

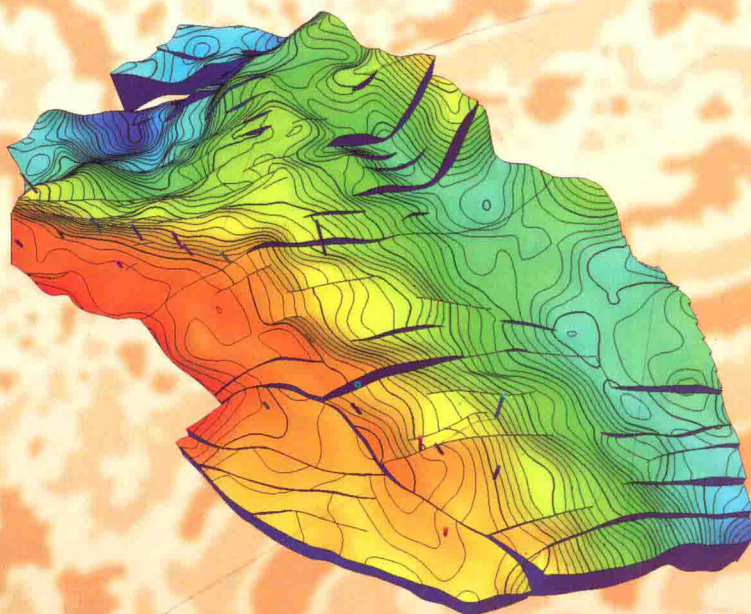
复杂油气田

COMPLEX OIL & GAS RESERVOIRS

文集

(2016年 第三辑)

董月霞 主编

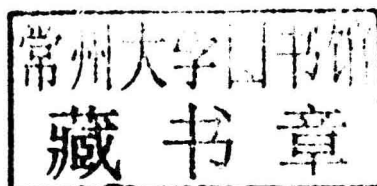


石油工业出版社

复杂油气田文集

(2016年 第三辑)

董月霞 主编



石油工业出版社

内 容 提 要

本文集收录了中国石油冀东油田公司等单位近年来科技工作的主要成果,反映了在地质勘探、油田开发、钻采工程和酸化后的排液技术、滩海石油工程防灾减灾的先进技术和优秀成果,具有较高的理论水平和实践指导意义,对我国复杂油气田的勘探与开发具有一定的参考价值。

本书可供油田工程技术人员和石油院校相关专业师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

复杂油气田文集.2016年.第三辑/董月霞主编.
北京:石油工业出版社,2016.9
ISBN 978-7-5183-1522-2

I.复…

II.董…

III.①复杂地层-油气勘探-文集

②复杂地层-油气田开发-文集

IV.①P618.130.8-53

②TE3-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 241267 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:www. petropub. com

编辑部:(010)64523736 (0315)8766573

图书营销中心:(010)64523633

经 销:全国新华书店

印 刷:保定彩虹印刷有限公司

2016 年 9 月第 1 版 2016 年 9 月第 1 次印刷

889 毫米×1194 毫米 开本:1/16 印张:5

字数:150 千字

定价:25.00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究



秀美家园

朱米福 摄影

《复杂油气田》文集编辑委员会

主 任：董月霞

主 编：董月霞

副 主 任：陈仁保 王晓文

副 主 编：马光华

委 员：（以姓氏笔画为序）

马 乾	王晓文	冯京海	冯俊山	边 军	刘玉章	刘泉海
刘蕴华	朱宽亮	毕宏勋	汤井会	齐振林	严 九	宋新民
张玉楼	张博郁	李 斌	李良川	李凯双	李祥银	邹才能
陈仁保	陈元千	陈月明	周凤鸣	周海民	罗占刚	苑吉林
武若霞	金明权	修景涛	姚 军	赵福麟	郝建明	常学军
焦向民	董月霞	谢占安	裘恽南	路宝仲	靳明三	廖保方
谯汉生	樊会兰	穆立华	鞠晓东	魏中文		

复杂油气田文集

2016 年 第三辑

主 编 董月霞
副 主 编 马光华
地 址 河北省唐山市 51#甲区
冀东油田公司勘探开发
研究院
邮 编 063004
电 话 (0315)8766573
E-mail fzyqt@petrochina.com.cn

目 次

地质勘探

珠江口盆地 A 凹陷古近系叠加伸展变形及其对油气的控制作用

..... 陈玮常 杨荣超 闫晶晶 等(1)

基于滴水实验的岩心尺度水淹程度定量识别 赵晓东 乔海波 尚 娜 等(10)

南堡凹陷滩海地区异常高孔隙带识别及分布 张永超 郝 杰 王全利 等(17)

密闭取心饱和度校正改进方法探讨 黄娟娟(22)

南堡凹陷新近系油气富集特征与主控因素分析 ... 郝 杰 张永超 王全利 等(25)

油田开发

浅谈旋回对比法 何胡军 孙 琳 段 彬 等(29)

南堡油田 1-5 区厚层砂体储层构型研究 乔海波 王志坤 王春红 等(35)

复杂断块油藏井网调整阶段可采储量标定研究 ... 李福堂 陈海霞 马绍仁 等(40)

低渗油藏气水交替注入参数优化研究 卢家亭 刘道杰 胡蓉娟 等(46)

钻采工程

高压注水井单液法在线酸化增注工艺 石琼林 刘加旭 王 琅 等(50)

压裂井用 HRS 复合解堵剂技术的试验应用 刘 涛 吴庆莉 田 蜜 等(55)

综 合

数采系统传感器误差研究及对策 李 娟 谢 进 李文霞 等(59)

冀东油田天然气计量输差分析及减控措施 张 勇 李 娜 王黎峰(64)

摘 要

英文摘要 (71)

Complex Oil & Gas Reservoirs

Sep. 2016

CONTENTS

• PETROLEUM EXPLORATION •

Paleogene Superposition of Extension Characteristics and Its Relationship with Hydrocarbon Accumulation of A Sag in Pear River Mouth Basin	Chen Weichang <i>et al.</i> (1)
Quantitative Identification of Core-scale Watered-out Degree through Drip Experiment	Zhao Xiaodong <i>et al.</i> (10)
Identification and Distribution of Anomalously High porosity Zone in the Beach Area of Nanpu Sag	Zhang Yongchao <i>et al.</i> (17)
Discussion of Improvement on Saturation Correction of Sealed Coring	Huang Juanjuan (22)
Analysis of Hydrocarbon Accumulation Characteristics and Major Controlling Factors of Hydrocarbons in the Neogene of Nanpu sag	Hao Jie <i>et al.</i> (25)

• OILFIELD DEVELOPMENT •

Discussion on Cycle Correlation	He Hujun <i>et al.</i> (29)
Study of Reservoir Architecture of Thick Sandbody in 1-5 Block of Nanpu Oilfield	Qiao Haibo <i>et al.</i> (35)
Evaluation of Recoverable Reserves during Well Pattern Adjustment in Complex Fault-block Reservoir	Li Futang <i>et al.</i> (40)
Optimization for Injection Parameters of Water Alternating Gas in Low Permeability Reservoir	Lu Jiating <i>et al.</i> (46)

• DRILLING AND PRODUCTION ENGINEERING •

Single-Fluid Process Online Acidizing Stimulation Technology for High-pressure Water-injection Wells	Shi Qionglin <i>et al.</i> (50)
The Test Application of HRS Composite Blockage Removal Agent in Fracturing	Liu Tao <i>et al.</i> (55)

• GENERALITY •

Research and Countermeasure for Sensor Data Error of Acquisition System	Li Juan <i>et al.</i> (59)
Reduction and Control Analysis for Natural Gas Measurement Shortage in Jidong OilField	Zhang Yong <i>et al.</i> (64)

• ABSTRACT •

English Abstract	(71)
------------------------	------

珠江口盆地A凹陷古近系叠加伸展变形及其对油气的控制作用

陈玮常¹ 杨荣超¹ 闫晶晶¹ 郭畅² 成茜²

(1. 中国石油冀东油田公司勘探开发研究院, 河北 唐山 063004;

2. 中国石油冀东油田公司陆上作业区, 河北 唐海 063299)

摘要:本文运用油区构造解析的原理对A凹陷地区古近系内部的断裂系统及其演化进行研究,从而分析该区的断裂构造对油气运聚条件的控制作用。研究表明,A凹陷经历了多期构造变形,演化阶段可划分为早断陷期、晚断陷期、断拗过渡期和拗陷期四个阶段。古近系的断陷期形成了NE—NEE、EW、NW三个方向的断裂,NE—NEE向断裂形成于文昌组沉积期;EW向断裂形成于恩平组沉积期,并且切割早期NE向的断层;NW向断层多为区内的调节性断层。区内古近系强烈断裂活动控制着古近系圈闭的形成和演化,可划分为构造和断层—岩性复合两大类圈闭。长期活动的同沉积断层的形成和演化控制了凹陷内烃源岩的分布,并成为油气运移的主要通道;文昌组的油藏呈NE—NEE向展布,恩平组油藏整体沿EW向展布;凹陷内部的注中隆和南部斜坡带是油气有利的聚集区域。

关键词:叠加伸展;断裂构造;珠江口盆地;油气聚集

珠江口盆地是南海北部大陆边缘的一个新生代裂陷盆地,其中古近系为裂陷阶段沉积层序。古近系的沉积作用受正断层和地壳伸展变形控制,表现为断陷湖盆的古地理环境,其中,文昌组发育有较厚的灰黑色泥岩及煤层,是良好烃源岩层,恩平组的泥岩、泥岩夹煤层也具有一定的生烃能力^[1,2]。A凹陷是珠江口盆地珠一坳陷新生代形成的一个三级负向

构造单元,内部可进一步划分为东部洼槽、中部洼槽、西部洼槽、南部斜坡四个次一级构造单元,具有南北分块、东西成带的构造特征(图1)。区内文昌组和恩平组的地层分布面积广,厚度大,泥岩含量高,具有较高的生烃潜力。截至目前,研究区内已钻探并在珠江组、珠海组和恩平组均见到大量油气显示,说明A凹陷具有巨大的油气勘探潜力。

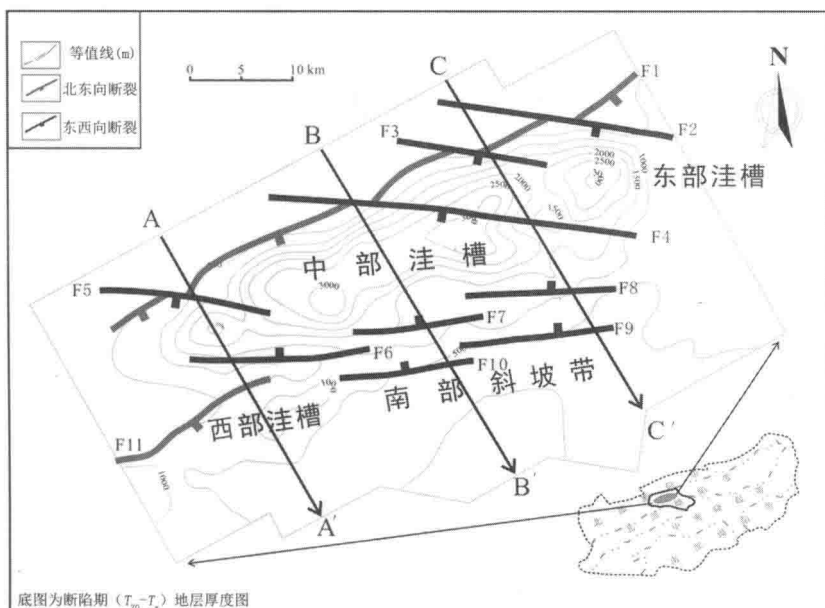


图1 A凹陷构造纲要图

叠加构造变形指多期构造变形或不同类型的构造变形过程所造成的构造体在同一空间上的复合。A 凹陷经历了多期构造运动,形成了极其复杂的断裂系统,由于以往地震资料品质的原因限制了对古近系内部断裂系统研究。笔者以近年最新采集处理的三维地震资料为基础,运用油区构造解析理论对 A 凹陷地区的新生代断裂特征进行了系统而深入的分析,并探讨其叠加演化过程、变形机制。这对于提高 A 凹陷地区的地质规律认识和勘探潜力突破具有重要的意义。

1 地层发育与解释模型

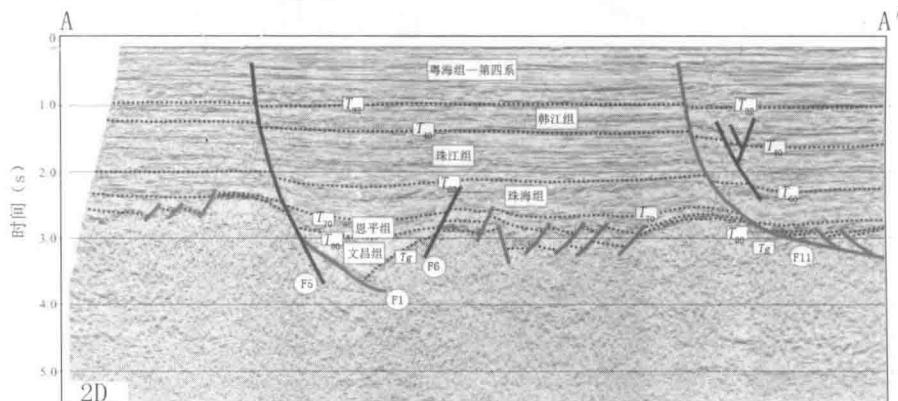
根据前人研究成果结合现有的钻井及地震资料表明,A 凹陷在古近纪处于裂陷期,自下向上分别发育文昌组、恩平组及珠海组三套地层,其沉积特征和所代表的地质意义相互间亦存在明显的差异。在经历了珠琼运动一幕和珠琼运动二幕后,文昌组、恩平组开始广泛发育,其中,文昌组沉积了一套半深湖、深湖相泥岩,为珠江口盆地的主力生烃岩层,恩

平组则以湖泊、沼泽相为主,烃源岩较为发育;而珠海组则是由南海运动(T_{70})和白云运动(T_{60})所限定的一套海陆过渡的滨岸相砂岩为主^[3,4]。本文的重点研究内容为古近系文昌组、恩平组内部三级层序划分及其构造特征。通过对三维和二维地震资料的解释成果最终可将文昌组和恩平组内部各细分出四套地层(图 2),从而对古近系内部断裂发育进行详细研究。

断陷盆地内部地层与断层的终止关系、相交角度,是受当时地质时期断裂活动和后期构造运动共同控制的叠加结果;因此地震剖面不仅反映了盆地沉积地层的变形特征,同时也包含有构造运动学和动力学的相关信息^[5,6]。通过对 A 凹陷最新的三维地震资料解释发现,凹陷内部恩平组和文昌组的地层沉积模式截然不同。文昌组整体受北部铲式边界断层控制,属于旋转式半地堑裂陷模式;恩平组的地层沉积是受陡斜平面非旋转正断层控制的对称裂陷模式(图 2,图 3)。A 凹陷古近系整体形态表现为受北部边界铲式断层控制的地堑—地垒式凹陷叠置在下部旋转半地堑之上的复式断陷盆地。

地层系统			地震反射特征	构造变形模式
古近系	恩平组	恩四段	T_{70} 强振幅,高连续,平行层状,顶部削蚀	 非旋转式地堑
		恩三段	T_{71} 中振幅,中连续,平行层状,底面上超	
		恩二段	T_{72} 中—强振幅,中—高连续,平行层状,顶部削蚀	
		恩一段	T_{73} 中—强振幅,中连续,亚平行层状,局部底面上超	
	文昌组	文四段	T_{80} 中—强振幅,中连续,亚平行层状,顶削底超	 旋转式半地堑
		文三段	T_{81} 中振幅,中连续,楔形充填,底面上超	
		文二段	T_{82} 弱振幅,弱连续,亚平行	
		文一段	T_{83} 弱振幅,弱连续,亚平行,局部底面上超	
			T_g 前新生界基底	

图 2 古近系地震层序及变形模式图



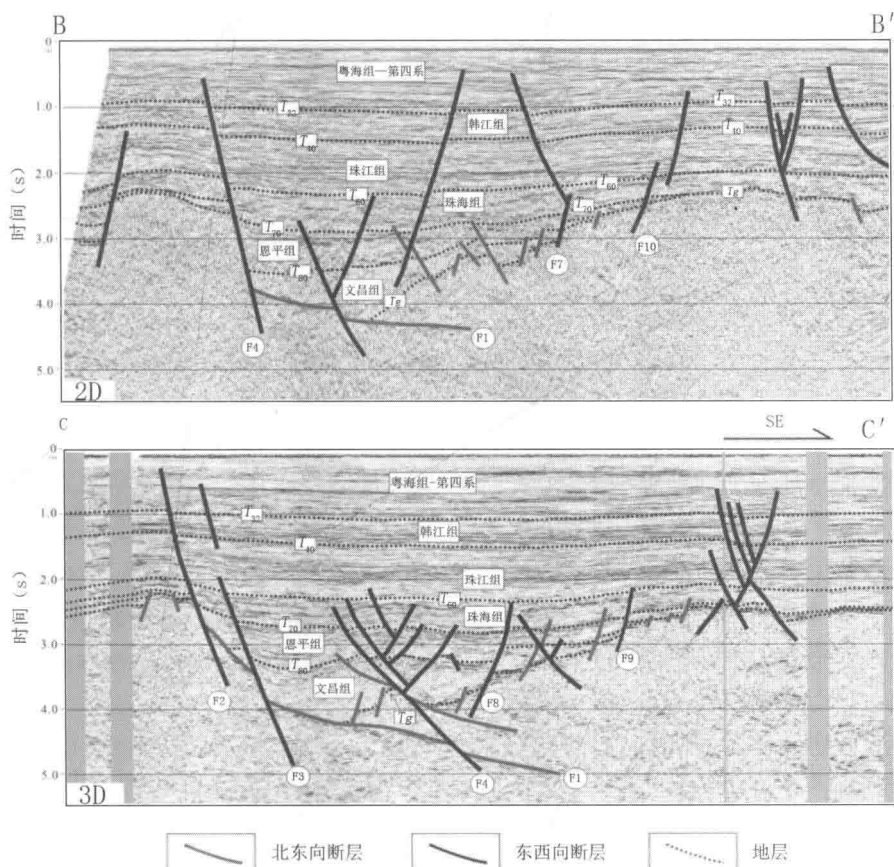


图3 A凹陷结构剖面图

剖面位置见图1

2 构造特征

2.1 断裂系统划分

北部边界断层 F1 在平面上呈 NE 走向,延伸长度超过 50km, F1 断面等值线北密南疏呈现出北陡南缓的铲式正断层形态(图 4), 并且在其断面之上发育了一系列切割其断面的 EW 和 NW 向展布的正断层, 从而可知 NE 向和 EW 向两套断层明显从属于不同的断裂系统, 代表了两期不同方向伸展构造变形。

通过三维地震资料解释发现, A 凹陷古近系内部断裂发育密集, 并且以正断层为主, 部分基底正断层在恩平组沉积时期发生扭动变形。古近纪洼内主要发育 NE、EW、NW 三个走向的断裂(图 5), 其中 NE—NEE 向断裂主要形成于文昌组沉积时期, EW 向断裂主要形成于恩平组沉积时期, NW 向断裂多为调节伸展量的调节性断裂。根据盆地内部断层切穿的层位可以文昌组顶界面 (T_{80}) 为界将其划分出两套断裂系统, 即下部基底断裂系统和上部盖层断裂系统。

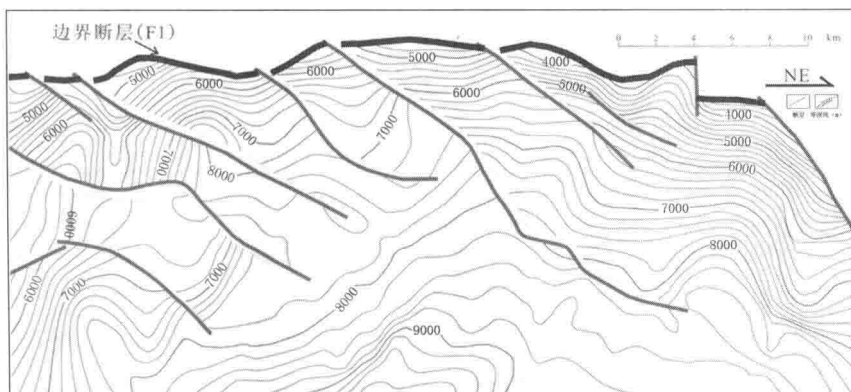


图4 A凹陷北部边界断层(F1)断面构造图

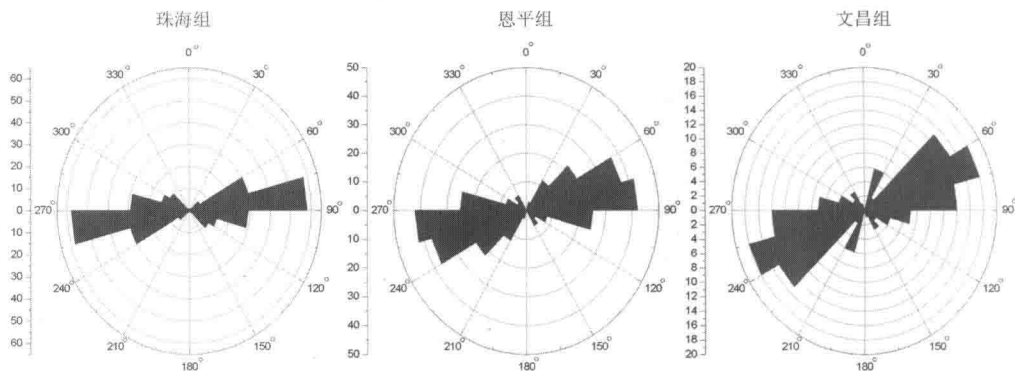


图5 同沉积断层走向玫瑰图

基底断裂系统(NE—NEE向):分布于珠海组及其下部的地层当中,少数断层切割至上部坳陷构造层。文昌组沉积时期的断层多为基底卷入型张性正断裂,断裂走向以NE向和NEE向为主,恩平组和珠海组沉积时期以近EW走向为主(图5),NW向断层多为调节盆地伸展量不均的调节性断层。NE—NEE向断裂控制着盆地的结构和展布,EW向断裂控制着洼槽和次凸分布,多为断陷期同生断层。

盖层断裂系统(EW向):主要发育在恩平组及

其上部的地层中、影响了坳陷期及洋盆沉降期盆地结构,盖层中的断层数量较少,多数受基底断裂系统中的EW走向的断层控制,虽然对于凹陷的结构形态没有明显贡献。但是其断裂的分布与组合控制着局部地层的沉积和浅层油气圈闭的分布。

2.2 断层叠加样式

叠加构造样式(图6)是同一构造变形作用或同一应力作用下所产生的构造形迹的总和^[7]。

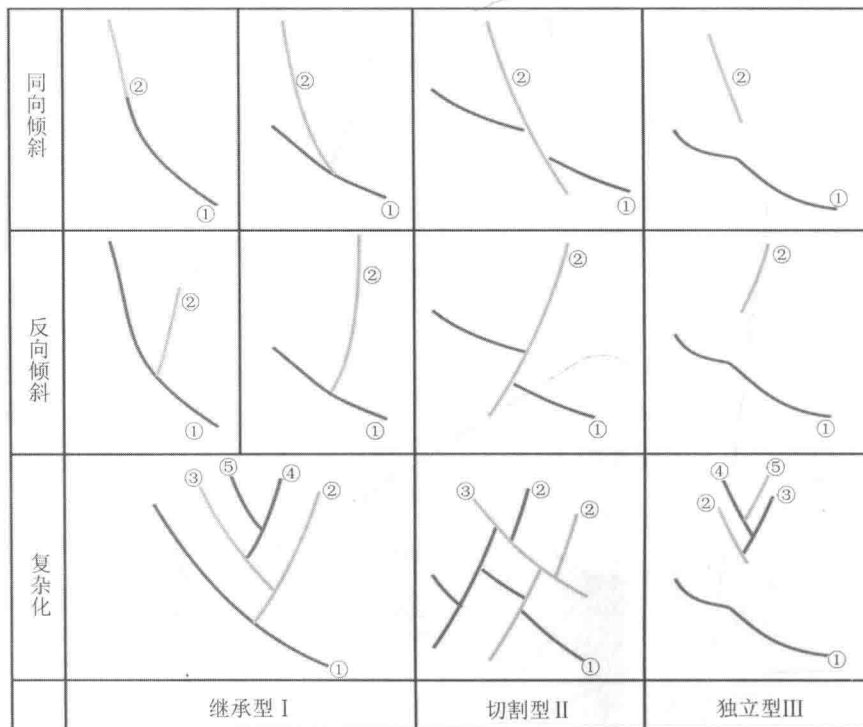


图6 A 凹陷古近系叠加构造样式

①、②、③、④、⑤代表断层活动顺序

现今地震剖面所反映的断层是多期构造行迹的综合体现,对叠加样式的形成演化分析有助于理解盆地演化过程从而进一步寻找油气圈闭。A 凹陷古

近系的断层形成与演化主要受NW—SE向和近SN向两期伸展叠加变形的控制。在单一应力状态下,伸展变形多形成平直型(旋转和非旋转)、铲式、坡坪

式三种基本正断层样式,致使应力在先存构造轴面上发生分解,进而使构造变形进一步复杂。A凹陷在这两个方向引张的作用下主要发育伸展正断层,少数早期NE向断层在SN向引张期兼具一定的走滑性质,但整个凹陷主要以伸展叠加样式为主。根据断层的剖面形态与演化时间可将其划分为继承型、切割型和独立型三大类叠加样式,根据断层的倾向关系又可进一步细分:

(1)继承型:该类样式主要受持续活动的断层控制。这类断层一般具有形成早、发育周期长的特点,对洼内地层的沉积具有重要的控制作用,多为活动性较强的同沉积断层;这类样式多易于形成铲式扇、“Y”形构造(图6中I类),多分布于南部斜坡带和北部主边界断裂带,如图3中F2、F8、F9等。继承性样式的断层由于其对凹陷的沉降和沉积体系的控制,易于形成断背斜圈闭和断层—岩性共同控制的复合油气圈闭。

(2)切割型:主要表现为多期断层的相互交切。在洼内大致表现为两种:①部分活动性较强近EW向断层切割早期NE—NEE向断层,是凹陷形成东西分块格局的主要原因。EW走向的断层在剖面上常表现为陡倾式,由于强烈的断陷作用,向下切穿平缓的早期NE向断层,如图3中F3、F4切割早期的F1。②倾向相反的断层在 multic 构造运动中交替活动形成共轭交切的样式,多分布于南部斜坡带。该类样式由于多期构造活动,断层交错复杂,多形成断块油气圈闭。

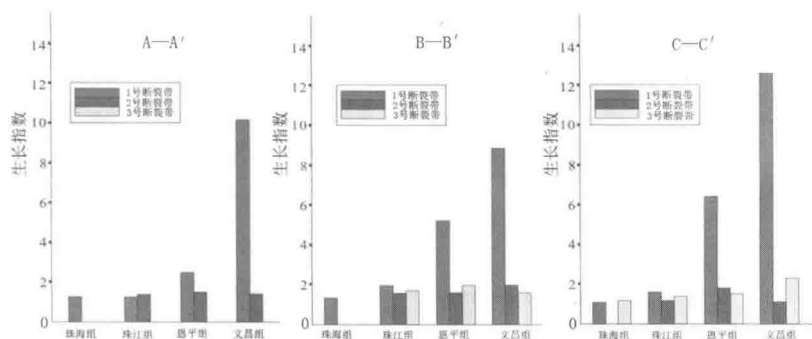
(3)独立型:此类样式的发育主要与基底断层的形态有关,一般坡坪式断层的坡坪过渡位置的上覆地层,易于在晚期构造运动中形成新的断层或发生扭动变形从而在上覆地层中形成“V”形样式(图6中III类);此类样式多分布于西部洼槽的陡坡带,如

图3A—A'中的F11控制的上部“V”形构造。由于晚期断层下切力不是很大,使得在地层变形的高部位容易形成背斜和断背斜等油气圈闭。

3 断裂形成及演化

3.1 断裂活动强度及变形期次

断陷盆地的幕式演化特点直接受控于断裂活动强度的阶段性。A凹陷的 T_{70} 、 T_{80} 、 T_g 是古近纪的三个重要的二级层序界面。断陷盆地的基底主干断层往往是具有同沉积性质的正断层,盆地的形成演化主要受控于这类断层的构造变形,由于部分断层下盘抬升剧烈地层遭受剥蚀,因此通过统计上盘的净沉积量可直接反应断裂的活动强度^[8]。A凹陷的地层沉积和演化主要受NE和EW两套断裂系统共同控制,在平面上NE向断层受晚期EW向断层的切割改造,在剖面上凹陷的主沉积区呈现受北部南倾断层F1和南部北倾断阶带的控制的复式断陷特征。通过对三个断裂带断层活动性统计发现,恩平组和文昌组沉积期生长指数明显高于珠江组和珠海组沉积期,其中控制A凹陷的1号断裂带生长指数达到13骤降到1左右;水平断距由文昌组的9000m降至珠海组的200~300m[图7(b)],表明恩平组和文昌组沉积期是两个主要的断裂活动时期;从已解释的断层的数量上统计发现这两个时期的断层占总断层数量的70%~80%,反映当时构造活动剧烈,断裂发育密集;为构造演化的断陷阶段。珠海组发育的断裂数量明显减少,部分继续活动的断层生长指数也降至1左右[图7(a)],水平断距也缩小了2~4倍,表明此时是断陷沉降向热沉降转换的阶段。进入新近纪后盆地整体进入热沉降阶段,断裂活动强度弱,仅在南部断阶带发育少量晚期断裂。



(a) 断裂带生长指数(测线位置如图3所示)

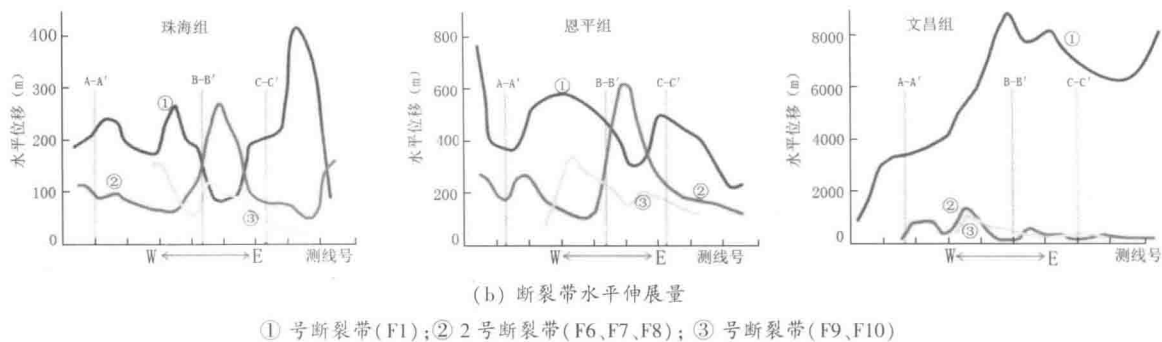


图7 断裂带水平伸展量

3.2 断裂演化过程分析

珠江口盆地经历神狐运动、珠琼运动一幕、珠琼运动二幕、南海运动、东沙运动等5次构造运动,形成5个区域性不整合界面。下部为盆地裂陷期充填的古新世—早渐新世的陆相沉积;上部为晚渐新世—第四纪海陆交互相及海相沉积^[9-10]。通过对A凹陷古近系构造与层序分析,结合主干测线的平衡地质剖面可进一步研究A凹陷的断裂形成及演化特征。研究认为,A凹陷的断裂大致经历了早断陷期、

晚断陷期、断坳过渡期和坳陷期四个阶段(图8)。(1)早断陷期(文昌期):早期在NW—SE向的引张应力场的作用下,盆地处于初始断陷阶段,NE向的基底断裂活动剧烈,同时形成NE向基底断层和次级基底正断层,期间发育少量的NW向调节断层。洼内构造格局与沉积建造整体受北部边界断层控制,多以(30°~40°)缓铲式正断层为主,主要发育半地堑和不对称式地堑。

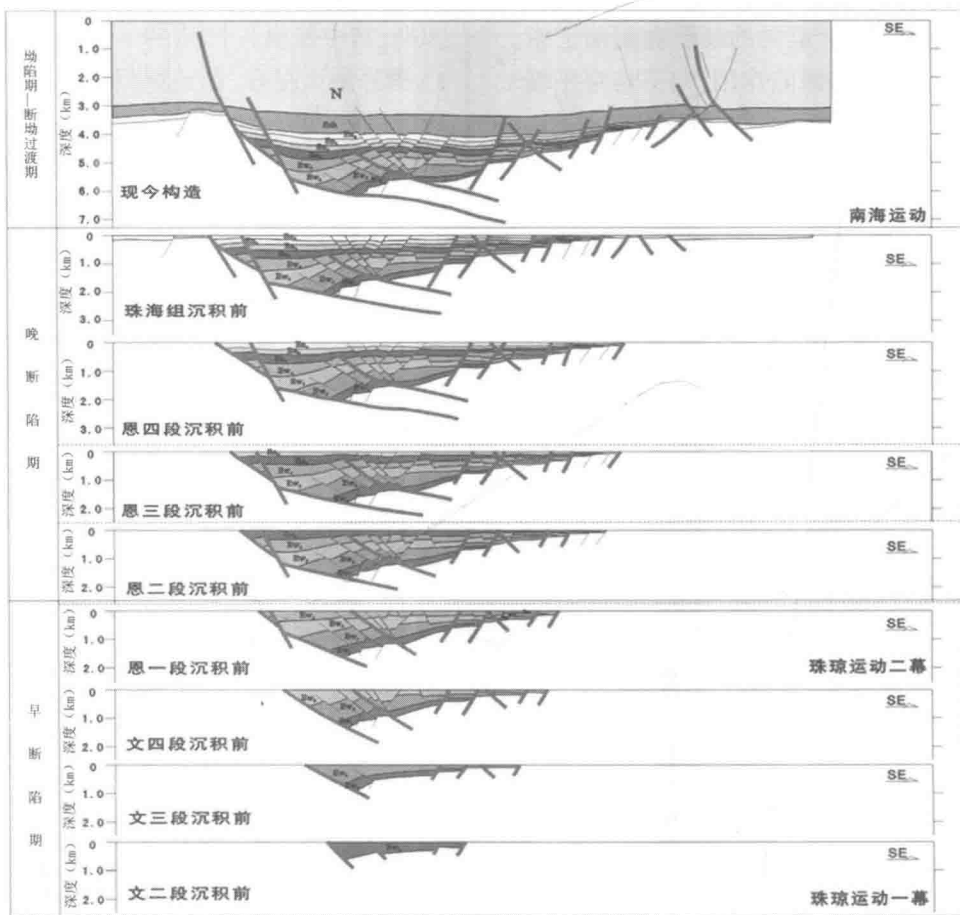


图8 A凹陷构造演化模式图

主要是在单断型旋转半地堑主导的变形机制下形成的,地层厚度北厚南薄,在南部斜坡带与上覆地层呈低角度不整合接触的箕状断陷结构形态。(2)晚断陷期(恩平期):由于应力场发生转变,转为近SN向的引张,主要发育 $50^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 的高角度平直式正断层。凹陷受双断对称型地堑断陷的控制,高角NEE—EW向平直正断层向下切割早期的缓铲式正断层,使得断裂进一步复杂是这一阶段构造变形的特点。EW向断裂带将北部的凹陷区进一步分割为后来的东部洼槽和中部洼槽,A凹陷的现今构造格局基本形成于此时期。在地层厚度上仍然是北厚南薄,说明北部断层对沉积的控制作用依然强于南部。受应力场转变的影响,部分断层在早期NE向断层的基础上继承性活动,但在其断面上表现出具有一定走滑分量的张扭特征。(3)断拗过渡期(珠海期):该时期断陷作用明显减弱,裂后的热沉降作用开始明显增强,整个凹陷结构形态表现呈碟形,盆地进入到断拗向拗断变形的演化阶段,南北地层厚度变化趋于稳定,少数主干断层继承性活动,主要分布在北部陡坡带和南部斜坡带。(4)拗陷期(新近纪—第四纪):受南海运动影响进入被动大陆边缘拗陷沉降阶段,地层沉积厚度分布均匀。断裂活动作用微弱,凹陷以热沉降作用为主,对沉积无明显的分带控制作用,晚期一些断裂活化致使斜坡带发育大量“X”形共轭断层。

4 断裂与油气的关系

断裂控制着沉积盆地的形成、发展和演化,盆地内部沉积体系的展布、圈闭的分布和储盖组合的匹配,同时也是其运移的重要通道。因此断裂的形成演化在油气成藏的各个环节中扮演着十分重要的角色。

4.1 断裂对烃源岩的控制

陆相断陷湖盆断陷期的盆地沉降和地层沉积主要受同沉积断层活动的控制。从构造演化阶段分析,发现A凹陷在古近纪为断陷湖盆的断陷期,断裂对其凹陷的沉降和烃源岩的分布具有重要的控制作用。珠江口盆地内烃源岩为始新统文昌组湖相泥岩、渐新统恩平组湖沼相泥岩、渐新统珠海组河流相、湖相—浅海相泥岩,下中新统珠江组滨浅海、三角洲相的泥岩。A凹陷古近系基底同沉积断裂的活

动控制了凹陷的沉降中心与沉积中心的分布,从而控制了烃源岩的分布范围与沉积厚度。早期断陷形成的一系列NE—NEE向的基底控制沉积断层,尤其是北部边界断裂对文昌组内部烃源岩分布具有关键控制作用;晚期断陷控制着恩平组内部烃源岩沿EW向断层发育,从而形成了文昌组和恩平组两套沉积中心轴向不同的烃源岩。晚期断陷作用造成凹陷大幅度垂直沉降,使得烃源岩得到迅速埋藏。文昌组—恩平组沉积时期的两期断陷作用致使盆地内部热流值增高这对于烃源岩的成熟具有重要的意义。古近纪持续的断陷和新近纪中后期的热沉降对该区烃源岩的热成熟演化具有良好的促进作用。

4.2 断裂对圈闭的控制

A凹陷的圈闭类型多样,根据目前钻探实践表明,大多数油气保存在与断裂有关的构造圈闭中,因此大致可划分为构造圈闭和复合圈闭。构造圈闭包括断鼻圈闭、断块圈闭、背斜—断背斜圈闭等,复合型圈闭主要是断层和岩性共同控制的圈闭。A凹陷古近纪经历了文昌期NW—SE和恩平期近SN两个不同方向的伸展构造变形,不同应力场产生的断裂及其叠加变形控制着圈闭的演化与分布。不同的构造演化阶段和不同的构造部位发育的圈闭也具有明显的差异。构造圈闭(断鼻、断背斜)多位于与之相关断层的上升盘的高点部位,且沿构造走向线分布。断层岩性复合圈闭多受沉积时期的古水流和古地貌的影响,多分布在断层的尾端和转折端。通过统计发现,文昌组沉积时期的圈闭主要沿NE—NEE向展布,这是由于该时期凹陷处于北断—顺时针旋转的断陷模式,NE—NEE向断层与圈闭的分布具有较高的相关性。北部边界断层(F1)的深陷带主要发育一系列断层—岩性的复合圈闭,斜坡带多发育断鼻、断块圈闭。恩平组沉积时期的圈闭分布与EW向断裂有较高的相关性,这是由于随着应力场的转变,凹陷进入非旋转的地堑断陷沉降阶段,在北部陡坡带和斜坡带多发育复合型圈闭,中部的坡洼过渡带以断块圈闭和断背斜圈闭为主,在深洼带中部地区以背斜—断背斜圈闭为主;其中切割NE向断层的盖层断裂在文昌组内部的深洼带形成一系列的断块圈闭。

4.3 断裂与油气成藏

同沉积断层由于其活动时间长、切割地层多,经历多期构造变形控制多套地层的沉积演化,更容易

成为油气运移的通道。A 凹陷古近系主要发育 NE 向和 EW 向两套伸展断裂系统,两套断裂系统不同时期的演化特征的差异和叠加配置关系也影响着油气的运聚。结合目前已发现的油气藏发现,切割至基底的 NW 向和 EW 向断层是区内的两套主要的油源断裂系统,具体体现在文昌组油气聚集带沿 NE—NEE 向展布,恩平组和珠海组的油气聚集带沿近 EW 向展布。其中 NW 向调节断裂多起调节性作用,活动期控制着同沉积时期的砂体展布,静止期对主干油源断层上油气的运移起分配和封堵作用。研究表明,A 凹陷的地温梯度相对周边凹陷较低,现今的文

昌组烃源岩正处于大量排烃阶段^[6]。新近系 A 凹陷受珠江流域的影响发育了大套的砂岩沉积,没有形成区域性的泥岩盖层,因此恩平组的大套泥岩成为凹陷内部主要的上覆盖层;结合 A 凹陷地温梯度低、成藏晚的特点,恩平组和文昌组内部的圈闭更易于获得油气的充注,形成自生自储型油藏。综上所述,A 凹陷的下一步油气勘探应围绕古近系烃源岩的分布,在北部陡坡带的断层下盘寻找基底断块型油气圈闭,上盘文昌组的地层内寻找断层岩性复合型油气圈闭,在南部斜坡带寻找断层岩性复合型油气圈闭,坡洼过渡带寻找断鼻、背斜和断块型油气圈闭(图 9)。

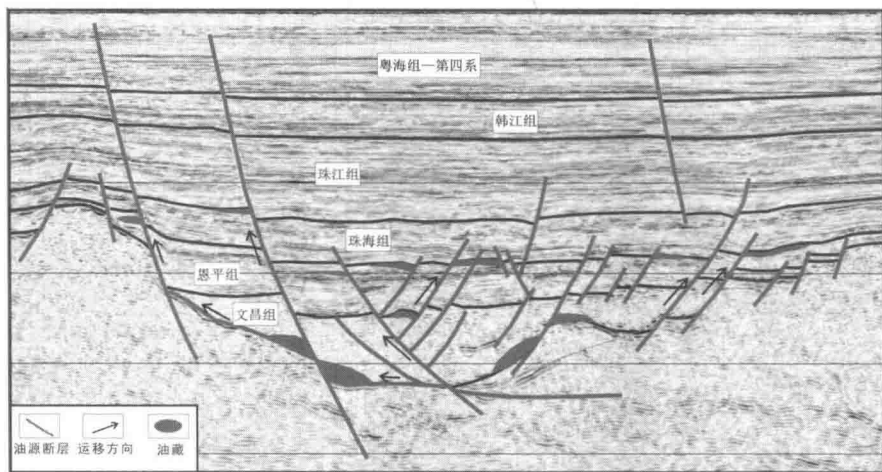


图 9 油气运聚模式图

5 结论

(1) A 凹陷古近纪主要发育北东、东西、北西三个方向断裂。可划分为北东向的基底断裂和东西向的盖层断裂上下两套断裂系统,北西向断裂属于均衡伸展量的调节性断裂,其中东西向断裂形成较晚,对于北东向断裂改造较为明显。

(2) A 凹陷多期伸展叠加变形形成了继承型、切割型和独立型三类叠加构造样式。构造演化阶段大致经历了文昌组沉积时期的北西—南东向引张的早期断陷,恩平组沉积时期近南北引张的晚期断陷,珠海组沉积时期的断—坳过渡期,新近纪—第四纪的坳陷期四个演化阶段。

(3) 两期伸展叠加构造变形对凹陷内圈闭的形成和烃源岩的成熟具有重要的意义。A 凹陷主要发育构造和复合两大类油气圈闭,其中文昌组内部的圈闭沿北东向展布,恩平组内部的圈闭沿东西向展布。

(4) 切割基底的东西向同沉积断层不仅对于凹陷内部烃源岩以及圈闭的分布具有重要的控制作用,而且是区内主要的油源断层。凹陷内部的洼中隆和斜坡带是油气主要的运聚区域,在文昌组内部围绕着东西向断层寻找断块、断鼻圈闭是深层油气勘探的有利方向。

参 考 文 献

- [1] 施和生,朱俊章,姜正龙,等.珠江口盆地珠一坳陷油气资源再评价[J].中国海上油气,2009,21(1):9-14.
- [2] 何家雄,马文宏,陈胜红,等.南海北部珠江口盆地浅水与深水油气运聚成藏机制及特点[J].海洋与第四纪地质,2011,31(4):39-49.
- [3] 李友川,邓运华,张功成,等.南海北部第三系海相烃源岩[J].石油学报,2011,32(2):221-225.
- [4] 朱伟林.南海北部深水油气地质特征[J].石油学报,2010,31(4):521-527.
- [5] 漆家福,杨桥.伸展盆地的结构形态及其主控动力学因素[J].

石油与天然气地质, 2007, 28(5): 634-640.

- [6] 漆家福. 渤海湾新生代盆地的两种构造系统及其成因解释[J]. 中国地质, 2004, 31(1): 15-22.
- [7] 李明刚, 杨桥, 张健. 黄骅拗陷新生代构造样式及其演化[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2011, 33(1): 7, 71-77.
- [8] 赵勇, 戴俊生. 应用落差分析研究生长断层[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3): 13-15.
- [9] 姚伯初, 万玲, 刘振湖. 南海海域新生代沉积盆地构造演化的动力学特征及其油气资源[J]. 地球科学—中国地质大学学报,

2004, 29(5): 543-549.

- [10] 张功成, 王良书, 唐显春, 等. 试论南中国海盆地新生代板块构造及盆地动力学[J]. 地质科学, 2011, 46(3): 638-652.

第一作者简介 陈玮常(1983—), 男, 2014年毕业于中国石油大学(北京), 获博士学位; 现主要从事地震地质综合解释及圈闭识别评价工作。

(收稿日期: 2016-06-20 本文编辑: 尚娜)

基于滴水实验的岩心尺度水淹程度定量识别^①

赵晓东 乔海波 尚娜 王红

(中国石油冀东油田公司勘探开发研究院,河北 唐山 063004)

摘要:为了定量识别油藏的水淹程度寻找剩余油富集区,对密闭取心井的岩心水淹程度进行了系统研究。根据岩心观察和岩心分析测试资料,在沉积相认识的基础上,对××油田“岩心尺度”的水淹程度通过滴水实验进行了识别。结果表明:研究区整体为一套湖退背景下形成的多类型沉积,主要发育三角洲相、辫状河相和曲流河相;对岩心逐点进行滴水实验判断水淹程度,结合岩心分析测试结果分不同沉积相砂体定量识别了水淹程度;水淹程度明显受到沉积韵律和沉积类型控制,研究区正韵律的顶部、辫状河心滩内落淤层的下部、三角洲前缘水下分流河道和曲流河边滩的水淹程度相对较弱,是油田下一步开发调整和剩余油挖潜的主体。

关键词:滴水实验;岩心尺度;水淹程度;沉积韵律;沉积类型

油藏水淹程度识别是高含水油田后期开发调整和剩余油挖潜的重要研究内容之一^[1-3]。近年来不少学者从多种角度对水淹层的评价进行了研究,数学方法的引入对水淹层的定量评价起到了推动作用^[4-7]。但笔者认为最直观的识别方法是通过滴水试验第一时间逐点观察密闭取心井的岩心是否水淹,这一想法在××油田得到了实现。笔者以岩心及岩心分析测试资料为基础,在沉积认识的基础上进行岩心观察和滴水实验,分析密闭取心井不同沉积砂体的水淹程度,与岩心分析测试结果建立关系图版,定量识别不同沉积砂体的水淹程度,并阐明沉积相对水淹程度的影响,为高含水油田增储上产、调整开发方案奠定基础^[8-11]。

1 油田地质概况

××油田油藏主要受构造、岩性共同控制,属于中高孔中高渗构造砂岩油藏,目的层沉积环境正处于由湖泊环境逐渐演变为河流环境的过渡时期,沉积复杂,主要为河流—三角洲相过渡沉积体系,为一套砂泥岩互层的地层;油藏埋深 1750~2000m,主要油藏类型包括构造油藏、岩性油藏和构造—岩性复合型油藏,构造油藏地质储量大,天然能量充足;岩性油藏主要受断层遮挡和岩性圈闭双重因素控制,储层非均质性强,油藏饱和压力较高,油品好,油藏天然能量不足,初期部分并能自喷,但产量递减快,注

水效果差。研究区主力油藏地温梯度为 2.5~3.5℃/100m,油藏温度最高 98.8℃,最低 58℃,大多数温度 60~80℃,压力系数维持在 1 左右,具有正常的温度和压力系统。油藏为稀油油藏,地面平均原油密度 0.8374g/cm³,黏度 15.61mPa·s,凝固点 35.9℃,属于中等密度、中等黏度、中等凝固点原油;随着开采的不断进行,原油密度的平均值有所降低,黏度的平均值有所升高。地层水类型以 NaHCO₃ 型为主,同时还有 MgCl₂、Na₂SO₄、NaHSO₄ 水型,总矿化度 7632~28269mg/L,地层水矿化度和氯离子含量随着开发的进行均有先降低后升高的趋势,这与地层注水性质有关。该油田从 20 世纪 70 年代中期开始试采,70 年代末期开始正式投入开发并开始注水,投产至今已历时近 40 年,多次被评为高效开发油田。开发历程按工作的内容时间顺序大致可以分为详探、试采、初期开发、第一次细分调整、第二次细分调整、加密调整稳油控水、高含水期综合治理六个阶段,按产量趋势是标准的三段式:上产阶段、稳产阶段和递减阶段。(1)上产阶段(1975—1981 年)。该阶段初步探明了主要高产富集断块,初期按 500m 的不规则三角形井网分两套层系开采,实现快速上产,同时进行了注水开采。阶段末年产油 25.15×10⁴t,动用储量的采油速度 2.50%,综合含水 32.2%,累计产油 123.22×10⁴t,动用储量采出程度 12.22%。(2)稳产阶段(1981—1996 年)。根

① 基金项目:本文由中国石油天然气股份有限公司科技重大专项(2014E-050211)和国家科技重大专项课题(2011ZX05006-06)联合资助。

据油田实际生产中暴露的单井控制储量过高和井网不适应的矛盾,以及稳产需要,对该阶段进行了三次较大的油田开发调整:第一次细分调整;第二次核心思想是以注水为重心,保持和提高地层能量,通过地质研究细分地层,进行单层系开发;第三次为加密调整,稳油控水的综合治理,改善开发效果,期间滚动开发工作也取得较大成功。阶段末年产油 $22.81 \times 10^4 \text{t}$,动用储量的采油速度 1.27%,综合含水 81.7%,累计产油 $543.13 \times 10^4 \text{t}$,动用储量采出程度 30.14%。(3)递减阶段(1997 年至今)。油田进入高含水开发阶段,调整挖潜对象转为高度分散的剩余可采储量和Ⅲ类储量,实施了挖潜治理。主力开发单元开展综合治理;对非主力块实施井网完善和注采调整,减缓油田递减。截至本文研究前,研究区采油井数 171 口,注水井 77 口,日产油 300.4t,日产水 2986.5t,综合含水 90.9%,累计产油 $718.2 \times 10^4 \text{t}$,累计产水 $2580.3 \times 10^4 \text{t}$,采出程度 37.2%,从采出程度上来看研究区还存在较大的开发潜力。研究区油藏水淹程度严重,据统计高含水油田的可采储量仍占全国的 68.7%,高含水油田剩余油开发潜力仍然巨大。

2 岩心尺度水淹程度定量识别

2.1 沉积认识

对 21 口取心井进行了详细的观察分析,研究区主要发育河流—三角洲相沉积。下部发育三角洲

相,中部发育辫状河相,上部发育曲流河相,整体为一套湖退背景下形成的多类型沉积,沉积相变快、沉积类型多是研究区沉积微相的主要特点。

2.1.1 沉积相标志

(1) 泥岩颜色。

泥岩颜色主要有暗色、杂色、棕色等,其中,棕色反映出水上氧化环境的沉积特征,暗色反映出水下还原环境的沉积特征,杂色反映出水半氧化、半还原的沉积特征。从下到上,地层泥岩颜色逐渐变浅,反应了沉积体系总体上具有湖相、过渡相向陆相过渡的特征。

(2) 岩石类型、结构和成分。

岩石类型主要以中细砂岩和细砂岩为主,常见含砾砂岩和砂砾岩,整体偏粗粒,岩性变化小,结构成熟度高。在显微镜下观察,砂岩以岩屑长石砂岩为主,石英、长石、岩屑是主要的碎屑组分,其中岩屑占 21.3%,颗粒支撑,反映了储层成分成熟度偏低的特点。

(3) 沉积构造。

岩心观察发现沉积构造类型主要有交错层理、平行层理、冲刷充填构造和生物扰动等(图 1)。交错层理中纹层的前积方向显示了水道状水流的方向;平行层理一般在水体浅、水流急的水动力条件下形成,冲刷充填构造同样是高流态下产生的一种层面构造,两者都反映了强牵引流水动力机制;生物扰动多出现在富含生物的浅水沉积环境里。

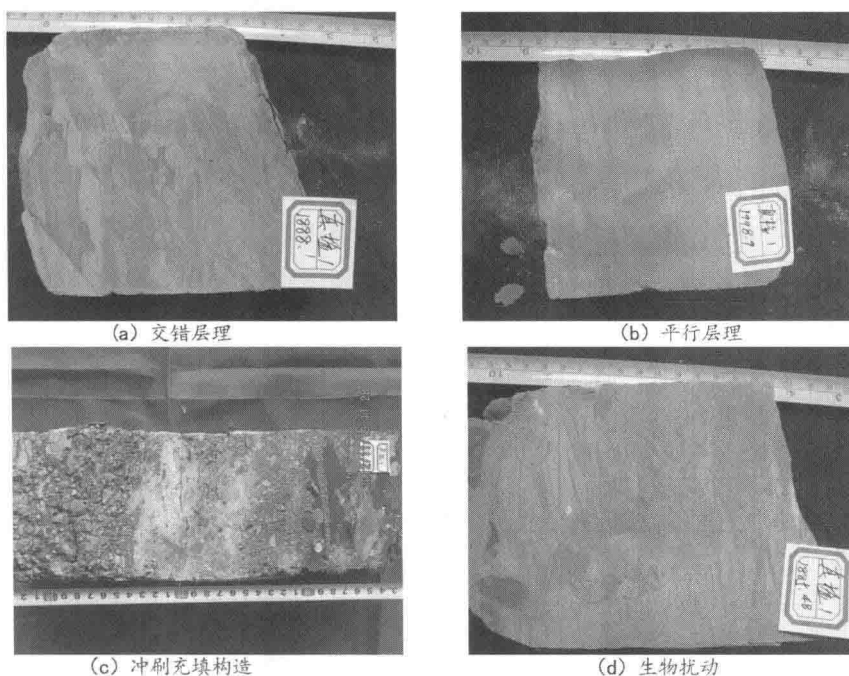


图 1 研究区典型沉积构造