

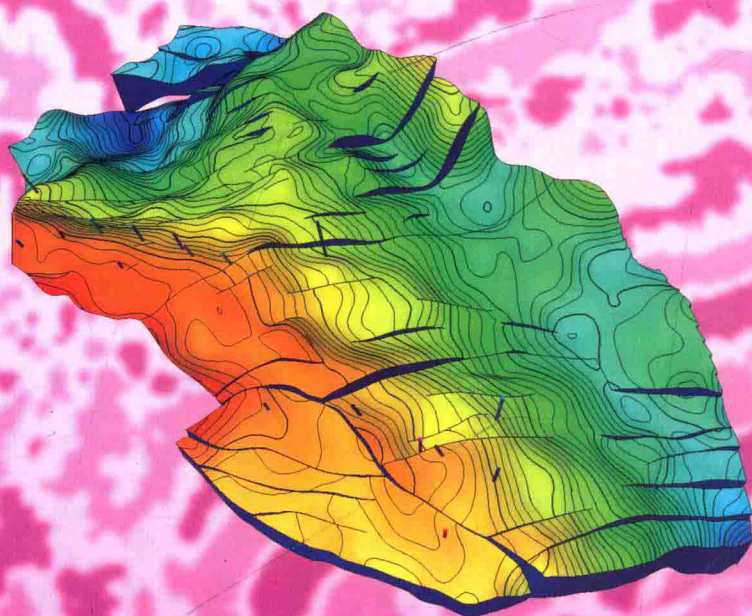
复杂油气田

COMPLEX OIL & GAS RESERVOIRS

文集

(2016年 第四辑)

董月霞 主编



石油工业出版社

复杂油气田文集

(2016年 第四辑)

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。

本书可供油田地质人员、开发人员、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.第四辑/董月霞主编.

北京:石油工业出版社,2016.12

ISBN 978-7-5183-1695-3

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 307746 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 12 月第 1 版 2016 年 12 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



钢铁长城

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 第四辑

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

- 南堡凹陷高南地区低级序断层形成演化 陈玮常 闫晶晶 田红星 等(1)
- 裂陷盆地叠加构造样式识别——南堡凹陷叠加构造变形浅析
..... 闫晶晶 陈玮常 黄煜辰 等(7)
- 南堡凹陷南部物源中深层储层特征——以南堡3号构造为例
..... 赵晓东 刘 晓 文 雯 等(16)

油田开发

- 冀东碳酸盐岩油藏不同储渗模式开发特征及治理对策
..... 孙彦春 高广亮 刘薇薇 等(23)
- 浅层稠油 HDC 控水增油技术研究及应用 张金焕(31)
- 已投区块开发效果的综合评价 李 斌(37)

钻采工程

- 磺酸树脂催化剂对合成乙酸仲丁酯的研究 吴庆莉 刘 涛 田 蜜(44)
- 环保型润滑抑制剂在高尚堡油田浅层水平井的应用
..... 高慧杰 朱建军 胡勇科 等(47)
- 杆式抽油泵延长检泵周期技术研究 王 健 魏慧慧 陈广辉 等(51)

综 合

- 暗杆平板阀开度指示器的研究与应用 陈 通 李 娟(57)
- 基于点击量的新闻传播效果研究 岳晓方(61)

摘 要

- 英文摘要 (72)

Complex Oil & Gas Reservoirs

Dec. 2016

CONTENTS

• PETROLEUM EXPLORATION •

- Formation and Evolution of Low-grade Fault in Gaonan Area, Nanpu Sag Chen Weichang *et al.* (1)
- Superimposed Tectonic Recognition in Fault Basin— Analysis on Superimposed Tectonic Deformation in Nanpu Sag
..... Yan Jingjing *et al.* (7)
- Characteristics of Mid-deep Reservoir in Southern Provenance of Nanpu Sag—A Study on No. 2 Structure of Nanpu
Sag Zhao Xiaodong *et al.* (16)

• OILFIELD DEVELOPMENT •

- Storage-percolation Modes and ROE Research on Carbonate Reservoir of JiDong Oilfield
..... Sun Yanchun *et al.* (23)
- Application of HDC Technology in Shallow Heavy Oil Production Zhang Jinhuan (31)
- Comprehensive Evaluation on Development of Invested Blocks Li Bin (37)

• DRILLING AND PRODUCTION ENGINEERING •

- The Effect of Sulfoacid Resin Catalyst on Synthesis of Secbutylacetate Wu Qingli *et al.* (44)
- Application of Environment-friendly Lubricating Inhibitor in Shallow Horizontal Wells in Gao Shangpu
..... Gao Huijie *et al.* (47)
- Research on Prolonged Pump Checking Cycle for Pumping by Rod Pump Wang Jian *et al.* (51)

• GENERALITY •

- Study and Application of Non-rising Stem Flat Valve Chen Tong *et al.* (57)
- Research on News Dissemination Through Clicks Yue Xiaofang (61)

• ABSTRACT •

- English Abstract (72)

南堡凹陷高南地区低级序断层形成演化

陈玮常¹ 闫晶晶¹ 田红星² 成茜² 郭畅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油田作业区, 河北 唐海 063299)

摘要: 本文运用构造导向滤波、曲率、体融合等多种地震解释技术, 在高南地区新识别出一组南北走向的低级序断层, 运用油区构造解析原理对其几何学、运动学及变形机制进行深入分析后认为, 该套南北走向低级序断层的发育与地层褶皱变形密切相关。南堡凹陷断层划分为6个等级, 其中以I—IV级属于高级序断层, V—VI级属于低级序断层, 将目前地震技术尚不能分辨的微破裂归为亚分辨断层。高南地区南北走向低级序断层是高柳断面上盘地层受到来自庙高断层的侧向挤压作用所致, 属于典型的纵弯褶皱变形; 并预测在东三段背形地层内部存在大量低级序逆断层。

关键词: 断层分级; 低级序断层; 断层演化; 纵弯褶皱

目前复杂断块油田内油水关系、井间注采矛盾突出等问题严重制约着原油采收率的提高, 低级序断层的识别与分布严重制约着油田高效勘探开发的步伐。低级序断层虽然对复杂断块油田的构造趋势和断块形状不具控制作用, 但是其存在使得断块油田更为复杂化^[1-3]。高南地区位于高柳断层上盘, 由上至下分为浅层(明化镇组、馆陶组)、中深层(东营组)、深层(沙河街组)三大套油气层系。高南油藏中深层, 断层较多、断块破碎, 众多低级序断层的存在制约着开发井网的有效建立, 成为制约该区稳产、增产的地质难题。

南堡凹陷是一个断层极其发育, 断裂构造系统复杂的新生代断陷盆地, 其形成演化经历了多期不同方向的伸展变形, 断层兼具伸展、走滑多种构造属性, 从而促使地层发生复杂的破裂及变形易于形成多组低级序断层, 因而详细研究变形机理才能有效指导日后低级序断层的识别工作。目前地震技术的长足发展对识别地下低级序断层起到了重要支撑作用^[4,5], 提高低级序断层的识别技术与深化其成因机理研究对指导低级序断层的分布预测具有重要意义。

1 低级序断层发育特征

1.1 断层识别

近期在开展高中深南区地震资料解释过程中,

通过以高分辨率数据为基础, 加以相干切片、导向滤波、体曲率等技术综合解释后新识别出一套南北走向的低级序断层(图1、图2)。该套断裂平面上与高柳断裂带南北走向和庙高断裂北东走向截然不同, 呈平行排列且密集分布于高南地区中部, 在东部、西部两侧均不发育。高南地区处于高柳断裂带和庙高断裂带共同控制的拐点区域, 研究认为该套断裂发育与其北、南两侧高级序断层伸展作用密切相关。

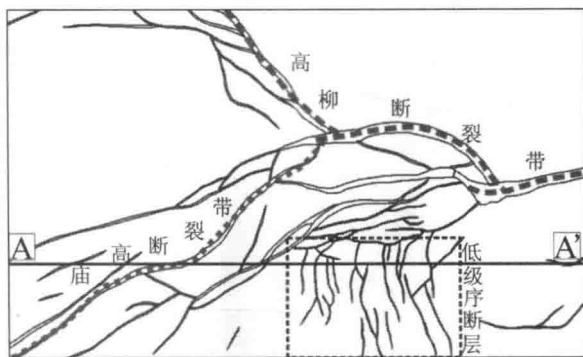


图1 高南地区构造纲要图

1.2 断层分级

断层分级、分类是研究断裂演化的有效手段之一, 根据断层活动时间、切割地层规模、断距等构造要素, 并结合油田地层的划分标准(组、段、亚段、油组、砂组、小层、单砂体)可将南堡凹陷的断层划分成两大类6个级别(表1、图3)。

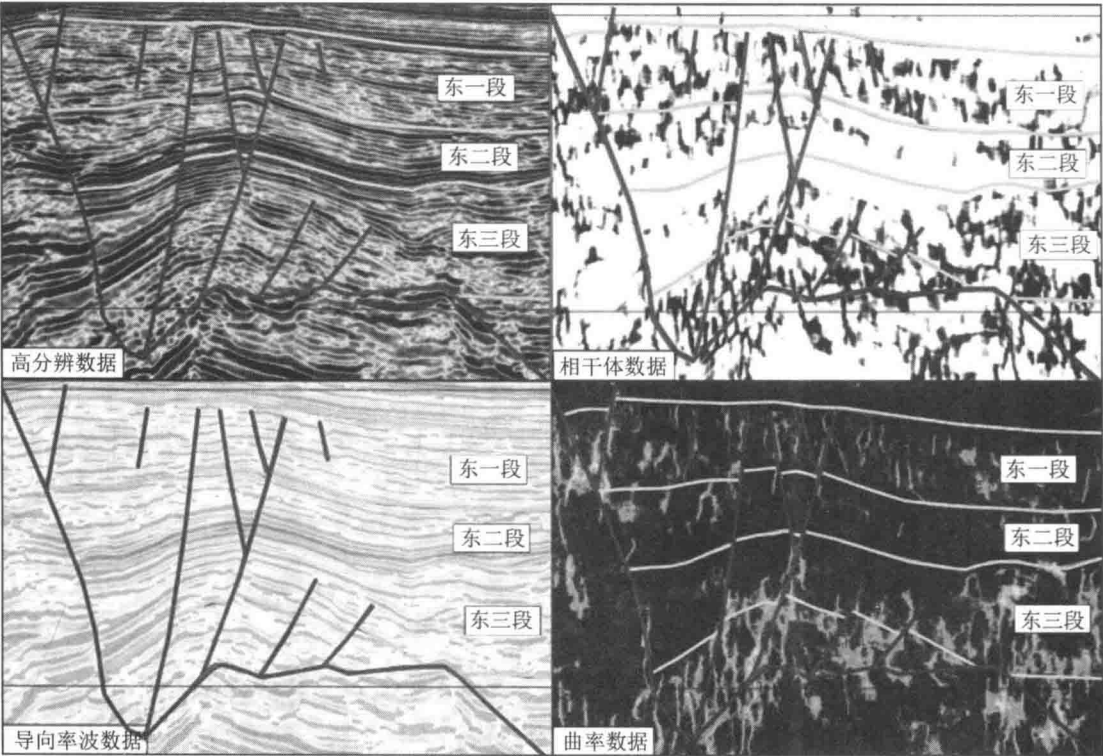


图2 低级序断层识别及效果

表1 南堡凹陷断层划分简表

断层级别		断距(m)	规模	切割层序尺度
高级序	一级	>500	盆地、凹陷	I级(系、统)
	二级	200~500	洼槽、构造带	II级(组、段)
	三级	100~200	局部构造	III级(亚段)
	四级	50~100	整一断块	IV级(油组、砂组)
低级序	五级	20~50	破碎断圈	V级(小层)
	六级(亚分辨)	<20	微破裂	(单砂层)

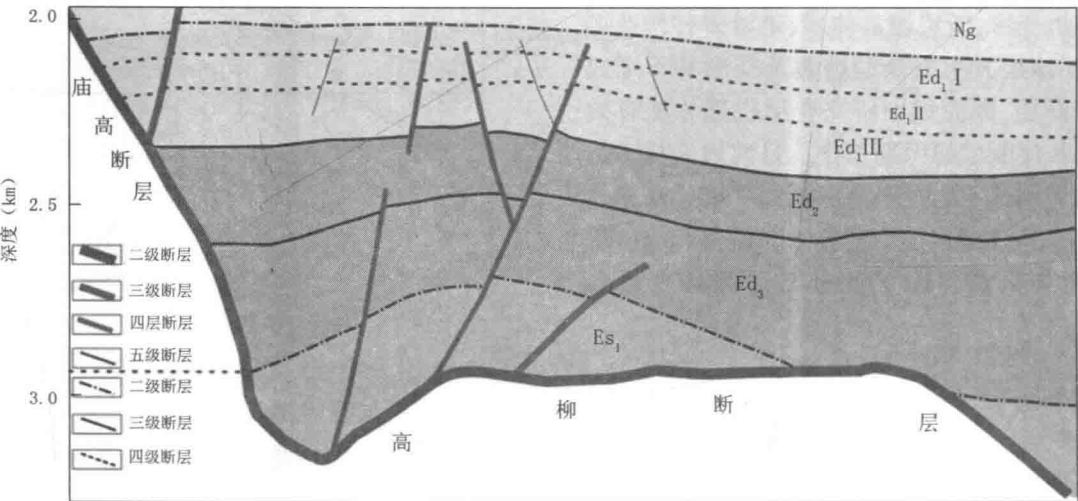


图3 高南地区低级序断层划分图

1.2.1 高级序断层包括

一级断层:盆地、凹陷的边界断层,断距大一般大于500m,至数千米,其活动时间长,控三级构造沉积单元,这类断层控制盆地级物源方向和凹陷演化分布,如西南庄—柏各庄断层。

二级断层:断距多为200~500m,控制凹陷内部的洼槽、次级构造带,断层多切割组、段级地层单元(东营组、东一段),控制凹陷内沉积相分布和物源入口,形成凹陷内部的二级构造带,如高柳断层、南堡1号断层、南堡2号断层。

三级断层:断距在100~200m,是在一级、二级断层形成演化过程中伴生的断层,与其在剖面上常呈“Y”形组合,改变河流走向控制砂体横向展布规模,如高柳断裂带内分支断层。

四级断层:断距在50~100m,为控制较为完整

油气田开发断块的主断层,一般不切穿地层组。

1.2.2 低级序断层包括

五级断层:断距在20~50m,为各开发断块内的断层使得断块结构更为复杂,不具备控制沉积作用,通过多种地球物理手段可以识别解释。

六级断层:也叫亚分辨断层,指断层断距在目前地震资料下无法识别解释的断层,其断距小于20m,不控制砂体沉积展布,但对开发区块内部油水关系起控制作用,并分割油气藏控制剩余油分布。

1.3 组合特征

低级序断层主要发育于亚段及下一级地层单元中,是局部构造应力场控制的地层变形产物,其构造样式组合形态常与高级序断层共生,主要以地垒—地堑式、“Y”形、多米诺组合为主(图4)。

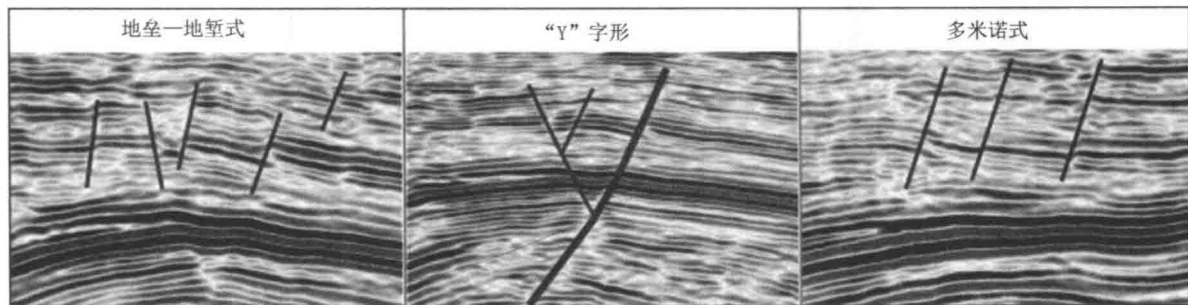


图4 构造样式剖面

1.3.1 地垒—地堑式

该类组合中局部应力场形成的断层,切割不深,延伸较短,由于低级序断层的对倾和背倾组合,在平面上呈并联排列样式,因而造成断块内部圈闭高点发生迁移。这类样式的低级序断层由于不与油源断层搭接,一般起到分割油藏,划分油水界面的作用,在油田开发中后期对剩余油分布起到控制作用。

1.3.2 “Y”形样式

该类组合是低级序断层与高级序断层在剖面上的常见组合形态,在平面上常位于高级序断层末端,与之呈发散状、斜交的组合形态;这类低级序断层常与高级序油源断层组合成为油气运移通道。

1.3.3 多米诺组合样式

该类样式多发育于背斜两翼(或单斜地层),断层倾向与地层倾向相同,平面上常呈斜裂组合;这类断层上下多被泥岩(韧性层)包夹,在其断层下降盘靠近断层一侧易于形成剩于油富集区。

2 低级序断层形成演化

2.1 构造演化特征

通过编制东营组沉积期构造各亚段构造演化剖面,可详尽分析高南地区低级序断层的形成演化过程及主控因素。

此次研究单元位于高柳断层和庙高断裂带下降盘,受两条二级断层(断裂带)共同伸展变形作用控制。新识别出的南北向低级序断层主要位于东一段内部,但是在东二段和东三段内部地层层序样式发生了明显的弯曲变形,下面通过构造演化这种有效的地质反演分析方法对各组段的层序变形过程与断层发育期次进行综合分析(图5,图6)。

东一段内部层序近水平且呈宽缓背斜形态,向下地层(东二段、东三段)背形弯曲幅度逐渐加大,背斜高点部位对应发育“Y”形组合断裂,在背斜两翼发育与地层倾向相同的顺倾低级序断层,其断距在20m左右。东二段整体呈东厚西薄的箕状沉积形

态,这说明高柳断层下降盘此时西部沉积速率要明显高于东部,由于西部属于高柳断层与庙高断裂的交接带,物源头易于沿断层之间的变换带向低洼处堆积,因此会形成向东部上超的层序样式,且部分四

级断层并未向上切穿东二段。东三段沉积期,地层厚度东厚西薄与上一沉积期相反,反映出高柳断层该期东部活动强度较大;东三段内部次级层序呈挠曲的平行样式,四级断层在这一期没有发育。

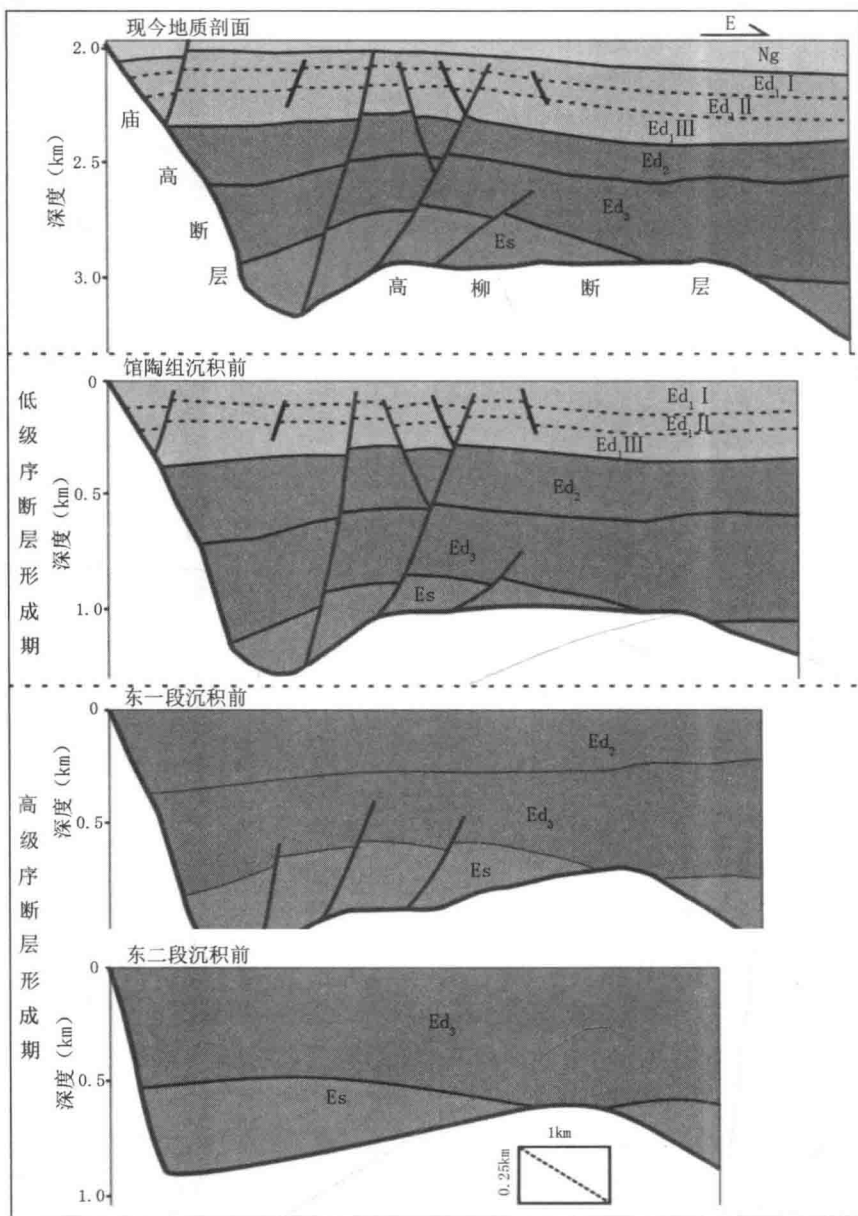


图5 构造演化剖面

2.2 断面演化及其控制

通过前文构造演化分析发现,高南地区低级序断层的发育主要由于东一段内的地层褶皱变形引起,由于目前的地震资料品质和地震解释技术的限制,尚无法对东二段、东三段内部低级序断层进行识别,但根据东一段低级序断层变形原理,通过复原个别层段地层层序样式和二级(主控)断层的断面结构

样式,可以对下部地层中的低级序断层发育部位进行预测(图6)。

研究发现,高南地区低级序断层发育与主干断层断面形态具有高度相关性。东三段沉积期高柳断面呈东高西低的斜坡型样式,由于高柳断层切穿的地层不统一造成沙河街组在断面高部位地层充填沉积,并且具有微幅的背形,且此时高柳断层活动强度

远大于庙高断层,地层充填主要受高柳断面控制,其上盘地层样式呈平行的挠曲样式,因而在微幅褶皱的背形顶部和凹型下部会形成一部分低级序断层,由于其构造变形弱更易形成亚分辨断层。东二段沉积期,随着庙高断层活动性的增强,在庙高断层下切时同高柳断面连为一体,庙高断层的下切力转化为对高柳断面的向东挤压应力,致使高柳断面变形为东高西低的坡折型样式(图6中点1、点2)。随着庙高断层活动性的增强,地层沉积中心逐渐转移到高柳断面西部,形成西厚东薄的箕状样式。断面的不均一、多转折端会致使沿断面拐点处发育新生断裂,这些新生断层在高柳断面南北向伸展和庙高断层北

西—南东向的叠加变形作用发生扭动变形,致使沿新生断层附近易于形成低级序断层。东一段沉积期,高柳断面逐渐变为平台型样式(图6中点1、点2、点3近似水平),通过前面地震资料解释成果,东一段内部次级层组为平行的背形结构,并且背形发育位置与东二段沉积期形成的断层位置重合,说明该时期的背斜构造是由于在庙高断层的断陷作用下致使高柳断面受到向东挤压应力后断面升高引起的;因此在西部断面升高的部位和东部断面原高点(图6中点3)的东一段内会形成低级序断层。根据前文地震解释及断层分级,西部的低级序断层属于五级断层,东部属于亚分辨断层。

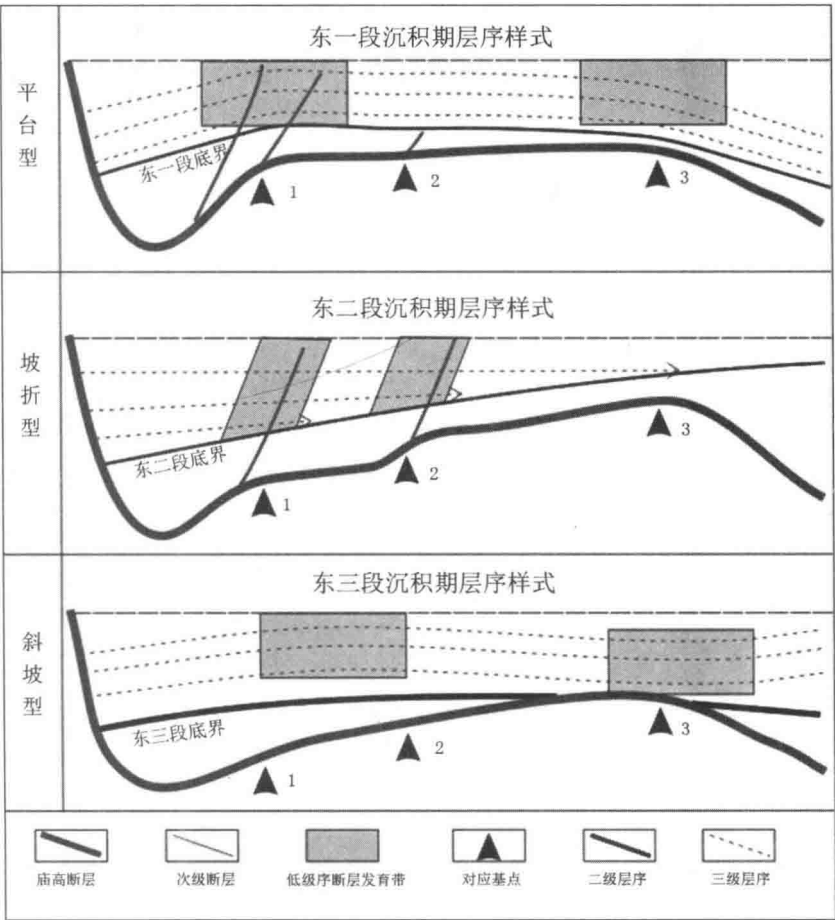


图6 高南地区低级序断层成因模式图

2.3 变形机制

在南堡凹陷复杂断块区,地层均发生过弯曲变形,前文分析可知,高南地区识别出的低级序断层发育于东一段内背斜顶部,属于地层褶皱变形引发的次生破裂。庙高断层断陷致使高柳断层上盘地层受到来自西部的侧向挤压应力,致使地层褶皱,属于典

型的纵弯褶皱变形模式。纵弯褶皱作用是指岩层受到来自两侧的挤压应力,压应力沿地层发生传递致使发生弯曲变形。在纵弯褶皱过程中,外部地层(东一段)发生拉伸变长,内部地层(东三段)挤压收缩,在内外层之间有一个既无拉伸也无压缩的中和面

(东二段);其中外部拉深层易于形成一系列张破裂,即低级序正断层,内压缩层易于形成一系列压破裂,即低级序逆断层。

3 结论

南堡凹陷断陷期多变形复杂,断层可划分为6个级别,其中I—IV级属于高级序断层,V—VI级属于低级序断层,其中目前地震技术尚不能分辨的微破裂归为亚分辨断层。低级序断层组合样式以地垒—地堑式、“Y”形、多米诺组合3种为主。

高南地区东一段南北向低级序断层是在东一段沉积期受庙高断层引起的侧向挤压引起的,该变形具有典型的纵弯褶皱变形特征。通过应力分析认为,在东三段背形部位发育低级序逆断层。

参 考 文 献

- [1] 张宗標. 济阳坳陷低级序断层组合样式及成因机制[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2004, 28(3): 1-3.
- [2] 李阳. 我国油藏开发地质研究进展[J]. 石油学报, 2007, 28(3): 75-79.
- [3] 马玉歌. 盘河地区低级序断层地震识别和应用效果[J]. 科技导报, 2011, 29(8): 39-43.
- [4] 边树涛, 董艳蕾, 苏晓军, 等. 地震相干体技术识别低级序断层方法研究[J]. 世界地质, 2007, 26(3): 368-373.
- [5] 纪学武, 彭忻, 臧殿光, 等. 多属性微断裂解释技术[J]. 石油地球物理勘探, 2011, 46(z1): 117-120.

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

(收稿日期: 2016-9-11 本文编辑: 张国英)

裂陷盆地叠加构造样式识别

——南堡凹陷叠加构造变形浅析

闫晶晶¹ 陈玮常¹ 黄煜辰² 张雪辉¹ 高贺存¹

(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油田作业区, 河北 唐海 063299)

摘要:国内外众多的裂陷盆地具有构造变形的多期性, 伸展变形、走滑变形以及反转变形并存; 构造变形的期次意味着晚期变形对早期变形的利用和改造, 地下地质构造是多期变形叠加的结果, 是一种构造叠加效应的表现。南堡凹陷新生代断裂构造是伸展变形与走滑变形叠加作用的产物, 并且在平面具有分带、分块, 垂向分层分期的特征。南堡凹陷叠加构造变形作用可拆解为正向伸展变形、斜向伸展变形、走滑变形3种构造作用。南堡凹陷断层可划分为3类, 即I类断层从始新世开始活动(正向伸展变形), 在渐新世张扭变形(斜向伸展变形), 新近纪走滑变形(平移); II类断层从渐新世开始活动(正向伸展变形)、新近纪张扭变形(斜向伸展变形); III类断层从新近纪开始活动(正向伸展变形)。

关键词:裂陷盆地; 伸展变形; 走滑变形; 构造样式

裂陷盆地是一种具有多种成因机制和变形方式的沉积盆地类型, 其内部蕴含着丰富的油气资源, 因此受到国内外众多学者的研究和青睐。中国东部裂陷盆地大多是由地壳浅层发育的多期正断层、走滑断层控制或者共同控制的沉积盆地, 多期同一成因不同方向的构造变形和多期不同成因不同方向的构造变形在空间的叠置、继承和改造构成了盆地的叠加变形构造体系。因此加强含油气盆地叠加变形特征和演化过程的认识, 对明确盆地的石油地质条件及油气藏分布具有重要的理论意义和指导价值。

南堡凹陷是渤海湾盆地内的一个三级负向构造单元, 属于典型的新生代伸展背景下的断陷盆地, 也是渤海湾盆地内典型的富油气凹陷之一。目前南堡凹陷多期叠加构造变形和构造演化造成的复杂地下地质条件成为制约油气勘探和开发的重要地质问题。中深层(沙河街组)地震资料品质不佳、地震资料多解性也困扰着物探、地质人员对地下地质构造的认识, 严重制约着规模勘探的进程。本文从盆地动态演化的角度, 运用构造解析学原理对南堡凹陷叠加构造变形过程加以剖析, 从而为地震资料解释人员、地质研究人员提出一种新的地质分析思路。

1 裂陷盆地研究现状

1.1 裂陷盆地成因模式

自从板块构造学说建立以来, 石油地质学家就试图将沉积盆地的形成和发展与板块构造运动联系在一起考察。Dickinson^[1,2]根据板块边界类型和盆地演化过程将盆地划分为裂谷和造山两大类构造环境, 这种盆地分类方案为盆地成因动力学研究奠定了基础。Busby Cathy 和 Antonio Azor Perez^[3]进一步发展了Dickinson的盆地分类, 侧重于板块边界的活动和盆地内部动力演化过程等因素。裂陷盆地是在地壳引张作用下形成的沉积盆地, 地壳伸展变形过程伴随发育的正断层或走滑正断层对盆地的形成和演化起控制作用, 岩石圈或地壳热活动、地壳的均衡作用对盆地基底的沉降也有重要影响。裂陷盆地作为大陆伸展构造的一类主要盆地类型, 其成因机制和演化过程是十分复杂的, 多年来许多学者进行了大量研究工作, 取得了众多成果^[4], 虽然认识众多且各有不同, 但普遍认为裂陷盆地的形成与地球岩石圈深部的热物质运动有重要关系。按照构造背景与驱动机制可分为3类: 伸展裂陷(主动裂陷、被动裂陷)、走滑裂陷(走滑拉分)、挤压裂陷(表1)。

表 1 裂陷盆地成因分类简表

成因类型		机制	裂陷模型	
伸展裂陷	主动裂陷	地幔热物质上涌引起水平拉张	地幔底劈模型	
			重力均衡扩展模型	
			地壳地幔转换模型	
			岩石圈软流圈转换模型	
			自由伸展模型	
	被动裂陷	水平拉张后引起地幔热物质上涌	纯剪切	壳幔均衡伸展模型
				壳幔非均匀非连续伸展模型
				壳幔非均匀连续伸展模型
			简单剪切模型	
			悬臂梁弯曲模型	
组合模型				
走滑裂陷		剪切拉张	走滑拉分模型	
			走滑—斜向伸展模型	
			共轭断裂伸展模型	
挤压裂陷		横向拉张	纵向挤压横向拉张	
			背斜轴部拉张	

1.2 裂陷盆地构造变形

正断层及其所控制的地层变形组合是裂陷盆地构造变形的形式,但在盆地的演化过程中,不同构造期的盆地伸展方向会发生转变从而使得同一断层在不同时期具有不同的构造属性。从构造变形的角度分析来看,裂陷盆地内构造变形大致分为 3 类,即正向伸展变形、斜向伸展变形和走滑变形(图 1)。

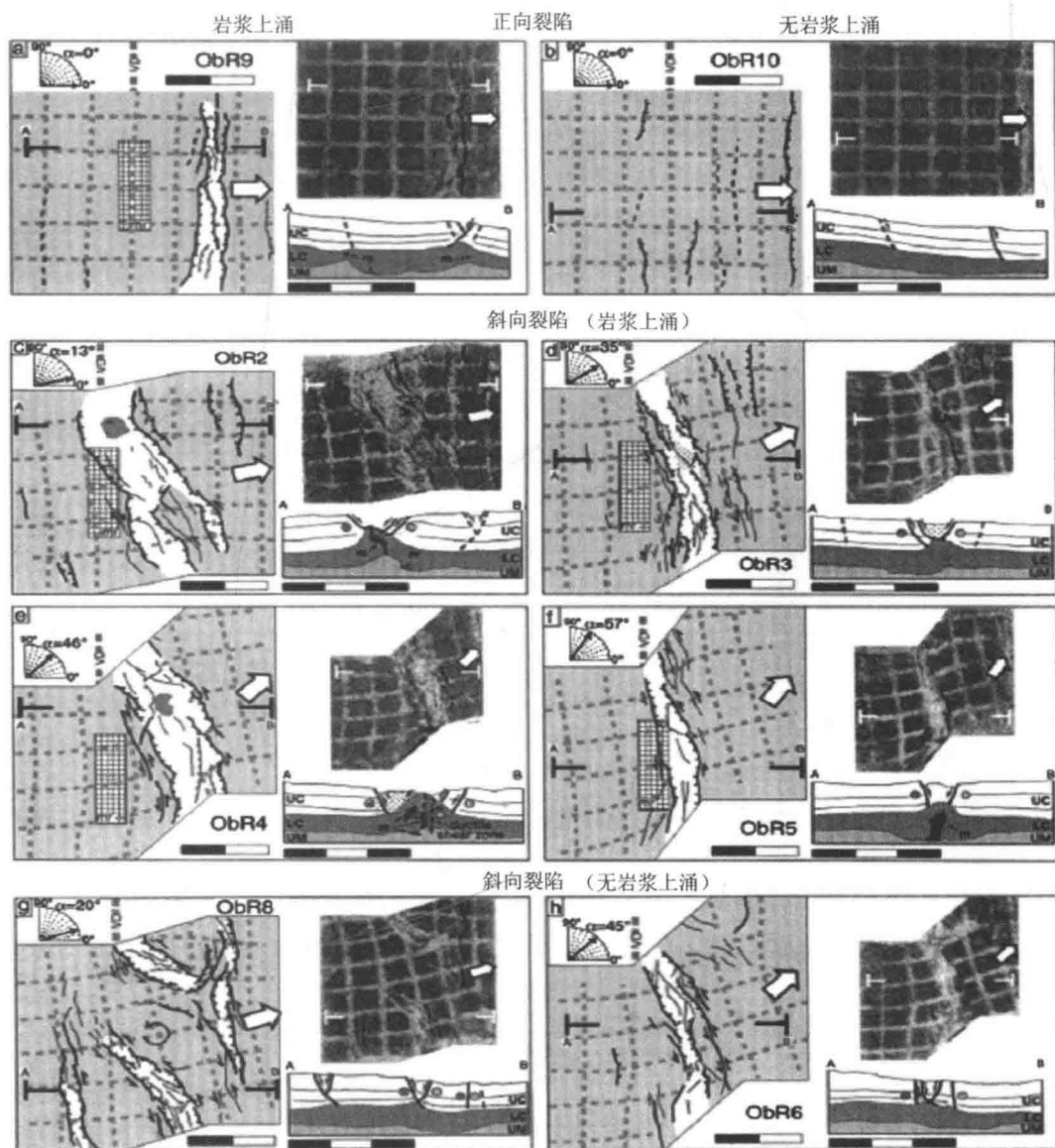
正向伸展变形(正向裂陷)为区域拉张应力方向与盆地内主要构造走向垂直时盆地内发生的伸展变形,斜向伸展变形(斜向裂陷)为区域拉张应力方向与盆地内主要构造走向斜交时盆地内发生的伸展变形,如我国东部中—新生代伸展断陷盆地中发育的基底正断层多与盆地的走向平行,盖层中发育的断层走向多与盆地走向斜交,这是由于在断陷盆地的伸展变形的不同阶段,构造应力场的方向常常发生变化,使得早期形成的构造一个时期表现为正向伸展变形,一个时期表现为斜向伸展变形。国内外的研究学者在渤海湾盆地中发现了大量正向伸展变形、斜向伸展变形和走滑变形叠加的构造现象,并取得了丰硕的成果^[5-7]。

走滑变形对裂陷盆地的演化影响意义也十分重大。在盆地尺度内,走滑变形大致分为两种,一种是斜向伸展引起内部断层平面组合的调节性构造,如调节断层,虽然剖面显示为正断层但受控于两侧构

造的伸展变形强度的不一致性,导致调节性断层多具有走滑断层的性质。另一种是盆地整体受到深部走滑剪切力的影响导致裂陷盆地发生走滑变形,如郯庐断裂从渤海湾盆地中切过导致盆地内部形成众多走滑变形样式如正花状构造、负花状构造。走滑变形最主要的特点在于,其变形特征是线性延伸带状分布。走滑断裂的主位移带(PDZ)与走滑断层走向保持一致,而伴生构造指由走滑位移引起的构造变形现象,这与走滑运动方向和断层的延伸形态、展布位置相关,如同阶同行的位置会形成走滑拉分,反而成为走滑挤压区域。

裂陷盆地中同样发育大量的挤压构造,这种挤压构造是在引张的大背景下局部的挤压多以反转构造变形为主。反转构造不仅是盆地应力场转变的重要标志,而且对于从深层次认识盆地演化的旋回性方面具有重要的指示意义。盆地内的反转现象主要表现为盆地的平面上伸展—挤压的转换、垂向上沉降与隆升的转换、断层正—逆运动的转换,因此反转构造是一种典型的构造叠加现象,是同一构造体晚期受到与前期相反的构造应力变形所致,这在盆地的多期演化过程中具有非常普遍分布现象。

我国东部中—新生代裂陷盆地具有多旋回、多阶段的幕式演化过程,如西湖凹陷、济阳拗陷等盆地中都存在大量的反转构造现象。

图1 正向伸展与斜向伸展沙箱模拟实验^[8]

2 南堡凹陷构造概况

2.1 构造演化期次

构造变形是控制盆地变形和演化的主要地质因素,多期构造运动造成的叠加构造变形,目前受到越来越多的研究学者的重视。南堡凹陷新生代经历了多期伸展变形,凹陷内断裂形成演化受控于伸展变形和走滑变形共同控制。

叠加构造样式是盆地经历多期应力作用的联合、复合的综合结果。由于各套地层沉积的先后顺序和其所经历的变形次数的不同,因此在分析叠加构造变形前就需要先对盆地的构造演化和变形序列进行划分。南堡凹陷新生界内部主要发育有 5 个不

整合界面,分别是沙三段底面,沙一、沙二段底面,东营组底面,馆陶组底面,明化镇组底面,把新生界盆地分隔为始新统(沙三段)、渐新统(沙一、沙二段,东营组)、新近系—第四系(馆陶组、明化镇组)等三大构造层及 5 个构造—沉积层序。

南堡凹陷新生代整体表现为具有幕式演化特征的叠加断陷盆地^[9-12],大致经历了始新世(沙三段沉积期)NW—SE 向伸展变形,渐新世(沙一、沙二段沉积期,东营组沉积期)近 SN 向伸展变形,新近纪—第四纪深部走滑变形 3 个不同的演化阶段。因此按照地层沉积顺序和构造变形序列西部凹陷主要经历了正向伸展变形、斜向伸展变形和走滑变形 3 种构造变形的叠加作用影响,具体叠加效果如下(表 2):始

新世的沉积地层由老至新依次经历了正向伸展变形、斜向伸展变形、走滑变形 3 次构造叠加变形作用;渐新世沉积的地层经历了正向伸展变形、走滑变形两次构造叠加变形作用;新近纪—第四纪沉积的地层由于沉积最晚,只受到了走滑变形的改造属于单因素应力变形,叠加变形作用并不显著。

表 2 南堡凹陷不同时期构造变形分解表

时期	新近系	渐新统	始新统
新近纪	走滑	走滑+正向伸展	走滑+斜向伸展
渐新世		正向伸展	正向+斜向伸展
始新世			正向伸展

2.2 断裂系统

断层是断陷盆地内最为主要的构造要素,南堡凹陷内断层极其发育,根据断层的形成期次、切割深度、活动强度,平面上主要发育 NNE—NE、NEE—EW、NW 等 3 个优势走向。根据断层活动时期及变形方式可将南堡凹陷断裂划分为 3 类(图 2),即 I 类断层从始新世开始活动(正向伸展变形),在渐新世张扭变形(斜向伸展变形),新近纪走滑变形(平移);II 类断层从渐新世开始活动(正向伸展变形)、新近纪张扭变形(斜向伸展变形);III 类断层从新近纪开始活动(正向伸展变形)。

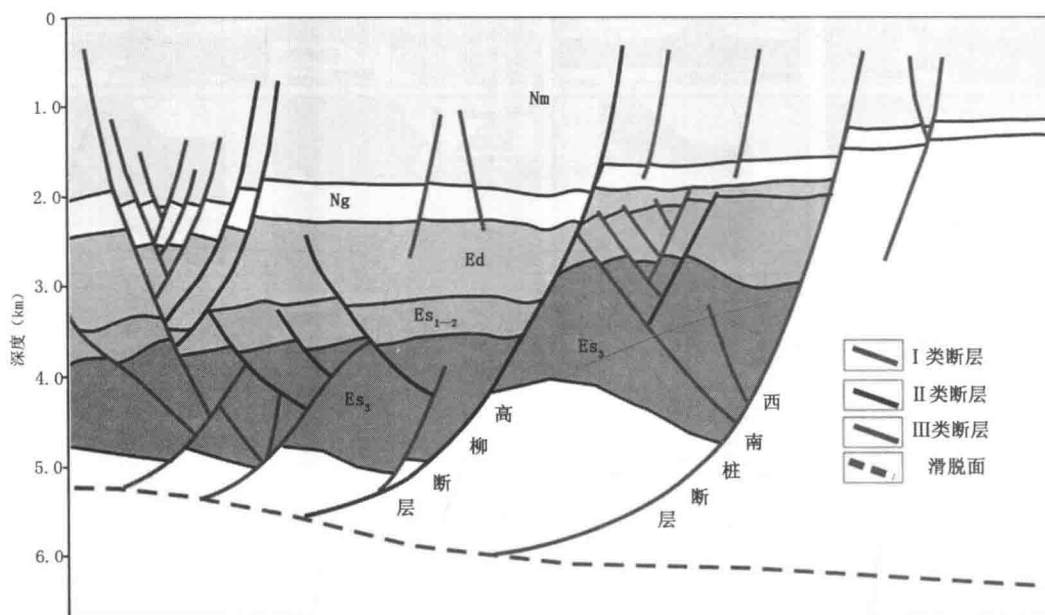


图 2 南堡凹陷断裂系统划分图

南堡凹陷新生代构造样式主要受控于非旋转平直型正断层、旋转平直型正断层、铲式正断层和坡坪式正断层 4 类正断层控制的断层组合及地层变形,不同的几何形态决定了不同变形条件下的运动学差异。南堡凹陷新生代不同构造期应力场方向发生多次转变,同一条正断层两盘在不同的构造期表现为正向伸展变形、斜向伸展变形、走滑变形 3 类构造作用,从而可将全区构造样式划分为伸展构造样式和走滑构造样式两大类。伸展构造样式多分布于基底断裂系统中,主要包括:正(反)倾斜铲式扇组合、多米诺组合、地垒—地堑式组合、“Y”形组合;走滑构造样式的形成多受盖层断裂系统控制,主要包括负花状构造、复“X”形构造。从不同类型断层活动特

征及演化过程分析可知,I 类、II 类断层活动时期最长,变形最为复杂,控制着始新统的铲式扇、地垒—地堑等构造样式,在渐新统内控制着与其复合的复“Y”形构造、花状构造样式等,III 类断层主要控制新近系中的伸展型构造样式,这一系列样式受控于深层的先存 NE 向断层的张扭、走滑变形,因而会在平面形成一些列的雁列式构造样式。

2.3 盆地成因

关于南堡凹陷断裂变形机制与盆地演化众多学者做过深入的研究分析,大致可分为 3 类观点:(1)伸展型观点,周海民认为南堡凹陷属于典型的拉分伸展盆地,由北西—南东向伸展加上北西向柏各庄断层走滑形成;周天伟认为南堡凹陷新生代复杂

断裂构造是在区域南—北向伸展背景下受北东向西南桩断层和北西向柏各桩断层边界约束下的产物;童亨茂认为,南堡凹陷先后经历了始新世(Es)的北西—南东向伸展与渐新世及后期的南北向伸展复合叠加作用的控制。(2)走滑型观点,徐安娜、石振荣等认为南堡凹陷主要是受NE向断层的长期右旋走滑作用影响,导致其内部各个次级构造带断裂复杂且之间差异较大。(3)伸展与走滑复合型观点,张翠

梅认为,南堡凹陷兼有伸展盆地和走滑盆地的混合特征,属于典型的转换伸展断层终止盆地(图3)。这些学者的观点基本一致,认为南堡凹陷新生代既存在伸展构造变形也存在走滑构造变形,因此在对南堡凹陷内部断裂解释及样式组合时,不能用单一应力机制变形模式进行解释应用;同时应当从动态演化的角度对现阶段识别的构造样式、断裂组合进行解析。

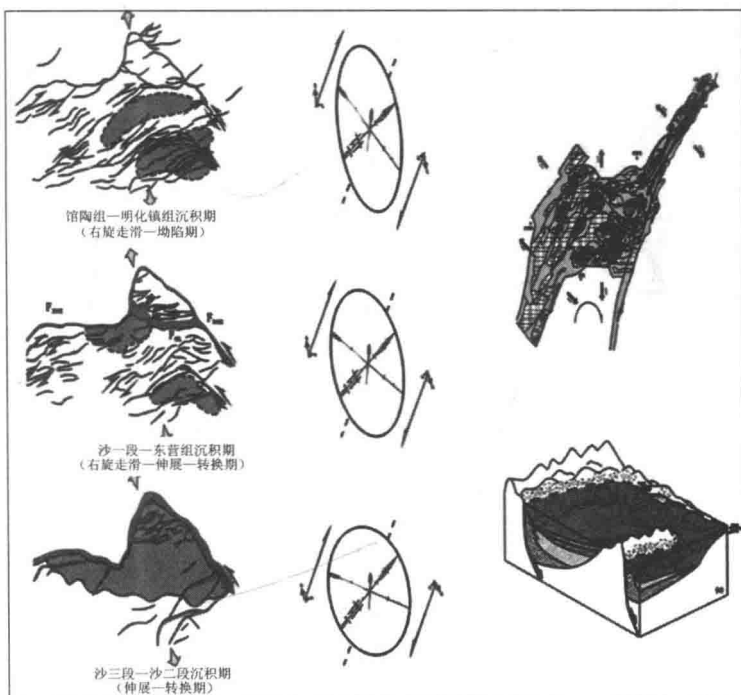


图3 南堡凹陷不同时期应力场解析图^①

3 南堡凹陷叠加构造样式

关于叠加构造变形,许多专家学者对其构造特征、演化过程以及变形机制进行过大量的研究。虽然研究成果众多,但多是从“叠合盆地”宏观的角度对盆地的演化、动力学机制乃至构造变形对沉积和成藏的控制进行论述和分析。叠加构造变形指沉积地层及其相关断层在多期构造运动结果的叠加,这种叠加并不是单纯在各种单一应力机制下造成的构造样式空间上的叠置,而是还包括前期构造样式对后期构造变形样式的控制影响和后期构造变形对前期构造样式的改造。

3.1 叠加构造样式判定

构造样式是盆地多期变形演化的综合体现形

式,因此应当从多期次、多成因的角度去分解研究。叠加构造变形虽然复杂,但依旧是沉积地层在构造应力的作用下引起变形或形成断层的地质现象。构造样式指在同一期构造变形场中形成的断层和地层变形的形态组合方式,是研究构造变形的主要研究对象。因此,对叠加构造的分析可以从剖面上的断层及其地层变形样式为着眼点,以演化过程为串联线,用三维空间展布来对各构造要素加以印证。

具体的判别方法包括以下4个方面:(1)断层的性质及其两侧地层厚度变化,如正伸展断层,后期是否具有走滑的性质,是否发生反转;断层上盘地层厚度同下盘相比是持续增厚还是缺失减薄。(2)不整合面的接触关系,各组(段)地层的分布范围,地层间

① 《南堡凹陷构造—古地貌特征及演化分析》研究报告。