

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

卷二

丛书主编/李 阳

碳酸盐岩缝洞型油藏 缝洞单元地球物理表征

王世星 著

GEOPHYSICAL CHARACTERIZATION OF FRACTURE-CAVE UNIT
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


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

卷二

丛书主编 / 李 阳

碳酸盐岩缝洞型油藏 缝洞单元地球物理表征

GEOPHYSICAL CHARACTERIZATION OF FRACTURE-CAVE UNIT
IN PALEOKARST CARBONATE RESERVOIRS

王世星 著

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

图书在版编目(CIP)数据

碳酸盐岩缝洞型油藏缝洞单元地球物理表征/王世星著. —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;卷二)

ISBN 978-7-5636-5761-2

I. ①碳… II. ①王… III. ①碳酸盐岩油气藏—地球物理勘探—研究 IV. ①TE344

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 225240 号

书 名: 碳酸盐岩缝洞型油藏缝洞单元地球物理表征
作 者: 王世星

责任编辑: 王金丽(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: 12

字 数: 259 千

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

书 号: ISBN 978-7-5636-5761-2

印 数: 1—1 500 册

定 价: 81.00 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术开发的现状、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。

A handwritten signature in black ink, appearing to be '王军' (Wang Jun), written in a cursive style.

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。



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

在世界范围内,海相碳酸盐岩是一个重要的勘探领域,油气探明储量约占总探明储量的38%。我国海相碳酸盐岩层系油气资源量大于 300×10^8 t油当量,勘探潜力巨大。

随着我国油气资源勘探开发的不断深入,碳酸盐岩缝洞型油藏成为我国西部地区的重要勘探目标。在碳酸盐岩缝洞型油藏开发理论指导下,新疆塔河油田已累计发现多个巨型“地下油库”。该类型油藏的主要产层位于中下奥陶统碳酸盐岩地层,储层类型以岩溶缝洞为主,储集体受岩溶、裂缝控制。缝洞型储集体横向非均质性强、充填复杂、空间上突变,对其进行预测与描述非常困难。随着碳酸盐岩缝洞型油藏开发工作的不断深入,要求油藏工程师对缝洞型储集体能够有更精确的预测和准确描述,对储集体充填流体的性质能够进行判识,以帮助优化部署方案,不断提高钻探成功率,达到高效开发的目的。

本书主要阐述缝洞型储集体综合测井评价技术、地震高分辨率与高精度成像方法技术,以及缝洞型储集体的识别与流体判识方法技术等。

本书共分为八章:

第一章碳酸盐岩缝洞型储层测井评价及井震响应。内容包括:碳酸盐岩缝洞型储层地球物理响应模拟;碳酸盐岩缝洞型储层测井识别与评价;缝洞型储层流体测井识别和评价技术。

第二章碳酸盐岩缝洞型储层高分辨率地震成像技术。内容包括:波动方程叠前时间偏移优化;逆时偏移与方位角提取技术;各向异性建模与偏移技术;绕射波分离与成像技术;高分辨率处理技术。

第三章地震古地貌恢复技术及缝洞发育带分布。内容包括:井-震结合的关键界面构造古地貌恢复技术;基于沉积学的井-震结合的剥蚀量恢复技术。

第四章碳酸盐岩孔洞型储层地震预测技术。内容包括:多尺度边缘检测方法;碳酸盐岩缝洞型储层分类检测技术;多属性融合的缝洞体描述;基于古地貌控制的缝洞体三维立体雕刻;缝洞单元充填程度表征。

第五章碳酸盐岩裂缝型储层地震预测技术。内容包括:基于地震几何属性提取的构造裂缝趋势带检测技术;基于蚂蚁追踪的裂缝系统检测技术;基于高阶统计量相干的裂缝型储层地震检测技术;基于分形、混沌理论的裂缝型储层地震预测技术;叠前多方位各向

异性裂缝检测技术。

第六章缝洞型储集体流体识别技术。内容包括:缝洞型储集体岩石物理特征;缝洞型储集体叠前地震响应特征及 AVO 属性分析;基于地震衰减属性的流体识别技术;HTI 介质叠前弹性参数反演。

第七章缝洞型储集体识别与描述技术应用与效果。内容包括:缝洞型储层测井评价与井震响应研究成果的应用;高分辨率地震成像技术成果应用;地震古地貌恢复技术及缝洞发育带分布研究的应用;塔河油田 6,7 区高精度三维缝洞型储层地震预测。

第八章认识与建议。

基于上述章节研究及论述,形成的成果和认识如下:

在碳酸盐岩缝洞型储层测井评价及井震响应方面:① 研发一套洞穴物理模拟装置和技术,建立缝洞型储层测井识别方法及表征模式;② 基于地震预测发展缝洞型储层及充填测井表征方法,形成缝洞型储层井震关联评价技术;③ 优化建立缝洞型储层多种流体识别方法,集成相应识别方法模块并实现批量处理解释。

在碳酸盐岩缝洞型储层高分辨率地震成像技术方面:① 对三维波动方程叠前时间偏移技术进行优化,具备大规模地震数据处理能力;② 研发三维逆时偏移技术及基于逆时偏移的方位角道集生成技术,将其应用于野外实际资料处理后获得显著效果;③ 研发绕射波成像技术,并应用于实际数据处理;④ 建立各向异性建模与各向异性逆时偏移技术流程,开展实际资料处理;⑤ 形成基于连续小波变换的提高分辨率技术;⑥ 实现地震反射频宽提高 15 Hz,识别孔洞尺度由 20 m 降到 15 m。

在地震古地貌恢复技术及缝洞发育带分布方面:① 以虚拟现实技术为核心,完善虚拟环境下的全三维精细构造解释技术,特别是剥蚀线的三维精细解释技术,实现靶区的高精度地震构造解释、盐岩层厚度解释、剥蚀线解释;② 形成井-震结合的分岩性压实校正技术,通过目的层的盐岩层剔除、波阻抗岩性反演、分岩性压实校正,实现井-震结合的三维构造古地貌恢复,直观预测岩溶储层发育区;③ 分别基于残余沉积法与地层趋势法,研发井-震结合的剥蚀量恢复技术,形成地质约束条件下的剥蚀古地貌恢复流程,计算靶区关键地质时期的剥蚀量。

在碳酸盐岩孔洞型储层地震预测技术方面:① 发展多尺度边缘检测技术(变分 PDE、Sobel 检测、振幅曲率等),进一步丰富形体与边缘表征的新手段;② 通过试验区井震响应关系统计分析,依据不同尺度缝洞地震反射特征的差异,结合绕射、RTM 数据,优选反射结构、强振幅聚类、小波多尺度、不连续性等多种敏感属性;③ 以强化缝洞储层特征为目的,研发针对不同储层类型的储层特征重构地震反演技术,极大地提高储层预测的精度;④ 研发基于概率神经网络的多属性融合方法,提高缝洞体的形体表征能力,完成试验区缝洞单元形体的刻画,并计算 28 个缝洞单元的视体积;⑤ 探索理想洞体的充填度表征方法,研发基于贝叶斯理论的缝洞内部参数反演方法,对缝洞体内幕充填特征进行表征探索。

在碳酸盐岩裂缝型储层地震预测技术方面:① 开发一套高精度叠后属性(包括高阶

相干、分形以及混沌理论)的断裂/裂缝预测和识别技术,增强裂缝型储层的预测能力;② 发展一套基于地震方位子体的叠前有限方位属性裂缝预测技术,增强不同发育方位的隐伏断裂/裂缝的识别能力;③ 发展基于叠前照明方位道集的各向异性裂缝反演技术,提高叠前反演裂缝参数的精度和稳定性;④ 利用高精度的相干、蚂蚁体、曲率体等三维空间属性,结合研发的叠前、叠后高精度裂缝预测技术,获得塔河6,7区的三维裂缝空间展布。

在缝洞型储集体流体识别技术方面:① 建立适用于缝洞型储集体的岩石物理建模方法,研究缝洞型储集体储层参数对弹性参数的影响;② 优化基于叠前弹性参数的流体检测技术,开展各向异性叠前弹性参数反演及其相关分析;③ 在分方位处理的地震资料基础上,对分方位的道集进行超面元叠加的处理,实现各向异性 AVO 梯度属性的提取;④ 利用基于小波变换的时频分析技术,提取6种地震波衰减属性,形成多信息融合的流体检测技术。

先后参与研究及部分章节编写的人员包括唐金良、曹辉兰、张松扬、段心标、武丽、梁志强、张金强、谭茂金、黄建平、鲜本忠、张广智等,在此一并表示感谢。

目 录

第一章 碳酸盐岩缝洞型储层测井评价及井震响应	1
第一节 碳酸盐岩缝洞型储层地球物理响应模拟	1
一、洞穴的双侧向测井数值模拟	1
二、洞穴的双侧向测井响应物理模拟	1
三、洞穴地层模拟应用	4
第二节 碳酸盐岩缝洞型储层测井识别与评价	6
一、洞穴型储层充填程度识别与评价	6
二、基于深探测电阻率的孔隙度测井曲线重构	9
三、基于测井交会图的储层充填类型识别技术	11
四、基于波阻抗的井震响应模式	13
五、缝洞型储层测井综合评价应用	14
第三节 缝洞型储层流体测井识别和评价技术	16
一、流体识别的测井交会图	17
二、流体测井识别方法研究	18
第二章 碳酸盐岩缝洞型储层高分辨率地震成像技术	20
第一节 波动方程叠前时间偏移优化	20
一、分层延拓层厚度计算方法	20
二、分层延拓成像方法的实现步骤	21
三、实际资料测试应用	21
第二节 逆时偏移与方位角提取技术	22
一、逆时偏移原理	22
二、逆时偏移与缝洞成像分析	22
三、靶区资料逆时偏移处理	24
第三节 各向异性建模与偏移技术	25

一、各向异性建模与偏移流程	25
二、靶区资料各向异性建模	26
三、靶区资料各向异性逆时偏移处理	27
第四节 绕射波分离与成像技术	30
一、绕射波与反射波特征差异	30
二、绕射波与反射波分离流程	30
三、实际资料处理	31
第五节 高分辨率处理技术	31
第三章 地震古地貌恢复技术及缝洞发育带分布	33
第一节 井-震结合的关键界面构造古地貌恢复技术	33
一、基于井资料的地层压实校正方法及应用	33
二、井-震结合三维地层压实校正与应用	38
第二节 基于沉积学的井-震结合的剥蚀量恢复技术	41
一、剥蚀量恢复方法	41
二、塔河油田主要不整合面剥蚀量计算	46
三、井-震结合三维地层剥蚀量恢复方法	49
第四章 碳酸盐岩孔洞型储层地震预测技术	51
第一节 多尺度边缘检测方法	51
一、基于变分偏微分方程(PDE)的多尺度边缘检测方法	52
二、多尺度边缘检测算法的试算分析	54
第二节 碳酸盐岩缝洞型储层分类检测技术	56
一、地震反射结构分析技术	56
二、强振幅聚类检测技术	58
三、频谱分析及衰减技术	59
四、高精度不连续性检测技术	60
五、小波多尺度检测技术	61
六、基于测井解释储层特征重构的缝洞体表征技术	62
第三节 多属性融合的缝洞体描述	65
一、属性优选	65
二、地震属性预处理	67
三、多属性融合方法	68
第四节 基于古地貌控制的缝洞体三维立体雕刻	70
一、多属性融合体的三维表征	70
二、空间约束检测技术	71

三、古地貌特征控制的三维精细雕刻	71
四、视体积计算	72
第五节 缝洞单元充填程度表征	75
一、理想洞体的不同充填程度的地震响应特征分析	75
二、实钻洞穴高度与缝洞体预测高度的关系	76
三、缝洞单元内幕物性表征方法研究	76
第五章 碳酸盐岩裂缝型储层地震预测技术	79
第一节 基于地震几何属性提取的构造裂缝趋势带检测技术	79
一、地震几何属性实现方法	79
二、检测效果	81
第二节 基于蚂蚁追踪的裂缝系统检测技术	82
第三节 基于高阶统计量相干的裂缝型储层地震检测技术	84
一、高阶统计量的定义和基本原理	84
二、高阶统计量相干的算法与实现过程	85
三、高阶统计量相干的应用	85
第四节 基于分形、混沌理论的裂缝型储层地震预测技术	86
一、基于分形理论的地震预测技术	86
二、基于混沌理论的地震预测技术	87
第五节 叠前多方位各向异性裂缝检测技术	89
一、方位保真局部角度域成像技术	90
二、基于有限方位子体的属性分析	99
第六章 缝洞型储集体流体识别技术	117
第一节 缝洞型储集体岩石物理特征	117
一、缝洞型储集体岩石物理建模	117
二、缝洞型储集体弹性参数影响因素分析	119
三、基于岩石物理建模的横波速度估算	123
第二节 缝洞型储集体叠前地震响应特征及 AVO 属性分析	125
一、各向异性介质的 AVO 分析	125
二、缝洞型储集体叠前地震反射特征分析	125
三、塔河油田 6,7 区 AVO 属性分析及流体检测	128
第三节 基于地震衰减属性的流体识别技术	132
一、衰减属性提取	132
二、塔河油田 6,7 区地震衰减属性分析	134
第四节 HTI 介质叠前弹性参数反演	136

一、HTI 介质弹性阻抗反演方法	136
二、各向异性参数估测及反演结果分析	138
第七章 缝洞型储集体识别与描述技术应用与效果	144
第一节 缝洞型储层测井评价及井震响应研究成果的应用	144
一、储层级别识别划分技术的应用	144
二、缝洞型储层测井综合评价应用	145
三、洞穴型储层区块分布特征应用	147
第二节 高分辨率地震成像技术成果应用	148
一、三维地震布置情况	148
二、地震成像处理应用	149
第三节 地震古地貌恢复技术及缝洞发育带分布研究的应用	152
一、井-震结合的构造古地貌恢复	152
二、基于地震的关键界面剥蚀量恢复	153
三、井约束条件下的剥蚀量分布	154
第四节 塔河油田 6,7 区高精度三维缝洞型储层地震预测	155
一、溶洞地震属性优化及空间分布特征	155
二、基于叠后地震属性的缝洞型储层地震预测	156
三、基于叠前地震属性的缝洞型储层地震预测	161
四、弹性阻抗反演流体预测应用	164
第八章 认识与建议	165
一、认识	165
二、建议	166
参考文献	168