

# 油藏描述技术发展及启示

林承焰<sup>1,2</sup>, 董春梅<sup>1,2</sup>, 任丽华<sup>1,2</sup>, 张宪国<sup>1,2</sup>, 信荃麟<sup>1,2</sup>, 刘泽容<sup>1,2</sup>

(1. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东青岛 266580; 2. 山东省油藏地质重点实验室, 山东青岛 266580)

**摘要:**通过回顾油藏描述的发展并结合油田研究实例, 阐述油藏描述的特点和给人们的启示。结果表明: 该技术是为解决油气田勘探和开发过程中的生产实际问题而产生的, 不断出现的油田开发生产实际问题为其发展提供了驱动力; 直接面向复杂油藏“迎难而上”, 针对具体复杂油藏形成“因油藏而异”的配套技术, 依靠技术创新发展解决复杂油藏开发难题; 体现多学科联合攻关特点, 与其相关学科的理论和技术的发展不断推动了油藏描述理论、方法和技术的发展, 依靠学科交叉形成边缘新学科, 组成联合攻关小组是该技术获得成功的最关键因素; 油藏描述以油藏非均质性表征为核心, 以改善开发效果、提高采收率为主要目的, 抓住了油田开发遇到的主要矛盾; 该技术实用性强, 广泛应用于油气田(藏)的勘探、评价和开发各个阶段, 应用效果显著, 形成“实际难题-技术开发-实际应用-解决难题”的良性发展循环。

**关键词:**油藏描述; 复杂油藏; 非均质性; 联合攻关小组; 推广应用

**中图分类号:**TE 122.2      **文献标志码:**A

## Development of reservoir characterization and its stimulation

LIN Cheng-yan<sup>1,2</sup>, DONG Chun-mei<sup>1,2</sup>, REN Li-hua<sup>1,2</sup>, ZHANG Xian-guo<sup>1,2</sup>, XIN Quan-lin<sup>1,2</sup>, LIU Ze-rong<sup>1,2</sup>

(1. School of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;

2. Reservoir Geology Key Laboratory of Shandong Province, Qingdao 266580, China)

**Abstract:** The features of reservoir characterization were discussed through reviewing reservoir characterization history and oil field real case examples. The results show that reservoir characterization technology was developed and improved in order to solve the production problems in petroleum exploration and development. New technologies were developed in response to complications in individual reservoir problems. Development of related disciplines has advanced the theory and technology, which in turn also leads to development of new disciplines. The multi-discipline collaboration is the key to development of reservoir characterization. Reservoir heterogeneity characterization is the emerging challenge in reducing oil development costs and improving oil recovery ratio. The technology can be widely used in exploration, evaluation and development phases of oil and gas fields. The applications of the technology show that a healthy development cycle of "practical problems-technology development-practical application-solve problems" has come into being.

**Key words:** reservoir characterization; complex reservoir; reservoir heterogeneity; teamwork group; application and dissemination

油藏描述是一项对油藏各种特征进行三维空间定量表征与预测的技术, 综合应用地质、地震、测井和生产动态信息等资料, 最大限度地使用计算机技术, 对不同勘探和开发阶段的油气藏进行多学科的综合研究及评价。20世纪70年代末至80年代初,

斯仑贝谢公司等国外公司率先提出并开展了油藏描述研究, 开发了油藏描述软件系统, 并在阿尔及利亚等地区进行了应用, 取得明显效果<sup>[1]</sup>。80年代中后期开始, 国内组织开展了油藏描述技术攻关, 建立了针对中国陆相复杂油藏的描述方法<sup>[2-6]</sup>, 同时也培养

收稿日期: 2013-06-15

基金项目: 国家科技重大专项课题(2011ZX05009-003); 国家自然科学基金项目(41202092)

作者简介: 林承焰(1963-), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事油藏描述与储层地质学的教学和科研工作。E-mail: ycdzycms@126.com。

了中国油藏描述研究领域的一大批学术骨干。历经大约30年的不断发展,目前油藏描述已经成为一种解决油田勘探开发问题的必备手段,贯穿于油气勘探、评价和开发的各个阶段。油藏描述发展迅速而且被普遍认可和推广应用,究其经久不衰的原因,能得到哪些启示?笔者从油藏描述研究的特点出发,对上述问题进行论述。

## 1 针对油田开发生产矛盾开展研究

油藏描述技术的产生和发展是基于油藏勘探开发过程中急需解决的地层、构造、沉积、储层等基础地质问题以及油田(藏)探明石油地质储量计算、油藏综合评价、勘探目标优选、开发方案部署及调整、剩余油挖潜及提高采收率等问题(图1)而形成的一项综合性技术。现代油藏描述技术以油藏地质研究为主体,以地层学、构造地质学、沉积学、油藏工程和地质统计学等相关理论为基础,通过油藏地质学、应用地球物理学、岩石物理学以及测试技术、油藏工程学等多学科、多层次的协同研究,在三维空间上定性、定量、精细地对油气藏各种属性特征进行描述,建立三维定量油藏地质模型以及四维动态模型。

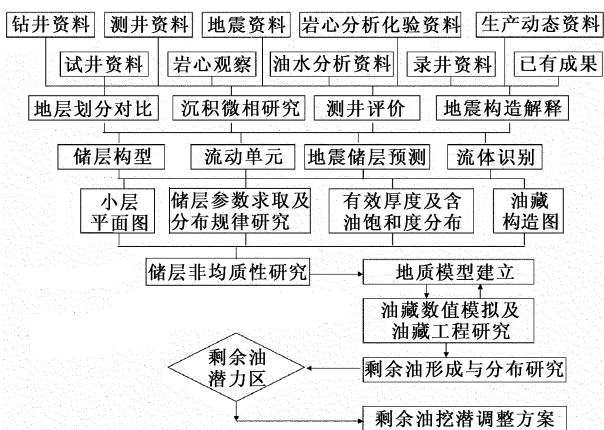


图1 现代油藏描述研究流程

Fig.1 Workflow of reservoir characterization

以黄骅拗陷滩海地区油藏为例,该地区新近系辫状河油藏水平井开发中,在原来认识的整装含油辫状河心滩砂体上贯穿的水平井出现了含水快速上升现象,与原来的地质认识显著不符。如何解释这一违背原有油藏地质认识的现象以指导下一步的油藏开发成为油田面临的难题。滩海地区钻井少,井网不规则,资料有限,通过开展精细油藏描述,多学科综合,实现地质、测井、地震和开发动态资料等信息的一体化分析,在沉积微相研究的基础上,对辫状河心滩复合体内部结构精细刻画。从精细刻画结果

看,心滩复合体内部的非均质性使油藏复杂化,加之采用大功率电泵大液量采油的作业方式,造成底水在夹层不发育处快速向上突破,从而出现水平井迅速高含水的现象。这样,通过开展精细油藏描述,深化了油藏地质认识,解决了困扰该油藏开发的出水问题,对下一步的油藏开发调整有着重要的指导意义。

正是这种“从实际问题中来,围绕实际难题,解决实际难题”的特点,使油藏描述技术获得发展的不竭动力,这对所有学科的发展都是一个重要的启示,不论科学理论还是方法技术,必须以科学问题和实际需求为驱动力,否则只能是昙花一现。

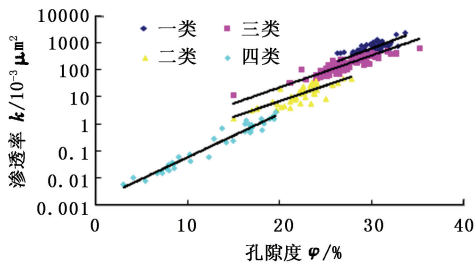
## 2 面向复杂油藏的表征技术

从19世纪中叶第一口开启石油工业的油井勘探开始,作为主要勘探目标的简单背斜型构造油藏逐渐变少,至20世纪70~80年代,油藏勘探开发的对象逐渐向更加复杂的油藏类型延伸,油藏描述就是在这样的背景下产生和发展起来的。因此,油藏描述从一开始就面向像牛庄岩性油藏、枣园断块油藏这样的复杂油藏,可以说油藏描述一直和复杂油藏打交道。随着油气供需矛盾的加剧和油气勘探开发难度的加大,油气勘探和开发工作不得面向特高含水油藏、低渗透油藏、复杂断块油藏、裂缝性油藏、特稠油和超稠油等复杂非常规油藏。同样,油藏描述的主要研究对象也就是这些逐渐成为油气储量和产量主要来源的复杂油藏<sup>[7-10]</sup>。尤其是随着近年来非常规油气藏勘探开发的深入,致密砂岩油气藏、页岩油气藏等新的非常规复杂油气藏描述方法和技术成为当前油藏描述的重要研究内容,油藏描述技术的发展也为这些非常规油气藏的开发提供关键技术支持。

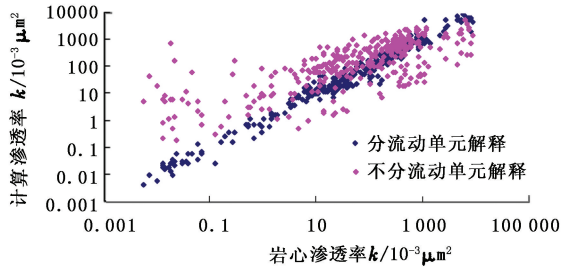
每一个油藏都有其自身的特点,不同油藏制约开发的关键地质因素不同。油藏描述就是要针对具体油藏的特点及其在开发过程中存在的关键问题而采取相应的对策,逐步形成针对各种复杂油藏的描述方法和技术,这也是油藏描述所要遵循的“因油藏而异,因油藏制宜”的原则。

以油藏描述中的储层物性研究为例,储层渗透率是引起油藏开发复杂化的主要矛盾,是油藏描述中需要特别攻关的关键难题。低(特低)渗透油藏往往储层孔隙结构复杂、孔渗相关性差<sup>[9]</sup>,这一方面造成油气分布复杂,相对高渗带具有更高的油气富集概率,另一方面渗透率参数难以准确求取,制约

了相对高渗带的研究。针对这一主要矛盾,引入流体流动单元的概念<sup>[11-13]</sup>,在流动单元的约束下开展测井渗透率参数解释<sup>[14]</sup>,使渗透率参数解释相对误



(a) 分流动单元建立的孔渗关系图版



(b) 流动单元约束前后渗透率解释结果与岩心分析结果的关系

图2 流动单元约束的渗透率解释(文昌13-1油田JZ2-1U)

Fig. 2 Flow unit constrained permeability interpretation (JZ2-1U sand group in Wenchang 13-1 Oilfield)

面对不断出现的复杂油藏,在油藏描述中抓住制约油藏开发的主要地质矛盾,具体油藏具体分析,从油藏共性出发找到指导性的一般规律,从油藏“个性”入手建立针对性的方法技术。这是解决复杂油藏描述问题的正确方法,同样也是油藏描述的发展给予研究者探索解决任何科学和技术难题有效途径的启示。

### 3 以“联合攻关小组”为核心的多学科综合研究

油藏描述吸收了与其相关的各个单一学科的最新理论和技术,不断促进油藏描述理论、方法和技术的进步,这也正是油藏描述至今仍表现出强大的生命力的原因。组成联合攻关小组是该技术获得成功的最关键因素,也是能够解决各类复杂油藏勘探和开发难题的根本原因。油藏描述过去30年的发展实践证明,每一个单项技术或单一学科的发展,都为油藏描述中地质问题的解决提供了新的方法和技术<sup>[15-20]</sup>。

油藏描述是对各类油藏基础地质及油藏勘探开发关键地质问题的综合研究,这种研究对象的综合性决定了其需要多学科联合攻关的特点。一方面,这种多学科的综合攻关不是各类单一研究的简单拼装,而是多学科、多信息的一体化研究;另一方面,单一学科的发展会推动整个油藏描述的发展,并能够在学科间创造出新的边缘交叉点,催生新的技术<sup>[20]</sup>,从而促进油藏描述的发展。

以地球物理勘探技术在油藏描述中的应用为例,早在20世纪50年代,地震技术已经在油藏勘探中应用,为构造圈闭的发现提供了有力的手段;随着地震资料采集和处理技术的发展以及计算机技术的

差降低为原来的1/8,大大提高了渗透率解释精度,使解决渗透率参数解释精度低这一低渗透油藏描述的瓶颈问题向前迈进了一大步(图2)。

发展,地震资料逐渐丰富起来,三维地震资料也开始得以工业化应用,以研究等时地层界面及其沉积特征为目的的地震地层学发展起来;到了20世纪80年代,以地震地层学为基础逐渐建立起了层序地层学,并发展出不同的流派,为油藏描述中的等时地层研究提供了新的研究方法。20世纪90年代后期开始,随着低成本地震采集技术的发展、计算机性能的提高以及处理技术的进步,三维地震在石油工业界大规模推广,高品质的地震资料以及地震属性分析技术、地震反演技术的飞速发展,为利用地震资料和地球物理技术研究岩性、沉积相和流体分布等问题提供了可能<sup>[21-22]</sup>,使精细油藏描述由密井网到稀井网,由陆上到海上,井间油藏描述精度和可靠性也大大提高。同时,在原有学科和技术之间催生了地震沉积学等新的边缘交叉学科,为油藏描述技术的发展注入了新的血液<sup>[19]</sup>。此外,原有的一些技术也获得了新的发展。例如原来围绕井资料开展的三维地质建模研究受井点数量和井距的制约比较大,随着高精度三维地震资料以及高精度地震反演结果的介入,井震结合的三维地质建模技术有效拓宽了地质建模技术的应用范围,提高了其预测精度,推动了整个油藏描述技术的发展<sup>[23]</sup>。现代地球物理技术和地质统计学的发展及其在油藏描述中的应用使得油藏描述开始了由井点到井间、由半定量到定量、由二维向三维的过渡,实现了基于测井资料的油藏描述向井震结合的油藏综合描述的跨越,减少了井间预测的不确定性,提高了对油藏的预测性,将油藏描述向前推进了重要一步。另外,原型地质模型研究及其在地质建模中的应用、对油藏地质模型的现场实时跟踪、动静态资料的互相反馈等技术使得地质建模更加符合地下实际情况(图3),精度更高。

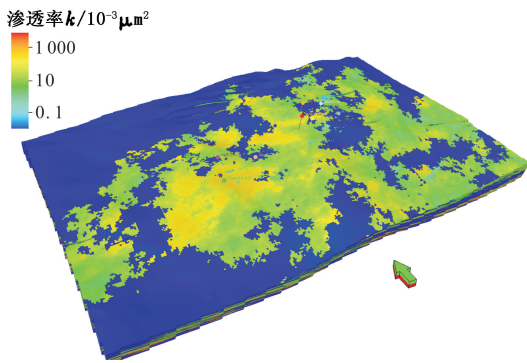


图3 随钻实时跟踪渗透率三维模型

Fig. 3 Real time 3D permeability model while drilling

综合性和系统性是现代技术研究的共性,油藏描述技术的上述发展特点揭示了现代技术发展的一个正确方向,那就是多学科联合小组攻关,这不仅是油气藏勘探开发技术发展的方向,也是其他综合研究技术的发展趋势。这种多学科联合小组攻关不是不同学科、不同领域研究的简单组合,而是围绕一个复杂问题的多学科一体化研究。因此,这种多学科联合小组攻关是一种“1+1>2”的高效发展模式。同时,也应该意识到,随着油藏勘探开发的不断深入,复杂油藏中的新问题以及新的复杂油藏类型会不断出现,这些问题的解决依赖于技术的不断创新发展。

#### 4 以油藏非均质性为核心的表征技术

从油气成藏及分布到已开发油气藏的剩余油形成与分布都受到油藏非均质性的显著影响及控制作用<sup>[24-26]</sup>,油藏非均质性是“改善开发效果、提高采收率”的最关键的地质因素。油藏非均质性具有级次性,不同尺度或级次的油藏非均质性影响流体的波及体积系数和驱替效率,从而影响剩余油形成与分布,最终影响采收率。

以 W13-1 油田珠江组海相碎屑岩油藏为例,由于其构造简单、海相砂岩大面积分布,在油藏开发初期将其作为相对均质砂岩油藏进行开发,围绕构造高部位钻井,取得了良好的开发效果。但是,经过 20 年的开发,油藏进入开发后期,单井产能降低、开发矛盾逐渐显现、增储上产压力大。为了解决上述难题,开展精细油藏描述研究,细化研究单元,剖析层内 3 类夹层(泥质、钙质和物性夹层)的分布,如图 4 中的钙质夹层,并通过速度场精细研究,揭示了地层速度的平面非均质性对构造认识的影响,重新落实了研究区低幅度构造特征,建立了反映油藏非均质性特征的油藏地质模型。通过上述油藏精细描

述研究,揭示了油藏的非均质特征,重新落实了石油地质储量,指出了剩余油富集区,有力指导了该油田的油藏开发工作。因此,从油藏非均质性角度,利用动静态资料相结合的分析方法,根据不同油藏类型以及不同级次上的非均质性特征,可以对剩余油分布进行预测研究,从而达到改善开发效果和高采收率的目的。

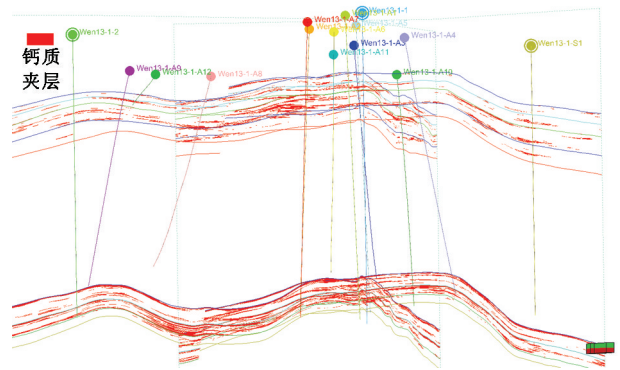


图4 W13-1 油田珠江组夹层地质模型

Fig. 4 Interlayer model of Zhujiang formation in W13-1 Oilfield

#### 5 应用效果

油藏描述伴随着油气田从发现到开发的整个过程,随着开发的深入,积累的研究资料越来越丰富,对油气藏的认识也逐步深入,不同阶段的油藏描述有着不同的特点,是一个针对不同问题、逐步深化认识的过程。油藏描述当中不乏先进技术,也离不开一些看似常规、实为实用而且有效的技术。以油藏描述中的地层划分对比研究为例,地震地层学、层序地层学、高分辨率层序地层学、地震沉积学都在不同的时期作为先进的理论和技术方法,但实践证明基于标准层的常规地层划分对比才是最实用、最有效和应用最广泛的方法。

油藏描述研究成果在油气田(藏)勘探和开发的不同阶段都得到应用,通过油藏描述,准确计算油气地质储量,建立地质模型,编制油气藏开发方案,确定剩余油分布,进行方案部署、调整及剩余油挖潜,提高采收率,改善油气藏开发效果。可以说,各类复杂油气藏的可持续高效开发,都离不开油藏描述。一方面在油藏勘探开发不同阶段,通过开展油藏描述解决制约油藏勘探开发的关键难题,推进油藏高效开发;另一方面随着新资料的补充和单一学科不断出现的新技术、新理论的应用,对油藏产生新的认识,不断逼近地下真实地质描述,开辟老油田的新领域,提出高效开发的新目标,最终实现采收率的

提高。

随着陆上油气滚动勘探开发步伐的不断加快以及海上油气田的开发,油藏开发初期就对油藏认识精度提出了很高的要求,在这种情况下油藏描述在油气藏成功、高效开发中发挥了巨大作用。以吉林红岗浅层气藏为例,围绕岩性控制的薄砂岩气藏的水平井钻探要求,在研究区已钻少量试气井研究的基础上,通过井震结合的气藏描述研究,综合利用含气敏感性地震属性分析、地震参数反演等方法,重点攻克储层展布和含气分布预测两大难题,对研究区目的层含气范围进行了细致描述与圈定(图5)。利用该研究成果部署井位红H平2井获得高产工业气流。

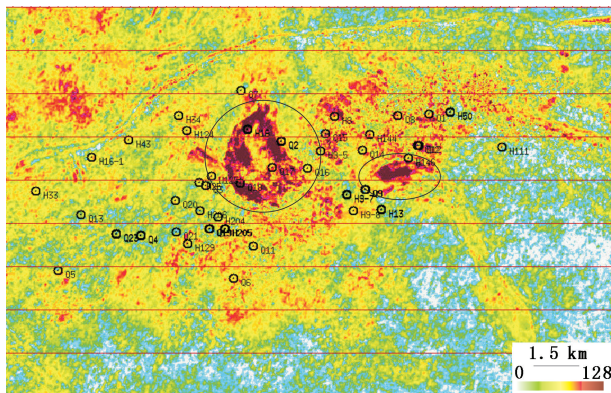


图5 利用波形正半周面积属性预测有利含气范围

Fig.5 Prospected gas-bearing area with positive half area of seismic waveform

## 6 结论与认识

(1)油藏描述从解决复杂油藏开发难题出发,以实际需求为驱动促进技术的发展和运用,从而解决油藏勘探开发的实际问题,形成了一个“实际难题—技术开发—实际应用—解决难题”的技术发展良性循环,从而使油藏描述技术的发展动力不竭、前景广阔。

(2)组成联合攻关小组是油藏描述技术获得成功的最关键因素,相关学科理论和技术的进步及学科间的交叉创新推动了油藏描述的发展,这是现代科技发展的趋势。

(3)油藏非均质性是影响开发效果和原油采收率的最关键地质因素,随着油藏开发的深入,这一点会更加显著,因此以油藏非均质性表征为核心的油藏描述技术始终是油藏高效开发的核心技术。

### 参考文献:

[1] HALDORSEN H H, DAMSLETH E. Challenges in reser-

voir characterization: Geohorizons [J]. AAPG Bulletin, 1993,77(4):541-551.

[2] 刘泽容,信荃麟,王伟锋,等.油藏描述原理与方法技术[M].北京:石油工业出版社,1993.

[3] 信荃麟,张一伟.油藏描述与油藏模型[M].东营:石油大学出版社,1990.

[4] 林承焰.剩余油形成与分布[M].东营:石油大学出版社,1999.

[5] 裘亦楠,陈子琪.油藏描述[M].北京:石油工业出版社,1996.

[6] 熊琦华,王志章,纪发华.现代油藏描述技术及其应用[J].石油学报,1994,15(S1):1-9.

XIONG Qi-hua, WANG Zhi-zhang, JI Fa-hua. The modern reservoir description technique and its application in China [J]. Acta Petrolei Sinica,1994,15(S1):1-9.

[7] 于兴河,李剑峰.油气储层研究所面临的挑战与新动向[J].地学前缘,1995,2(3/4):213-220.

YU Xing-he, LI Jian-feng. Challenges and trends in the study of hydrocarbon reservoir [J]. Earth Science Frontiers, 1995,2(3/4):213-220.

[8] 王捷.关于济阳拗陷地层油藏的讨论[J].大庆石油地质与开发,1984,3(1):108-117.

WANG Jie. Discussion on stratigraphic reservoir in Jiyang depression[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 1984,3(1):108-117.

[9] 程启贵,陈恭洋.低渗透砂岩油藏精细描述与开发评价技术[M].北京:石油工业出版社,2010.

[10] 姜洪福,隋军,庞彦明,等.特低丰度油藏水平井开发技术研究与应用[J].石油勘探与开发,2006,33(3):364-368.

JIANG Hong-fu, SUI Jun, PANG Yan-ming, et al. Technique of exceptionally low abundance oil reservoir development by horizontal wells and its application[J]. Petroleum Exploration and Development,2006,33(3):364-368.

[11] 吴胜和,王仲林.陆相储层流动单元研究的新思路[J].沉积学报,1999,17(2):252-257.

WU Sheng-he, WANG Zhong-lin. A new method of nonmarine reservoir flow unit study[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999,17(2):252-257.

[12] 王志章,何刚.储层流动单元划分方法与应用[J].天然气地球科学,2010,21(3):362-366.

WANG Zhi-zhang, HE Gang. Division of reservoir flow unit and its application [J]. Natural Gas Geoscience, 2010,21(3):362-366.

[13] 窦之林.单井流动单元的方差分析识别方法[J].油气地质与采收率,2003,10(6):1-4.

DOU Zhi-lin. Identification method of variance analysis

- on flow units for single well [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2003,10(6):1-4.
- [14] 董春梅,林承焰,赵海朋,等. 基于流动单元的测井储层参数解释模型[J]. *测井技术*,2006(5):425-429.  
DONG Chun-mei, LIN Cheng-yan, ZHAO Hai-peng, et al. Model of well logging reservoir parameter interpretation based on flow units[J]. *Well Logging Technology*, 2006(5):425-429.
- [15] 侯加根,蔡忠,杨少春. 计算机在碎屑岩粒度及岩矿成分数据定量分析中的应用[J]. *地质论评*,1993,39(4):329-335.  
HOU Jia-gen, CAI Zhong, YANG Shao-chun. The quantitative analysis of grain size and rock and mineral composition data of clastic rocks on computer[J]. *Geological Review*,1993,39(4):329-335.
- [16] 马世忠,黄孝特,张太斌. 定量自动识别测井微相的数学方法[J]. *石油地球物理勘探*,2000,35(5):582-589.  
MA Shi-zhong, HUANG Xiao-te, ZHANG Tai-bin. Mathematic method for quantitative automatic identification of logging microfacies [J]. *OGP*, 2000,35(5):582-589.
- [17] 孙福街,程林松,李秀生. 层次分析法在油田开发综合评价与方案优选中的应用探讨[J]. *中国海上油气(地质)*,2002,16(5):328-333.  
SUN Fu-jie, CHENG Lin-song, LI Xiu-sheng. An application of hierarchic analysis to comprehensive evaluation and optimization of oil field development plan [J]. *China Offshore Oil and Gas(Geology)*, 2002,16(5):328-333.
- [18] 杨少春,刘泽容,吴佩芳. RFT资料在多井储层评价中的应用[J]. *地质论评*,1993,39(4):343-351.  
YANG Shao-chun, LIU Ze-rong, WU Pei-fang. The application of RFT data in multi-well reservoir evaluation [J]. *Geological Review*, 1993,39(4):343-351.
- [19] 袁秉衡,孙廷举,张淑敏,等. 透视地下油藏:石油地球物理勘探[M]. 北京:石油工业出版社,2006.
- [20] 林承焰,张宪国,董春梅. 地震沉积学及其初步应用[J]. *石油学报*,2007,28(2):69-72.  
LIN Cheng-yan, ZHANG Xian-guo, DONG Chun-mei. Concept of seismic sedimentology and its preliminary application[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2007,28(2):69-72.
- [21] 徐怀民,刘泽容,许敬. 综合烃类检测技术及其在早期油藏描述中的应用[J]. *地质论评*,1993,39(4):308-315.  
XU Huai-min, LIU Ze-rong, XU Jing. The technique for integrated hydrocarbon detection and its application in the early-stage reservoir description [J]. *Geological Review*,1993,39(4):308-315.
- [22] 徐守余,侯加根,徐怀民. 利用地震多参数预测油水边界[J]. *地质论评*,1993,39(S1):83-87.  
XU Shou-yu, HOU Jia-gen, XU Huai-min. Prediction of oil-water boundary by means of seismic multiparameter analysis[J]. *Geological Review*, 1993,39(S1):83-87.
- [23] 林承焰,侯加根,侯连华,等. 油气储层三维定量地质建模方法和配套技术[J]. *石油大学学报:自然科学版*,1996,20(4):20-25.  
LIN Cheng-yan, HOU Jia-gen, HOU Lian-hua, et al. Development of the 3-D quantitative geological modeling techniques for oil-gas reservoir[J]. *Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science)*, 1996,20(4):20-25.
- [24] 李阳. 陆相水驱油藏剩余油富集区表征[M]. 北京:石油工业出版社,2011.
- [25] 封从军,单启铜,时维成,等. 扶余油田泉四段储层非均质性及对剩余油分布的控制[J]. *中国石油大学学报:自然科学版*,2013,37(1):1-7.  
FENG Cong-jun, SHAN Qi-tong, SHI Wei-cheng, et al. Reservoirs heterogeneity and its control on remaining oil distribution of  $K_1q^4$ , Fuyu Oilfield [J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2013,37(1):1-7.
- [26] 徐慧,林承焰,雷光伦,等. 水下分流河道单砂体剩余油分布规律与挖潜对策[J]. *中国石油大学学报:自然科学版*,2013,37(2):14-20.  
XU Hui, LIN Cheng-yan, LEI Guang-lun, et al. Remaining oil distribution law and potential tapping measures of subaqueous distributary channel single sandbody [J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2013,37(2):14-20.

(编辑 徐会永)