

第二届中国油气藏开发地质 学术研讨会论文集

DIERJIE ZHONGGUO YOUQICANG KAIFA DIZHI
XUESHU YANTAOHUI LUNWENJI

吴胜和 岳大力 主编

石油工业出版社

第二届中国油气藏开发地质 学术研讨会论文集

吴胜和 岳大力 主编

石油工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

第二届中国油气藏开发地质学术研讨会论文集/吴胜和, 岳大力主编.
北京: 石油工业出版社, 2012. 12

ISBN 978-7-5021-9449-9

I. 第…

II. ①吴… ②岳…

III. 油气藏—石油天然气地质—学术会议—文集

IV. P618.130.2-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 011639 号

出版发行: 石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: <http://pip.cnpc.com.cn>

编辑部: (010) 64523612 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京晨旭印刷厂

2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月第 1 次印刷

889 × 1194 毫米 开本: 1/16 印张: 22.25

字数: 639 千字

定价: 90.00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

前 言

本书为2010年9月在北京召开的第二届中国油气藏开发地质学术研讨会暨博士生论坛的论文文集。这次会议是继2006年中国石油学会石油地质专业委员会油气藏开发地质学组成立大会暨学术研讨大会之后的又一次盛会。

本次大会由中国石油学会石油地质专业委员会、中国石油学会石油工程专业委员会、中国地质学会石油地质专业委员会、中国石油大学(北京)、北京石油学会联合主办,由中国石油大学(北京)承办,中国石油勘探开发研究院、中国石化勘探开发研究院协办。会议收到论文120多篇,参会代表来自中石油、中石化、中海油所属研究院、油田公司以及各石油和地质高校等31家单位,参会人数330人,共有51名专家学者作学术报告。大会切实践行了油气藏开发地质学组“加强交流、促进创新、发展学科、服务生产”的宗旨,紧紧围绕“油气藏开发地质学新进展”的主题开展学术交流,全面展示了近年来油气藏开发地质学的新理论、新方法和新技术。

本文集收录了45篇论文,分为以下5个专题:

(1) 沉积构型与储层分布:论述了沉积构型与储层分布的研究现状,阐述了相关研究方法与技术手段,如高分辨率层序地层学、地震沉积学、遥感信息图像分析方法、水槽实验等在沉积构型与储层分布研究中的应用特点与效果,指明了该领域的前沿研究方向。

(2) 储层质量与油气层:论述了储层质量与油气层的差异分布机理及分布规律,包括多油水系统油藏成因分析、有效储层下限厘定、储层发育特征及成因分析、油层识别及应用效果评价、低饱和度气层的特征、成因及分布规律等。

(3) 裂缝性储层表征:论述了裂缝性储层特征、开发效果、控制因素及预测方法等,包括特低渗裂缝性砾岩油藏储层特征及其对开发效果控制作用研究、碳酸盐岩储层裂缝预测与建模、潜山裂缝测井识别及评价、谱分解技术在微断裂检测中的应用、低渗透砂岩油藏储层裂缝建模方法研究、复杂裂缝性砂岩油藏剩余油主控因素与分布规律。

(4) 储层建模与评价:论述了不同类型油气藏表征、建模与评价的方法及应用,包括碳酸盐岩缝洞型油藏三维地质建模方法、地震波阻抗约束下的储层地质建模方法与实践、复杂断块油田精细油藏描述技术成果与应用、储层精细描述技术在东方气田中的应用、火山岩气藏三维地质模型不确定性影响因素及其解决方法、稠油油藏精细描述研究及应用。

(5) 剩余油分布与开发效果分析:包括高含水油田密闭取心井水淹状况及控制因素分析、辫状河心滩内部夹层控制的剩余油分布物理模拟、水淹层测井响应特征研究以及河流相砂岩油藏、海相砂岩油藏、冲积扇砂砾岩油藏、低渗油藏的开发效果及控制因素分析等。

值此文集出版之际,特别感谢前辈专家裘怿楠教授、熊琦华教授对油气藏开发地质学组的扶持与帮助;衷心感谢李阳教授、宋新民教授、穆龙新教授、计秉玉教授、胡光义教授、于兴河教授、林承焰教授、王志章教授对学组工作及本文集出版给予的支持与帮助。徐怀民教授、纪友亮教授、侯加根教授、徐樟有副教授、吴欣松副教授、尹志军副教授、李胜利副教授以及石油工业出版社为文集审稿和编辑付出了辛劳,在此一并致谢。

编者

2012年6月于北京

目 录

沉积构型与储层分布

地下储层构型表征：现状与展望	吴胜和 翟瑞 李宇鹏 (3)
油田开发中后期储层面临的问题与基于沉积成因的地质表征方法	于兴河 (12)
博兴洼陷滩坝相高分辨率层序地层及垂向砂体展布特征研究	林承焰 郭建卿 董春梅 (27)
应用遥感信息图像研究现代水下分流河道河流类型	马世忠 张永清 (36)
大庆长垣辫状河砂体物理模拟实验研究与认识	何宇航 宋保全 张春生 (46)
地震沉积学在大庆长垣密井网条件下储层精细描述中的初步应用	郝兰英 郭亚杰 李杰 等 (54)
利用地球物理信息描述辽河拗陷古潜山有效储集体方法初探	龚姚进 张新培 (60)
基于等时地层格架的滩坝相地震地层学沉积特征研究	郭建卿 林承焰 (66)

储层质量与油气层

渤海海域黄河口凹陷新近系多油水系统油藏成因分析	胡光义 杨希濮 古莉 等 (75)
涪西南凹陷 11-7 构造区流沙港组中深层有效储层下限厘定	姚光庆 张建光 姜平 等 (83)
苏里格气田低渗透储层微观孔隙结构特征及其分类评价方法	李海燕 岳大力 张秀娟 (91)
珠江口盆地流花油田新近系生物礁灰岩储层特征及成因分析	古莉 胡光义 罗文生 等 (100)
廊固凹陷沙三段大兴砾岩体成因及油气分布规律	张斌 陈蓉 庞爱兴 等 (111)
松辽盆地南部扶新隆起北坡泉四段储层特征及其主控因素分析	梅俊伟 彭仕宓 王金鹏 (115)
徐深气田火山岩储层发育特征及成岩作用研究	纪学雁 王海燕 钟安宁 等 (122)
三塘湖盆地牛东油田石炭系卡拉岗组火山岩油层识别及应用效果评价	荆文波 陈昶旭 杜春梅 等 (132)
柴达木盆地三湖地区第四系低饱和度气层的特征、成因及分布规律	李雄炎 李洪奇 周金煜 等 (139)
徐深气田营城组四段砾岩储层特征研究	庞智英 (147)
应用井壁取心油藏地球化学分析技术判识油、水、干层	王巧丽 王铁冠 谢治国 等 (153)

裂缝性储层表征

特低渗裂缝性砾岩油藏储层特征及其对开发效果控制作用研究	
——以克拉玛依油田八区下乌尔禾组油藏为例	徐怀民 阴国锋 (161)
阿曼 D 油田碳酸盐岩储层裂缝预测与建模研究	赵国良 穆龙新 李方明 等 (167)
锦州 25-1 南油田混合花岗岩潜山裂缝测井识别及储层有效性评价	杨庆红 魏莉 张迎春 等 (173)

谱分解技术在阿曼 Daleel 油田微断裂检测中的应用	张艳芳 王权锋 (179)
低渗透砂岩油藏储层裂缝建模方法研究	王强 迟博 刘卫丽 (183)
复杂裂缝性砂岩油藏剩余油主控因素与分布规律	韩海英 王志章 王国先 等 (188)
准噶尔盆地西北缘克—乌断裂带百 31 断块区佳木河组储层小尺度裂缝研究	朱亚婷 聂建疆 李建国 等 (195)

储层建模与评价

塔河碳酸盐岩缝洞型油藏三维地质建模方法研究	胡向阳 李阳 权莲顺 等 (201)
地震波阻抗约束下的储层地质建模方法与实践	陈恭洋 胡勇 周艳丽 等 (212)
大港复杂断块油田精细油藏描述技术成果与应用	芦凤明 孟庆龙 (219)
储层精细描述技术在东方气田中的应用	黄月银 姜平 李茂 等 (229)
火山岩气藏三维地质模型不确定性影响因素分析与对策研究	陈炳峰 徐岩 于海生 等 (236)
特、超稠油油藏精细描述研究及应用	
——以克拉玛依油田九 _{7,8} 区齐古组为例	黄伟强 郑爱萍 杜雪彪 (245)
RMS 相控随机建模技术在辫状河稠油油藏储层表征中的应用	郑爱萍 张国军 杜雪彪 (253)

剩余油分布与开发效果分析

高含水油田密闭取心检查井水淹状况及主控因素研究	
——以扶余油田泉四段油层为例	高兴军 宋新民 李淑贞 等 (261)
辫状河心滩内部夹层控制的剩余油分布物理模拟实验	岳大力 赵俊威 温立峰 (272)
塔里木盆地海相砂岩隔夹层对开发效果的影响	
——以塔中地区东河砂岩为例	江同文 韩 涛 徐怀民 (278)
特高含水期厚油层剩余油综合描述及分布特征研究	朱丽红 (289)
影响低渗透油藏注水开发效果的因素及改善措施	李志鹏 林承焰 董 波 等 (296)
海拉尔盆地潜山油藏水平井开发技术研究	孙贻铃 韩令春 陈淑利 等 (302)
河流相储层构型单元组合对剩余油分布规律影响	林博 孙焕泉 鹿洪友 等 (310)
克拉玛依油田八区克上组油藏 S ₄₊₅ 层剩余油分布研究	胡新平 赵文革 林 军 等 (315)
水淹层测井响应特征研究	
——以克拉玛依油田 530 井区八 ₄₊₅ 层油藏为例	金 萍 宋廷春 黄 政 等 (320)
低渗、薄互层砾岩油藏中高含水期数值模拟及合理开发方式与开采界限研究	林 军 王 平 胡虎踞 等 (326)
塔里木盆地塔中 16 油田隔夹层特征及其对剩余油分布的控制	彭海军 张承泽 陈 楠 等 (333)
Petrel 软件在克拉玛依油田八区下乌尔禾组 256 井断裂上盘精地质与开发特征研究	
中的应用	张 兵 顾远喜 宋廷春 等 (340)
松辽盆地特低渗透扶余油层成因砂体吸气特征研究	
——以芳 48 断块为例	李照永 吴丽芳 王建凯 (345)

沉积构型与储层分布

地下储层构型表征：现状与展望

吴胜和 翟 瑞 李宇鹏

中国石油大学（北京）地球科学学院 北京 102249

摘 要：地下储层构型表征是近十几年发展起来的油气藏开发地质研究方向。与露头构型分析不同的是，地下储层构型表征主要依据地震信息和多井信息，相应地发展了两类方法：其一为地震沉积学（地貌学）方法，即通过三维地震资料地层切片等方式，利用地震成像特征研究沉积单元的分布；其二为多井模式预测方法，即通过将不同级次的定量构型模式与地下井资料（包括动态监测资料）进行拟合，分级约束并预测不同级次的构型单元的井间分布。本文论述了这两类方法的起源、基本原理、应用范畴及存在的问题，并根据油田生产要求与技术发展提出了进一步深入研究的方向，包括三维定量构型模式的深化研究、储层构型地震响应及解释方法研究、多井模拟拟合方法的改进与创新等。

关键词：地下储层构型 储层表征 现状与展望

1 引言

储层构型（reservoir architecture），也可称为储层建筑结构，是指不同级次储集单元与隔夹层的形态、规模、方向及其空间叠置关系。在油田开发阶段，储层内部不同级次的渗流屏障对地下油水运动特别是剩余油的形成与分布具有很大的控制作用，因此，地下储层构型研究是提高油气采收率、最大限度地开发油气资源的关键所在。

储层构型分析与传统的沉积相分析均是对沉积体中的砂体叠置与展布特征进行研究，但两者有较大的差别。在传统的沉积相分布研究中，主要应用砂地比、砂体厚度分布图、地震相分析等方法研究优势相的分布，相边界为统计意义上的边界，实际上为包络线；而构型分析则主要是从层次结构的角度，确定复合砂体内部不同级次的单一相单元（如单一河道砂体、单一点坝砂体、单一侧积层）在空间上的等时物理界面，特别是界面处的隔夹层分布。

构型研究起源于露头沉积学分析。著名的河流沉积学家 Miall 于 1985 年提出的构型要素分析方法，主要是针对露头进行构型要素的识别、划分和侧向追踪对比^[1-5]。地下构型分析与露头研究有很大的差别。在露头上，构型单元的侧向分布可进行连续的、直观可视的追踪；而在地下，虽然可对井内构型单元进行解释，但井间构型单元的分布“看不见，摸不着”，需要进行井间预测。

地下构型表征的信息主要为三维地震信息和井信息。由于三维地震信息为井间未知区提供了连续的空间信息，因此，基于地震信息进行包括构型在内的地下地质体预测一直是地质家和地球物理学家攻关研究的目标。迄今，国外学者主要应用地震资料通过井震结合进行沉积构型研究^[6-16]。井信息，包括岩心、测井、动态监测信息，是十分重要的地下信息。当井网密度较大时，井信息可用于地下构型分布研究。由于我国对开发老油田“精雕细琢、深入挖潜”的需求，我国学者在发展地震储层构型预测技术的同时，大力开展了密井网条件下多井构型表征方法的研究^[17-29]。

基金项目：国家科技重大专项课题“复杂油气田地质与提高采收率技术”资助（编号：2011ZX05009-003）；国家高技术研究发展计划（863 项目）资助（编号：2008AA06Z206）。

作者简介：吴胜和，教授，博士生导师，主要从事油气田开发地质领域的教学和科研工作。

近十几年来,地下储层构型表征方法取得很大的进展,并为油气田开发特别是注水开发中后期剩余油预测与挖潜提供了重要的地质依据。然而,地下储层构型研究难度很大,在这一领域尚有很多科学和技术问题有待于进一步攻关研究。本文的主要目的是在总结已有的地下储层构型研究方法进展的基础上,分析该领域存在的问题与不足,展望未来攻关研究的方向,以进一步促进地下储层构型表征方法以及相关地质理论的发展,为油气田高效经济开发提供必要的理论基础和技术支撑。

2 进展与现状

地下储层构型表征是近十几年随着油气藏深入开发的需求而发展起来的地质研究方向。依据地下表征的信息,发展了两大类地下储层构型表征方法,即地震资料解释方法和多井预测方法。

2.1 地下储层构型的地震资料解释方法

地震资料(特别是三维地震资料)由于其横向采集密度大,是迄今地下地质体横向预测最有效的信息。自从美国学者 Vail 等(1977)开创地震地层学以来,在地下地层学解释和宏观沉积相分布研究方面取得了长足的进步。经典地震地层学中的地震相分析(Mitchum, 1977)主要是在地震剖面上视觉可分辨的地层内,依据地震反射终止关系、内部结构和外部形态进行地震相(内部结构、振幅、连续性、频率、层速度等的集合)的分类、识别和平面编图,并据此进行沉积相解释。编图单元的厚度至少包括几个同相轴,一般对应于百米或数百米厚的地层。由于一般的单砂体厚度往往为数米至十几米,因此,经典的地震相分析方法难于分辨出单砂体界面及其内部构型单元。真正意义上的储层(沉积)构型地震资料解释方法则是近十几年才发展起来的。

基于三维地震数据体切片技术,一些学者发展了应用三维地震资料进行地貌学和沉积学解释的方法。Posamentier(2003, 2007)重视地貌学特征及其垂向演化,据此将这类方法称为“地震地貌学”^[30-31];曾洪流(2003, 2004)强调地层切片的等时性、岩性标定、资料处理及解释方法,注重地震资料的沉积学(沉积相和岩性)解释,故将其称为“地震沉积学”^[32-33]。这类方法的理论基础是:沉积地质体的平面延伸范围一般大于沉积厚度,因此,剖面上受地震垂向分辨率限制而无法分辨的地质体,在平面上有可能突破地震横向分辨率的限制而被识别出来。为此,在地震层序解释格架内,通过对三维地震数据体内地质时间标志层(标志同相轴)之间的连续地层切片,可在平面上识别地质体及其内部沉积(构型)单元,并研究该地层时间单元内地质体的垂向演变。此类方法注重以下几个方面:

(1) 由于地层切片可在平面上探测地质体,理论上三维偏移后地震资料的横向分辨率为 $1/4$ 主波长,极限是地震面元(一般宽度 25m),垂向上切片间距可为理论上的垂向分辨率极限($1/4$ 主波长,一般为 10m 级)。因此,在层序(或准层序)界面内的地震地层切片将地震资料的分辨能力从百米级提高到十米级,这也是该方法的最大优点。

(2) 地震波频率成分控制了地震反射同相轴的倾角和内部反射结构,在频带宽度内选择性滤波调整频率范围,有利于不同调谐频率的地质体解释。

(3) 通过对零相位地震资料进行适当的相位转换,使得地层顶底界面都对应于地震子波的零相交叉,避免因同相轴不连续造成的解释误差。

应用三维地震资料进行地貌学和沉积学解释的基本步骤为:

(1) 应用层序地层学原理,综合应用井震资料,建立等时地层格架;

(2) 对地震数据体进行处理(包括属性计算、波阻抗反演、频谱分解、相位转换等),使其最大限度满足解释精度的需要;

(3) 对三维地震数据体进行地层切片;

(4) 结合井资料对一系列地层切片进行沉积学解释。

由于这一方法可在平面上识别沉积体的界面(即沉积构型界面)及单一成因单元(如单一微相单元),因此,可用于沉积构型解释。迄今,很多学者开展了三维地震资料沉积(构型)解释研究,

并在某些特定地质条件（构造平缓、埋藏深度浅、地层结构简单）下取得了较好的应用效果^[30-43]。以北马来盆地始新统为例，其三维地震数据主频 80Hz，埋藏深度 250m，地震地层切片可清晰地反映出高弯度曲流河的河道、点坝、废弃河道等中小级次的沉积构型单元（图 1）。然而，在埋藏较深、地震资料主频较低的条件条件下，三维地震切片很难分辨出单一微相级别的构型单元。以渤海湾盆地黄骅坳陷某区块新近系明化镇组为例，其埋藏深度约 1300m，地震数据主频 35Hz，三维地震切片仅显示了部分单河道和复合河道带的分布范围，其中，复合河道带实际上属于优势相的范畴，其内的构型界面难于识别（图 2）。

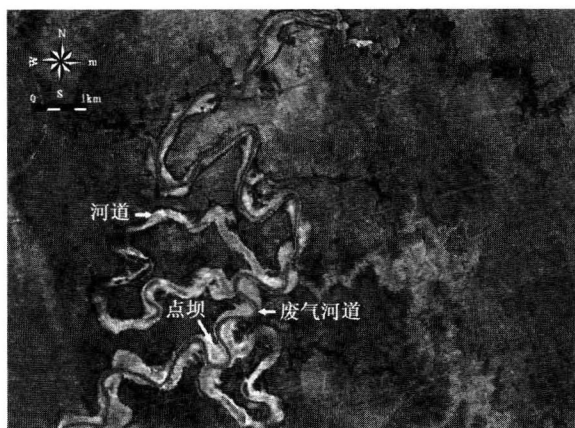


图 1 北马来盆地始新统某层位三维地震地层切片

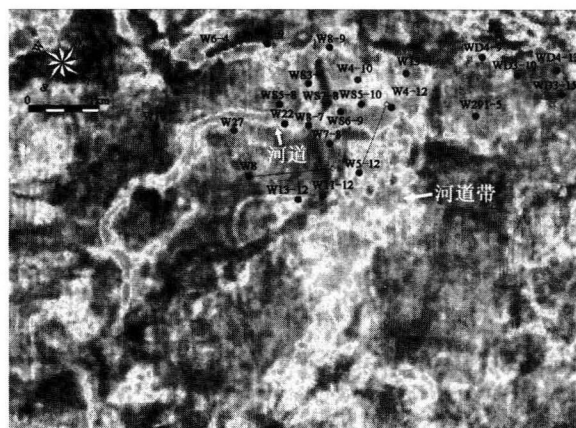


图 2 渤海湾盆地黄骅坳陷某区块新近系明化镇组三维地震地层切片

值得注意的是，在应用三维地震资料进行储层构型解释方面尚存在一定的限制：

(1) 三维地震资料的品质依然是制约地震储层构型分析的瓶颈，虽然通过地震切片提高了地震资料的分辨能力（达 $1/4$ 波长），但当资料主频较低、有效频带宽度较窄时，地震资料的绝对分辨率也低，小规模的构型单元难于成像；

(2) 在砂、泥岩薄互层的地层结构以及砂、泥岩波阻抗分异不明显的条件下，调谐效应造成各层反射间的干扰，即使应用地层切片也难于对构型单元进行分辨和识别。

2.2 地下储层构型的多井预测方法

在地震分辨率难于满足解释精度需要时，地下储层构型研究主要依据多井资料。应用多井资料进行沉积相研究的历史由来已久，但针对地下储层构型研究的多井预测方法则是近十几年来发展起来的。经典的多井沉积相研究方法主要有以下两类：

一是应用砂地比插值进行区域沉积相编图的方法。作图单元一般为段或亚段。在确定的沉积体系内（如三角洲），根据井点统计的砂体厚度与地层厚度之比（砂地比）进行井间插值，得到砂地比平面分布图，并通过对砂地比的截断值确定沉积相分布图（一般为亚相，如三角洲前缘、前三三角洲）。显然，用这种方法编制的沉积相图仅反映了优势相的分布，相边界为统计意义上的边界，不是真正意义上的相界面，因此也就不具有构型意义。

二是应用砂体厚度插值和测井相分析进行油砂体及砂体微相编图的方法。该方法主要应用于油田开发阶段的开发井网条件下。首先对各井进行小层划分与对比，然后应用砂体厚度插值方法在小层内编制油砂体分布图（依据砂体厚度零线确定砂岩尖灭线），并在油砂体范围内根据测井相标志划分砂体微相。该方法是我国大庆油田研究人员于 20 世纪 60 年代提出的，在当时属于国际领先的油藏开发地质学方法。这种方法对于油田早期开发的井网优化、注采关系调整具有很大的指导作用。然而，在这种油砂体微相分布图中，没有体现油砂体内部单砂体（在河流相中可理解为单河道砂体）及其内部单元的叠置关系，因而难于表达油砂体内部的侧向隔挡体和夹层分布，故难于满足油田开发中后期

剩余油预测和挖潜的需要。问题源于砂体内部构型的规模相对较小,钻遇目标单元的井数偏少,即使是在油田开发中后期的密井网条件下,井距(如100m井距)仍可能大于构型单元的规模(如数十米宽的废弃河道、点坝内部泥质侧积层等),因而难于通过插值“控制住”构型单元的分布。

砂体内部构型解剖的本质在于以下两个方面:

(1) 垂向分期:复合油砂体常由垂向上多个期次的单砂体叠置而成。垂向期次包括两个层次,其一为小层内部属于不同单层的砂体,其二为单层内部不同时段形成的砂体。

(2) 侧向划界:同一期次的砂体在侧向上往往由多个单砂体叠置组成(如多个单河道砂体组成复合河道砂体),单(河道)砂体又由多个单一微相砂体(如点坝砂体)组成,单砂体内部又由多个增生体组成(如单一点坝砂体内部由若干侧积体和侧积层组成)。构型解剖的重要任务之一是划分各级单一构型单元的侧向边界。

近十多年来,一些学者针对开发井网条件下砂体内部构型解剖的方法进行了大量的探索和研究,并取得了丰富的研究成果,如单层(韵律层)划分对比的方法、构型单元的侧向划界依据等^[19-24]。笔者在前人研究的基础上,倡导了井间构型的模式预测思路与方法^[25-29],包括层次约束、模式拟合和多维互动。

(1) 层次约束:针对目标储集体,进行层次划分,并根据构型规模、井网密度及生产需求确定目标区所能解剖的构型级别;在实际构型预测中,首先预测大级次构型单元,然后分级约束预测更小级次的构型单元。

(2) 模式拟合:分别将不同级次的定量构型模式与井网资料(包括动态资料)进行拟合(即根据构型单元划分标志、分布样式和定量规模,在井间划分构型单元边界),从而得到井间构型的分布,使其既与井点吻合,又符合地质模式。如在点坝内预测侧积层分布时,则将模式(侧积方向、倾角、间距等)与井眼解释的侧积层进行拟合,即按照倾向(指向废弃河道的方向)、倾角和分布样式(弧形面)连接井点侧积层,且保持两个侧积层的横向间隔,从而建立侧积层的空间分布模型。

(3) 多维互动:在预测和分析过程中,通过一维(井眼)、二维(剖面和平面对)以及三维视窗栅状分析的联动进行相互验证、反复拟合,逐步逼近地质真实。

应用多井资料进行储层构型预测的基本步骤为:

(1) 单层对比——认知地层发育模式,进行单层对比,建立等时地层格架;

(2) 构型模式认知——认知所要解剖的各类构型单元的定量分布模式(分布样式和定量规模)和划分依据;

(3) 分级构型解剖——通过构型模式和多井资料的拟合,按级次大小分级进行井间构型预测。

图3为大港油田明化镇组某小层沉积构型解释的一个剖面图,研究层段为曲流河沉积,河道砂体厚度约7~9m,根据小井距分析和经验公式^[27,29]估算的河流满岸深度约为8~10m,河流满岸宽度近于135~200m,点坝跨度780~1100m,侧积层倾角为5°~6°。据此,将各单井构型解释资料与上述模式进行拟合,分单河道、点坝(废弃河道)、侧积层三个级次进行井间预测。

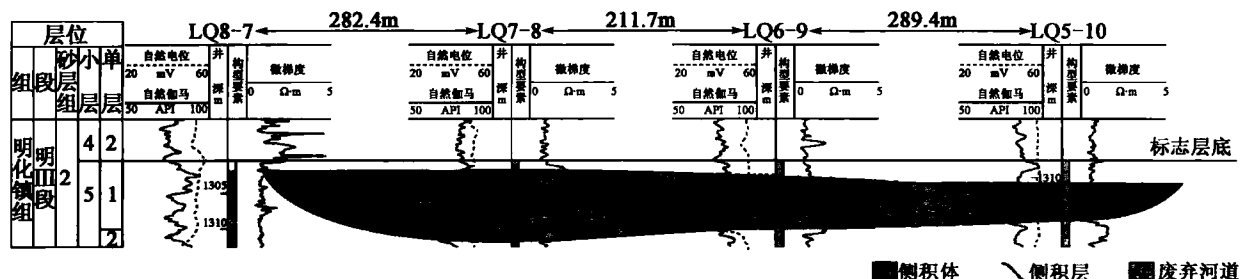


图3 港东油田某区块明化镇组某单层沉积构型解释剖面图

迄今,学者们开展了大量的密井网条件下多井构型表征的研究,并取得了较好的应用效果^[17-29]。然而,值得注意的是,应用多井资料进行地下构型解剖尚存在一定的限制条件:

- (1) 在目标区沉积类型认识有误或构型模式不清的情况下, 难于进行井间构型预测;
- (2) 若某单一构型单元无井钻达, 则难于进行确定性的预测, 只能进行随机预测。

3 问题与展望

地下储层构型表征虽然取得了很大的进展, 但从其发展历史看目前仍处于起步阶段, 尚有许多问题有待于进一步深入研究。随着油田开发深入挖潜的需求以及相关学科技术的进步, 尚需在以下三个方面开展地下储层构型表征的攻关研究。

3.1 储层构型模式的深入研究

定量储层构型模式对于地下储层构型表征具有很大的意义。在多井构型预测中, 模式主要用于与多井资料的拟合; 在地震构型解释中, 模式主要用于构型单元解释的指导。虽然近二十年来构型模式研究取得了很大的进展, 但已有的模式尚难于充分满足地下构型表征的需要。

3.1.1 储层构型分布样式研究

储层构型分布样式为不同级次储集单元与隔夹层的空间分布模式, 是层序地层结构样式及沉积相模式的深化, 主要体现在以下三个方面:

(1) 超高频异旋回内构型单元的空间叠置样式。现有的层序地层学主要研究 1~4 级层序 (或中期以上的基准面旋回) 及其对沉积体系的控制, 而对超高频异旋回内构型单元的空间叠置关系研究不够, 如可容空间与沉积物供给增长率的比值 (A/S) 对曲流河点坝分布样式的控制作用等。

(2) 水道内的沉积物充填样式。现有沉积模式主要依据现代沉积环境而建立, 因而对流水环境中的沉积物充填样式反映不够, 如辫状河辫状水道内的沉积物充填样式、三角洲内部不同类型分流河道充填样式、深水海底扇弯曲水道内部的沉积物充填样式等。

(3) 砂体内部夹层分布样式, 如点坝内部的泥质侧积层的密度、保存程度及连续性, 辫状河心滩坝内部泥质夹层的分布模式及保存程度, 三角洲河口坝内部前积韵律层的倾角、叠置关系、内部夹层分布模式, 浊积砂体内的泥质夹层分布模式, 等等。

3.1.2 沉积单元的定量规模关系研究

构型单元宽厚比的经验公式对于多井构型预测至关重要。虽然自 20 世纪 70 年代便开始进行沉积单元规模及宽厚比的研究^[44-55], 但主要集中于水道型砂体。其中, 高弯度曲流河的经验公式较完善, 业已建立了从河道砂体厚度估算河道宽度继而估算点坝宽度和侧积层倾角的经验公式, 但非水道沉积类型的经验公式很少, 或普适性不够, 或相关性差。

3.1.3 成岩非均质性研究

对于成岩作用影响较大的储层而言, 成岩非均质性研究至关重要, 主要包括两个方面:

其一, 砂体内部成岩胶结带的分布研究。砂体内部常发育钙质夹层, 其为成岩胶结成因, 但其成因机理、分布规律及连续性有待于进一步的研究。

其二, 低渗一致密储层中的相对高渗带分布研究。在广泛发育的砂体内部, 成岩作用的差异性导致砂体的孔渗性具有较大的差异, 使得部分砂体为有效储层, 而大部分砂体为非渗透层, 因此, 有必要深入研究成岩非均质性的控制因素、作用机理以及相对高渗带的预测模式。

定量构型模式主要通过原型模型进行研究, 这些原型源于露头、现代沉积、开发成熟油田密井网、浅层地震等。开发地质工作者虽然研究目标是地下地质体, 但需要正确的地质理论来指导, 而地质理论的发展必须基于对地质原型的研究。因此, 油气藏开发地质学的重要任务是大力加强基础地质研究。

3.2 储层构型地震响应及解释方法研究

地震沉积学 (地貌学) 的发展为应用三维地震资料开展地下储层构型解释开辟了有效的途径。

然而,尚有一些问题需要进一步攻关解决。除了进一步发展三维地震采集和处理技术、提高地震资料品质外,尚需进行以下三个方面的研究。

3.2.1 储层构型地震响应的研究

地震资料毕竟为地下地质体的综合响应。为了进行地震资料的构型解释,首先应理解不同沉积构型的地震响应特征。可通过两种手段进行研究:其一为地震正演模拟,根据定量构型模式设置的概念模型,通过物理或数值模拟研究不同采集条件下的不同构型样式、不同规模、不同地质属性的地震反射特征,据此建立一系列储层构型的地震响应模式;其二为密井网区高频地震资料的井震结合分析,根据密井网区建立的储层构型模型,分析相应的地震响应。同时,根据地震响应研究,分析在不同资料和地质条件下地震资料构型解释的可解性。

3.2.2 多属性研究

目前,从地震数据体中能够提取近十类地震特征参数,如振幅类、频率类、相位类、极性、阻抗(或速度)等,每一类又包含许多种参数。以此为基础,发展、改进和创新地震属性提取技术,进一步充分挖掘具有储层构型意义的地震信息,特别是能够反映薄层空间连续性的地震信息互相关特征属性。

3.2.3 整合地震地层切片的三维构型建模算法研究

三维构型建模的目的是表征地层内部构型单元的空间分布。三维地震地层切片所反映的构型单元的侧向变化信息对于三维构型建模十分重要。然而,地震资料的垂向采样间隔通常为2ms,垂向分辨率极限是1/4主波长,比三维建模的垂向网格(数分米至数十分米)大得多,单纯依据地震切片并不能建立真正意义上的三维构型模型。因此,地震地层切片信息在三维构型建模中主要用作为约束条件。研究整合地震地层切片信息的三维构型建模算法,对于提高建模精度具有很大的意义。

3.3 多井模式拟合方法的改进与创新

当前多井构型预测的思路与方法流程相对成熟,但从方法学的角度来讲尚需进一步深化研究。

3.3.1 不同资料和地质条件下储层构型多井模式拟合方法研究

在不同开发区的不同开发阶段,井网密度有差异,动态信息量也有差异,同时,不同相类型具有不同的分布样式,而且同一类型相的构型绝对规模相差很大。因此,对于不同的、具体的研究目标区而言,构型解剖的级次及精度会有很大的差异,这种差异有多大?定量构型模式认知至少需要多大的信息量?如何进一步提高构型预测的精度?这就需要对多井构型分析方法进行深化的研究。这一研究需要基于原型模型来进行。针对不同相类型、不同规模的原型地质模型,通过抽稀分析“虚拟”不同的井网条件,研制地下构型预测的模式拟合方法,并分析不同条件下构型预测的精度差异。

3.3.2 储层内部构型的三维模式拟合算法研究

目前的砂体内部构型分析主要是基于人工进行的(应用计算机工具进行人工分析)。这存在两个问题:

(1)虽然人工可以进行二维剖面、二维平面和准三维的三维视窗栅状分析,但难于建立三维模型(人工建模的工作量巨大,效率很低);

(2)虽然可以进行确定性预测,但难于对预测结果进行不确定性分析。已有的具有模式拟合思路的三维相建模方法(如基于目标的随机建模方法、多点地质统计学的SIMPAT建模方法)虽然在一定程度上对高级别构型(如单河道砂体)的三维建模和不确定性分析有较好的效果^[56-62],但现有算法难于满足砂体内部构型解剖与建模的需要。因此,需要进一步深化三维储层内部构型建模的模式拟合算法研究,包括确定性拟合算法和随机拟合算法。

地下储层构型表征研究方兴未艾, 诸多科学和技术问题有待于进一步攻关研究, 可谓任重道远。地下构型表征技术的进步, 必将促进我国乃至世界油气采收率的大幅度提高。

参 考 文 献

- [1] Miall A D. Architectural-Element Analysis: A new Method of Facies Analysis Applied to Fluvial Deposits [J]. Earth Science Reviews, 1985, 22: 261-308.
- [2] Miall A D. Architectural Elements and Bounding Surfaces in Fluvial Deposits: Anatomy of the Kayenta Formation (Lower-Jurassic), Southwest Colorado [J]. Sedimentary Geology, 1988, 155: 233-262.
- [3] Miall A D. Hierarchies of Architectural Units in Clastic Rocks, and Their Relationship to Sedimentation Rate [C] // Miall A D, Tyler N. The Three-Dimensional Facies Architecture of Terrigenous Clastic Sediments, and Its Implications for Hydrocarbon Discovery and Recovery. SEPM, Concepts in Sedimentology and Paleontology, 1991, 3: 6-12.
- [4] Miall A D. The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology [M]. New York: Springer-Verlag, 1996: 57-98.
- [5] Miall A D. Reconstructing the Architecture and Sequence Stratigraphy of the Preserved Fluvial Record as a Tool for Reservoir Development: A Reality Check [J]. AAPG Bulletin, 2006, 90: 989-1002.
- [6] Mitchum R M, Vail P R, Sangree J B. Seismic Stratigraphy And Global Changes Of Sea Level, Part 6: Stratigraphic Interpretation Of Seismic Reflection Patterns In Depositional Sequences [C] // Payton C E. Seismic Stratigraphy—Applications To Hydrocarbon Exploration. AAPG Memoir 26, 1977: 117-133.
- [7] 曾洪流, 等著. 地震沉积学 (译文集) [M]. 朱筱敏, 曾洪流, 董艳蕾, 等译. 北京: 石油工业出版社, 2011.
- [8] Zeng H L, Backus M M, Barrow K T, et al. Stratal Slicing, Realistic 3D Seismic Model [J]. Geophysics, 1998, 63 (2): 502-513.
- [9] Zeng H L, Henry S C, Riola J P. Stratal Slicing, Part II: Real Seismic Data [J]. Geophysics, 1998, 63 (2): 514-522.
- [10] Zeng H L, Kerans C. Seismic Frequency Control On Carbonate Seismic Stratigraphy: A Case Study of the Kingdom Abo Sequence, West Texas [J]. AAPG Bulletin, 2003, 87 (2): 273-293.
- [11] Zeng H L, Backus M M. Interpretative Advantages of 90° Phase Wavelets, Part I: Modeling [J]. Geophysics, 2005, 70 (3): 7-15.
- [12] Zeng H L, Backus M M. Interpretative Advantages of 90° Phase Wavelets, Part II: Seismic Application [J]. Geophysics, 2005, 70 (3): 17-24.
- [13] Partyka G, Gridley J, Lopez J. Interpretational Application Of Spectral Decomposition In Reservoir Characterization [J]. The Leading Edge, 1999: 353-360.
- [14] Davies R J, Posamentier H W, Wood L J. Seismic Geomorphology: Applications to Hydrocarbon Exploration and Production [M]. London: Special Publications, 277: 15-28.
- [15] Miall A D. Architecture and Sequence Stratigraphy of Pleistocene Fluvial Systems in the Malay Basin Based on Seismic Time-Slice Analysis [J]. AAPG Bulletin, 2002, 86 (7): 1201-1216.
- [16] Clark J D, Kevin T. Pickering Architectural Elements and Growth Patterns of Submarine Channels; Application to Hydrocarbon Exploration [J]. AAPG Bulletin, 1996, 80 (2): 194-221.
- [17] Qiu Y N, Xue P H, Xiao J X. Fluvial Sandstone Bodies as Hydrocarbon Reservoirs in Lake Basin [C] // Ethridge F G, Flores R M. Recent Development in Fluvial Sedimentology. London: Special Publications, 1987: 39: 329-342.
- [18] 裘怿楠, 贾爱林. 储层地质模型 10 年 [J]. 石油学报, 2000, 21 (4): 101-104.
- [19] 尹太举, 张昌民, 樊中海, 等. 地下储层建筑结构预测模型的建立 [J]. 西安石油学院学报: 自然科学版, 2002, 17 (3): 7-10.
- [20] 赵翰卿. 储层非均质体系、砂体内部建筑结构和流动单元研究思路探讨 [J]. 大庆石油地质与开发, 2002, 21 (6): 16-18.
- [21] 李阳, 李双应, 岳书仓, 等. 胜利油田孤岛油区馆陶组上段沉积结构单元 [J]. 地质科学, 2002, 37 (2): 219-230.

- [22] 陈清华, 曾明, 章凤奇, 等. 河流相储层单一河道的识别及其对油田开发的意义 [J]. 油气地质与采收率, 2004, 11 (3): 11-15.
- [23] 赵翰卿, 付志国, 吕晓光. 储层层次分析和模式预测描述方法 [J]. 大庆石油地质与开发, 2004, 23 (5): 74-77.
- [24] 于兴河, 马兴祥, 穆龙新, 等. 辫状河储层地质模式及层次界面分析 [M]. 北京: 石油工业出版社. 2004: 60-106.
- [25] 何文祥, 吴胜和, 唐义疆, 等. 地下点坝砂体内部构型分析以孤岛油田为例 [J]. 矿物岩石, 2005, 25 (2): 81-86.
- [26] 岳大力, 吴胜和, 刘建民. 曲流河点坝地下储层构型精细解剖方法 [J]. 石油学报, 2007, 28 (4): 99-103.
- [27] 吴胜和, 岳大力, 刘建民, 等. 地下古河道储层构型的层次建模研究 [J]. 中国科学: D 辑 地球科学, 2008, 38 (增刊 1), 111-121.
- [28] 吴胜和. 储层表征与建模 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2010.
- [29] 周银邦, 吴胜和, 岳大力, 等. 点坝内部侧积层倾角控制因素分析及识别方法 [J]. 中国石油大学学报, 2009, 33 (2): 7-11.
- [30] Posamentier H W. Depositional Elements Associated With A Basin Floor Channel-Levee System; Case Study from the Gulf of Mexico [J]. Marine And Petroleum Geology, 2003, 20: 677-690.
- [31] Posamentier H W, Davies R. J, Cartwright J A, et al. Seismic Geomorphology-An Overview [C] // Davis R J. Seismic Geomorphology Applications to Hydrocarbon Exploration and Production. Geological Society, London, Special Publications, 277: 1-14.
- [32] Zeng H L, Loucks R G, Frank L. Mapping Sediment - Dispersal Patterns and Associated Systems Tracts in Fourth-And Fifth - Order Sequences Using Seismic Sedimentology: Example from Corpus Christi Bay, Texas [J]. AAPG Bulletin, 2007, 91: 981-1003.
- [33] Zeng H L. Seismic Imaging for Seismic Geomorphology Beyond the Seabed: Potentials and Challenges [C] // Davis R J, Ed. Seismic Geomorphology: Applications to Hydrocarbon Exploration and Production. Geological Society, London, Special Publications, 277: 15-29.
- [34] Kolla V, Posamentier H W, Wood L J. Deep-Water and Fluvial Sinuous Channels—Characteristics, Similarities and Dissimilarities, And Modes of Formation [J]. Marine And Petroleum Geology, 2007, 24: 388-405.
- [35] Posamentier H W, Kolla V. Seismic Geomorphology and Stratigraphy of Depositional Elements in Deep-Water Settings [J]. Journal of Sedimentary Research, 2003, 73: 367-388.
- [36] Wood L J. Quantitative Seismic Geomorphology of Pliocene and Miocene Fluvial Systems in the Northern Gulf Of Mexico, U. S. A. [J]. Journal of Sedimentary Research, 2007, 77: 68-86.
- [37] Morend D, Pugin A, Gorin G E. High-Resolution Seismic Imaging of Outcrop-Scale Channels and An Incised-Valley System Within The Fluvial-Dominated Lower Freshwater Molasse (Aquitainian, Western Swiss Molasse Basin) [J]. Sedimentary Geology, 2002, 149: 245-264.
- [38] Miall A D. How Do We Identify Big Rivers? And How Big Is Big? [J]. Sedimentary Geology, 2006, 186: 39-50.
- [39] Wood L J. Quantitative Geomorphology of the Mars Eberswalde Delta [J]. GSA Bulletin, 2006, 118: 557-566.
- [40] Schwab A M, Cronin B T, Ferreira H. Seismic Expression Of Channel Outcrops: Offset Stacked Versus Amalgamated Channel Systems [J]. Marine and Petroleum Geology, 2007, 10: 16-27.
- [41] Posamentier H W. Seismic Geomorphology and Depositional Systems of Deep Water Environments; Observations from Off-shore Nigeria, Gulf of Mexico, and Indonesia [C]. 2001 AAPG Annual Meeting, A160.
- [42] Wood L J. Quantitative Seismic Geomorphology and Reservoir Architecture of Clastic Depositional Systems: The Future of Uncertainty Analysis in Exploration and Production [C]. AAPG Annualmeeting, Official Program, 2003: 182-183.
- [43] Wood L J. Quantitative Seismic Geomorphology: The Future Of Reservoir Characterization [J]. Houston Geological Society Bulletin, 2004: 13-17.
- [44] Schumm S A. Fluvial Paleochannels [C] // Rigby J K. Recognition of Ancient Sedimentary Environments. SEPM, Special Publication No. 16, 1972: 98-107.
- [45] Leeder M R. Fluvial Fining - Upwards Cycles and the Magnitude of Palaeochannels [J]. Geological Magazine, 1973,

110 (3): 265 - 276.

- [46] Fieding C R, Crane R C. An Application of Statistical Modeling to the Prediction of Hydrocarbon Recovery Factors in Fluvial Reservoir Sequences [C] // Ethridge F G, Flores R M, Harvey M D. Recent Development in Fluvial Sedimentology. SEPM, Special Publication No. 39, 1973: 321 - 327.
- [47] Gibling M R. Width And Thickness Of Fluvial Channel Bodies And Valley Fills In The Geological Record: A Literature Compilation And Classification [J]. Journal of Sedimentary Research, 2006, 76: 731 - 770.
- [48] 钱宁, 张仁, 周志德. 河床演变学 [M]. 北京: 科学出版社, 1987: 123 - 179.
- [49] 薛培华. 河流点坝相储层模式概论 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1991: 51 - 63.
- [50] 马世忠, 杨清彦. 曲流点坝沉积模式、三维构形及其非均质模型 [J]. 沉积学报, 2000, 18 (2): 241 - 247.
- [51] 李思田, 焦养泉, 付清平. 鄂尔多斯盆地延安足三角洲砂体内部构成及非均质性研究 [G] // 袁烽楠, 等. 中国油气储层研究论文集. 北京: 石油工业出版社, 1993: 312 - 325.
- [52] 张昌民, 徐龙, 林克湘等. 青海油砂山油田第 68 层分流河道砂体解剖学 [J]. 沉积学报, 1996, 14 (4): 70 - 75.
- [53] 焦养泉, 李思田. 陆相盆地露头储层地质模型研究与概念体系 [J]. 石油实验地质, 1998, 20 (4): 346 - 350.
- [54] 贾爱林, 穆龙新, 陈亮. 扇三角洲储层露头精细研究方法 [J]. 石油学报, 2000, 21 (4): 105 - 108.
- [55] 穆龙新, 贾爱林, 陈亮等. 储层精细研究方法 - 国内外露头储层和现代沉积及精细地质建模研究 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2000: 136 - 156.
- [56] 吴胜和, 李文克. 多点地质统计学——理论、应用与展望 [J]. 古地理学报, 2005, 7 (1): 137 - 144.
- [57] 于兴河. 油气储层表征与随机建模的发展历程及展望 [J]. 地学前缘, 2008, 15 (1): 1 - 15.
- [58] 于兴河, 李胜利, 赵舒, 等. 河流相油气储层的井震结合相控随机建模约束方法 [J]. 地学前缘, 2008, 15 (4): 33 - 42.
- [59] 于兴河, 陈建阳, 张志杰, 等. 油气储层相控随机建模技术的约束方法 [J]. 地学前缘, 2005, 12 (3): 237 - 245.
- [60] Deutsch C V, Wang L. Hierarchical Object-Based Stochastic Modeling of Fluvial Reservoirs [J]. Mathematical Geology, 1996, 28 (7): 857 - 880.
- [61] Strebelle S. Conditional Simulation of Complex Geological Structures Using Multiple-Point Statistics [J]. Mathematical Geology, 2002, 34 (1): 1 - 21.
- [62] Arpat B G. Sequential Simulation with Patterns [D]. California: Stanford University, 2005.