式多样,开发规律复杂,一次采收率低。大洞、大缝以层流为主,小尺度孔缝具有渗流特征,流体流动机理认识难度大,既有弹性驱动开采的孤立溶洞,也有弹性+底水驱动开采的规模较大溶洞。对于单井单洞油藏,油井产量递减(20%~30%)快,采收率(3%~5%)低,无法像砂岩油藏一样建立注采关系,实施注水开采。对于规模不等、开发特征各异的多井单元油藏,由于缝洞结构的复杂性、油水黏度比大,一旦油井见水,其产量递减快,甚至发生暴性水淹,造成油田采收率低。这类油藏弹性驱动采收率在8%~14%之间,平均只有11.7%,与国内外其他类型油藏相比,采收率明显偏低。

四是缝洞型油藏注水开发还没有先例可循,此类油藏能否注水、如何注水,需要进行深化研究和不断探索实践。

三、缝洞型油藏的性质及缝洞单元的提出

经过多年的探索、开发实践,尤其是依据高分辨率的三维地震资料,通过地震反射特征分析、地震振幅变化率提取、三维空间立体刻画等技术手段,实现了对缝洞型储集体有效识别,相对清晰地展示了缝洞型储集体外形、轮廓及不同类型、不同形状储集体的分布状况,为该类油藏的产能建设、开发基础井网的构建奠定了基础。与此同时,根据缝洞型储集体的发育特点和岩溶地质背景,可将此类油藏细分为风化壳型储集体、溶蚀断裂带控制的储集体以及由潜流岩溶作用形成的古暗河型储集体3种类型,这种油藏分类进一步细化了缝洞型油藏的性质和控制因素。在开发过程中,由于碳酸盐岩储集体极强的非均质性较强的分隔性,以储集体成因相关性和连通性为基础,逐步形成和提出了缝洞单元