

文章编号: 1001-1986(2006)03-0020-04

# 沾化凹陷东北部中 新生代盆地演化过程研究

李 伟, 吴智平, 周瑶琪, 郑德顺, 侯旭波

(中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东 东营 257061)

**摘要:** 依据层长守恒原则对沾化凹陷东北部北东和北西向, 各 3 条连井地震剖面进行了平衡剖面恢复, 并分析了各剖面在地质历史时期内伸展率的变化特征, 以了解该地区中、新生代盆地发育演化特征。沾化凹陷东北部中、新生代盆地演化可以划分为如下几个主要阶段: 早—中三叠世为大型内陆拗陷发育阶段, 地层横向沉积稳定; 晚三叠世本区整体挤压抬升剥蚀, 并开始发育北西向逆冲断层; 早—中侏罗世为对前期地势高差起伏填平补齐的均夷化过程, 地层沉积具充填—披覆式特征; 晚侏罗世—白垩纪原北西向逆冲断层负向反转, 转为张性伸展, 本区进入断陷盆地发育阶段, 局部发育有挤压逆冲构造; 古近纪本区仍为断陷盆地发育阶段, 除北西向断层继承性活动外, 大量北东(东)向正断层开始活动; 新近纪本区进入区域性拗陷沉降阶段。

**关键词:** 盆地演化; 平衡剖面; 伸展率; 沾化凹陷

**中图分类号:** P534.6; P539.1 **文献标识码:** A

## Evolutionary analysis of Mesozoic and Cenozoic basins in northeastern Zhanhua sag

LI Wei, WU Zhi-ping, ZHOU Yao-qi, ZHENG De-shun, HOU Xu-bo

(Institute of Geo-resource and Information, China University of Petroleum (East China), Dongying 257061, China)

**Abstract:** To find out the evolutionary characteristics of Mesozoic and Cenozoic basins in northeastern Zhanhua sag, the balancing cross sections of three NW-trending and three NE-trending connecting-well seismic sections were reconstructed, according to the principle that stratum length is conservative. And the variation of extensional proportion in geological periods of each section was analyzed. The basin evolution stages from Mesozoic to Cenozoic in the northeastern Zhanhua sag can be divided into some stages, including the period of early to middle Triassic, a large inland depression developed; in late Triassic the study area was uplifted wholly and denuded, and NW-trending thrusting faults began to develop; during early to middle Jurassic there was a 'filling-up' process on the undulate topography formed in advance; in the period of Jurassic to Cretaceous former NW-trending faults inversed negatively and transferred to extend, the stage of rift basin began, meanwhile in some areas, stretching and thrusting structures grew; the rift basin continued developing during Paleogene, the NW-trending faults went successive action, and many NE (E)-trending faults also began acting during this stage; in Neogene the study area began to regional subsidence as a depression.

**Key words:** basin evolution; balanced cross section; extensional proportion; Zhanhua sag

## 1 引言

沾化凹陷位于我国东部重要的含油气盆地——济阳拗陷的东北部, 其西北以义和庄、埕东凸起与车镇凹陷相隔, 南与陈家庄凸起相接, 东南以垦东凸起为界。断裂是沾化凹陷内最主要的构造变动形式, 具有北西、北东和北东东 3 个优势方向, 平面上表现为“网格化”的特征(图 1)。晚古生代石炭—二叠纪含煤地层是本区主要的气源层<sup>[1]</sup>, 尤其是在渤 93、义 155 井区已发现了具有一定规模的煤型气藏。中生代以来本区经历了复杂的构造运动, 造成了本区含煤地层的分布、厚度不均, 给煤型气勘探带来了一定困难。针对这种情况, 本文选取了穿过沾化凹陷

东北部的 6 条反射特征清晰的连井地震剖面, 对其进行了平衡剖面分析, 并研究了不同地质时期内伸展率的变化特征, 以了解中、新生代以来该地区盆地发育演化规律, 这对于本区煤型气的勘探具有一定的指导意义。

## 2 沾化凹陷东北部平衡剖面及伸展率分析

### 2.1 平衡剖面分析的原理和方法

平衡剖面的思想孕育于 20 世纪初已发展起来的其他构造分析技术中, 根据地壳变形的规律和物质守恒定律, 可以导出一系列平衡剖面恢复的几何法则, 如体积守恒、面积守恒、层长守恒<sup>[2-3]</sup>。对不同的构造环境, 上述几何法则的适用性不同, 且其应

收稿日期: 2005 10 11

基金项目: 国家自然科学基金项目(40102008)资助

作者简介: 李 伟(1978—), 男, 山东德州人, 中国石油大学(华东)博士研究生, 从事盆地分析及地层学方面的研究。

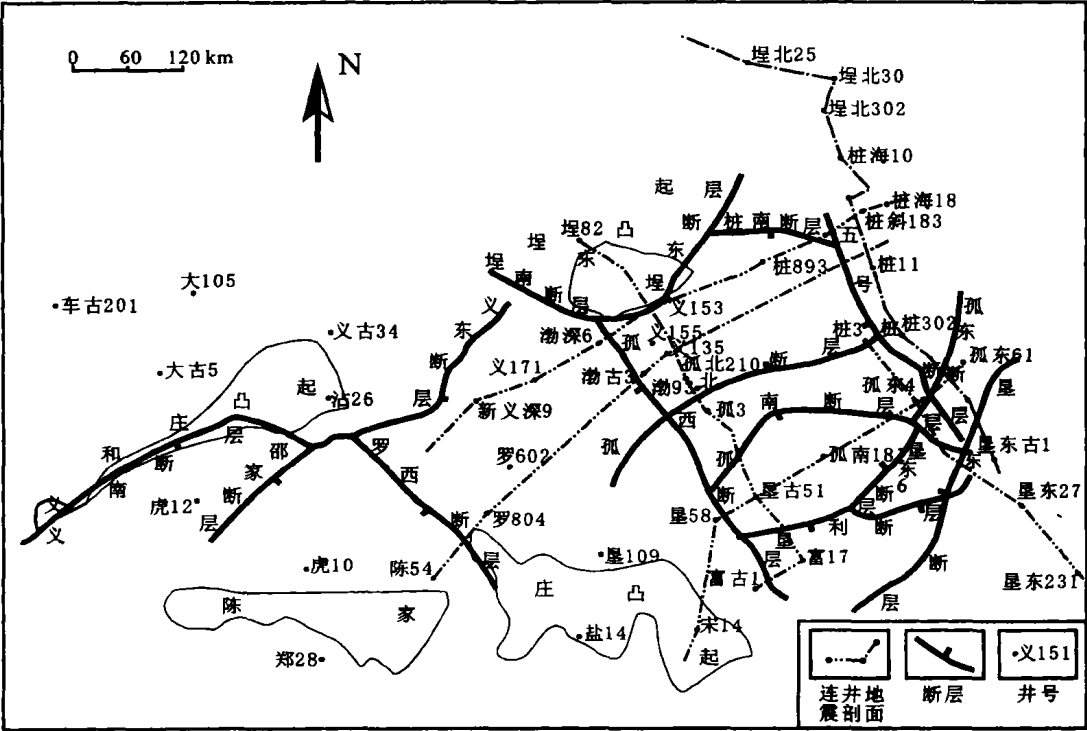


图1 沾化凹陷主要断裂及连井地震剖面位置图  
Fig.1 Distribution of main faults and connecting-well seismic sections in Zhanhua sag

用都有一定的前提条件。体积守恒的前提是变形体在变形过程中的体积没有变化,发生变化的仅仅是形状,在近地表低温低压的环境下,对于已固结的岩石或变质的岩石而言,体积守恒的条件都能满足。面积守恒只考虑在平行于构造运动方向上的应变,假定在走向方向岩石没有变形(同时满足体积守恒的条件)。层长守恒又是在面积守恒的条件下假定地层厚度不变的条件下的守恒。除了上述几何法则上的平衡外,在剖面平衡的过程中还应遵循地质概念上的“平衡”,即在几何操作过程中以及最终的复原剖面上,各种要素的关系应该符合现代地质学中的一些基本原理和基本逻辑<sup>[4]</sup>。

2.2 沾化凹陷东北部平衡剖面分析

平衡剖面恢复要求剖面线平行于构造运动方向,即垂直于构造带的走向<sup>[5]</sup>。研究表明,本区中生代控盆断层走向为北西(西)向,新生代为北东(东)向<sup>[6-7]</sup>。因此,在本文研究过程中,分别选取了北东向和北西向各3条连井地震剖面进行了平衡剖面恢复,剖面位置见图1。其中北东向剖面垂直于中生代控盆断层,能够反映中生代控盆断层活动对盆地演化的控制作用;北西向剖面垂直于新生代控盆断层,能够反映新生代断层活动对新生代盆地演化过程的控制,和对前第三纪盆地的改造。在恢复时遵循了层长守恒原则,没有考虑地层的压实。

通过对各剖面的平衡剖面恢复,可以得到如下

- 信息:
- a. 晚古生代至早一中三叠世:北东向和北西向剖面发育特征基本类似,地层横向沉积稳定。
  - b. 晚三叠世:本区普遍抬升遭受剥蚀,早一中三叠世地层被剥蚀殆尽,并剥蚀掉了部分古生代地层。此外,该时期北东和北西向剖面的发育开始出现差异性,北东向剖面上发育北西向的逆冲断层,而北西向剖面上仅表现为地层的剥蚀和剖面长度的轻微缩短,无明显构造变形。
  - c. 早一中侏罗世:北东和北西向剖面均表现为对晚三叠世构造格局的继承性,构造活动微弱,地层沉积具有充填—披覆式特征。
  - d. 晚侏罗世—白垩纪:北东向剖面上反映北西向断层发生了由逆到正的构造负反转,转为张性伸展,扬起端的早一中侏罗世及部分古生代地层遭受剥蚀;北西向剖面上根据切割位置的不同表现不同:在靠近北西向断层的下盘一侧,早一中侏罗世地层普遍遭受一定程度的剥蚀;在靠近上盘一侧,早一中侏罗世地层无剥蚀或剥蚀程度很小。此外,在两个方向的剖面上均发育有规模不大的逆冲断层,表明了局部挤压作用的存在。
  - e. 古近纪:除原中生代北西向断层继承性活动外 大量其他方向的正断层开始活动
  - f. 新近纪—第四纪:多数断层活动性减弱或停止活动,地层沉积具披覆式特征。

表 1 沾化凹陷东北部连井地震剖面各地质时期的伸展量/伸展率计算结果

Table 1 Extension and extensional proportion in each geological period of connecting—well seismic sections in northeastern Zhanhua sag								
地质 时代	北东向				北西向			
	(伸展量/km)/(伸展率/%)			平均伸展率	(伸展量/km)/(伸展率/%)			平均伸展率
	宋 14—垦古 51—孤东 61	罗 804—渤古 3—义 135	新义深 9—义 153—桩海 18		埕 82—孤 3— 富 17	孤东 4—垦东 27—垦东 231	埕北 30—桩 302—垦东古 1	
N+Q	0.33/1.32	0.33/1.12	0.48/1.71	1.38	0.2/0.84	0.31/1.56	0.46/1.09	1.17
Ed+E <sub>s1</sub>	0.13/0.52	0.04/0.14	0.02/0.07	0.24	0.9/3.91	0.23/1.17	0.83/2.00	2.38
E <sub>s2</sub> +E <sub>s3</sub>	0.45/1.85	0.24/0.82	0.11/0.39	2.51	0.9/4.07	0.24/1.23	1.03/2.54	2.59
E <sub>s4</sub> +Ek	0.29/1.20	4.16/16.62	3.52/14.43	9.12	0.3/1.38	0.03/0.15	0.3/0.75	0.75
J <sub>3</sub> +K	1.76/7.88	3.54/16.47	1.99/8.88	11.08	−0.09/−0.41	0.54/2.86	0.77/1.96	1.47
J <sub>1+2</sub>		−0.06/−0.27	−0.07/−0.32	−0.1/−0.44	−0.26			−0.09
T <sub>3</sub>	−0.79/−3.42	−0.78/−3.49	−0.24/−1.05	−2.65	−0.12/−0.54	−0.06/−0.3	−0.14/−0.35	−0.41
T <sub>1+2</sub>	0/0	0/0	0/0	0	0/0	0/0	0/0	0

2.3 伸展率分析

在平衡剖面恢复的基础上,本文对各地质时期剖面的长度进行了统计,进而计算了各剖面在不同地质时期的伸展量和伸展率(表 1),分析了伸展率随时间的变化规律(图 2、图 3)。

北东向连井剖面伸展率随时间变化的曲线表明:

- a. 早—中三叠世伸展率为零,在 NE—SW 方向不存在挤压和拉张;
- b. 晚三叠世伸展率为负值,盆地受 NE—SW 向的挤压;
- c. 早—中侏罗世伸展率为轻微负值,构造运动趋于相对稳定;
- d. 晚侏罗世—白垩纪伸展率明显增大,盆地在 NE—SW 向受到强烈的拉张;
- e. 孔店—沙四期除宋 14—垦古 51—孤东 61 剖面外,其余两条剖面伸展率持续增大,盆地在 NE—SW 向受到较强烈的拉张;
- f. 沙三—东营期伸展率持续降低,NE—SW 向拉张强度减弱;

g. 新近纪—第四纪伸展率普遍降低,盆地演化趋于稳定。

北西向连井剖面伸展率随时间变化的曲线表明:

- a. 早—中三叠世伸展率为零,在 NW—SE 方向不存在挤压和拉张;
- b. 晚三叠世、早—中侏罗世伸展率均为轻微的负值,表明当时除 NE—SW 向的挤压外,也存在 NW—SE 向的轻微挤压;
- c. 晚侏罗世—白垩纪埕 82—孤 3—富 17 井伸展率为轻微的负值,其余两条剖面均为正值,表明 NW—SE 向拉张的存在;
- d. 孔店—沙四期伸展率相对较低,进入沙二—沙三期伸展率明显增大,沙一—东营期伸展率轻

微降低,反映了 NW—SE 向拉张由弱→强→弱的变化;

e. 新近纪—第四纪伸展率普遍降低,盆地演化趋于稳定。

3 沾化凹陷东北部中 新生代盆地演化过程

合理的平衡剖面恢复及伸展率随时间变化的分析结果,对盆地演化过程有着重要的指示作用。从上述分析可以看出,古生代本区处于华北大型克拉通发育背景之下,地壳运动以水平升降为主<sup>[8]</sup>,构造

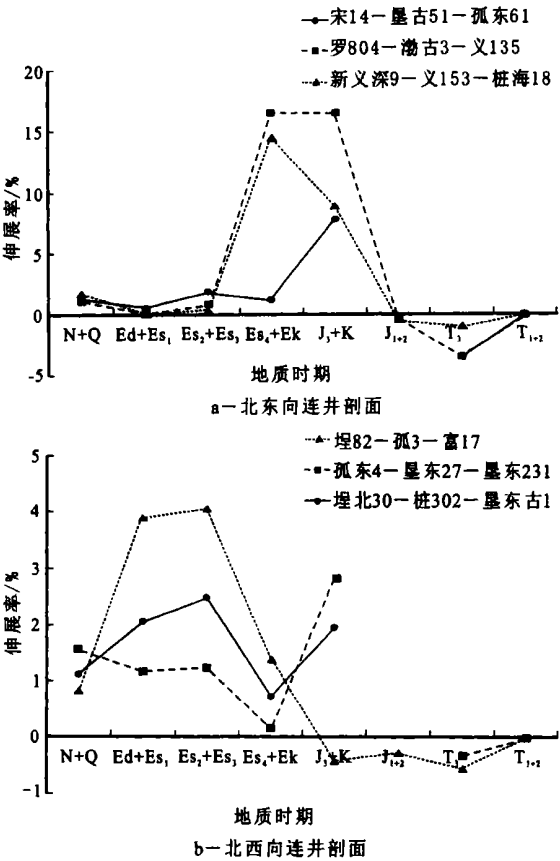


图 2 沾化凹陷东北部各剖面伸展率随时间的变化曲线  
Fig.2 Curves showing the variation of extensional proportion with geological period of each sections in northeastern Zhanhua sag

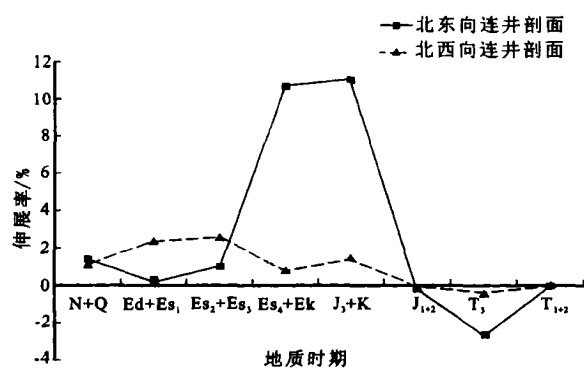


图3 沾化凹陷东北部北东、北西向剖面平均伸展率随时间的变化曲线

Fig. 3 Curves showing the variation of the average extensional proportion with geological period of NE and NW-trending sections in northeastern Zhanhua sag

活动微弱。中、新生代以来, 本区结束了稳定内陆发育阶段, 代之以复杂的构造活化阶段。

**a. 早—中三叠世** 两个方向的剖面发育特征相同, 且各剖面伸展率普遍为零, 表明该时期本区继承了C—P的盆地演化背景, 为稳定大型内陆拗陷发育阶段, 地层原始厚度在1 500~2 000 m之间。

**b. 晚三叠世** 是印支运动的主要活动期, 扬子板块与华北板块发生了挤压拼接, 同时华北北缘早在晚古生代就已经形成了固定的受限边界, 从而使得华北东部整体挤压抬升遭受剥蚀, 并受扬子板块与华北板块的聚敛边界——北西(西)向的秦岭—大别构造带的限制, 本区早—中三叠世地层被剥蚀殆尽, 并剥蚀掉了部分古生代地层, 开始发育北西向的逆冲断层和褶皱。

**c. 早—中侏罗世** 该时期北西向断层活动性减弱, 本区处于构造演化过程中的“宁静期”。

**d. 晚侏罗世—白垩纪** 该时期由于西太平洋区伊泽奈崎板块沿北北西向对中国大陆的俯冲消减<sup>[9-10]</sup>, 上地幔发生对流调整, 岩石圈拉伸减薄, 地壳断裂, 华北东部整体处于垂向挤压、水平拉伸的应力场背景之下。板块俯冲的另一重要效应在于造成了郯庐断裂带的大规模左旋走滑平移<sup>[9,11]</sup>, 从而使得地壳浅部水平拉伸的方向受到限制, 由于拉应力分量的方向为NE—SW向, 加之先期形成的北西向逆冲断裂带相对薄弱, 因而发生构造负反转, 转为张性伸展, 本区进入断陷盆地发育阶段。

此外, 在走滑应力场条件下, 除张性断裂外还可以产生局部的收缩变形, 如延伸距离较短的褶皱及逆断层组, 因此该时期局部地区还发育有中生界内幕逆推断层。

**e. 孔店—沙四期** 该时期由于太平洋板块俯

冲方向由北北西向北西西向的转变<sup>[12]</sup>以及印度板块与亚洲大陆的碰撞<sup>[13]</sup>, 郯庐断裂带由左旋走滑转为右旋走滑, 相应的拉应力分量的方向由NE—SW向转为NW—SE向, 在这种构造应力场条件下, 本区处于中、新生代盆地发育的过渡时期, 既有北西向正断层, 又发育有北东(东)向正断层, 以北西向正断层继承性活动占主导。

**f. 沙三—东营期** 从沙三—沙二期到沙一—东营期仍然存在两个方向的拉张, 但北西向剖面伸展率相对较高, 说明盆地主要拉张方向已转为NW—SE向, 主要受北东(东)向正断层控制, 北西向断层逐渐消亡。

**g. 新近纪—第四纪** 本区进入区域性拗陷沉降阶段, 断层活动性普遍降低, 逐渐消亡。

## 4 结论

选取垂直于主要构造带走向的, 反射特征清晰的地震剖面进行平衡剖面恢复, 并分析不同地质时期内伸展率的变化特征, 是盆地演化过程研究的有利工具。沾化凹陷东北部中、新生代盆地演化可以划分为早—中三叠世、晚三叠世、早—中侏罗世、晚侏罗世—白垩纪、孔店—沙四期、沙三—东营期、新近纪—第四纪7个主要的阶段, 每个阶段的盆地演化特征及构造应力场特征存在着一定的差异性, 对晚古生代石炭—二叠纪含煤地层的改造具有叠加效应。

## 参考文献

- [1] 李增学, 曹忠祥, 王明镇, 等. 济阳拗陷石炭—二叠系埋藏条件及煤型气源岩分布特征[J]. 煤田地质与勘探, 2004, 32(4): 4—6.
- [2] Dahlstrom C D A. Balanced cross sections [J]. Canadian Journal of Earth Science. 1969, 6: 743—757.
- [3] 陈伟, 卢华复, 施央申. 平衡剖面计算机模拟及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1993, 62—78.
- [4] 漆家福, 杨桥, 王子煜, 等. 关于编制盆地构造演化剖面的几个问题的讨论[J]. 地质论评, 2001, 47(4): 388—392.
- [5] 宋来亮, 李鸿文, 黄永玲, 等. 平衡剖面技术在伊朗Kashan地区的应用[J]. 油气地质与采收率, 2003, 10(增刊): 3—5.
- [6] 吴智平, 李伟, 任拥军, 等. 济阳拗陷中生代盆地演化及其与新生代盆地叠合关系探讨[J]. 地质学报, 2003, 77(2): 281—286.
- [7] 李伟, 吴智平, 周瑞琪. 济阳拗陷中生代地层剥蚀厚度、原始厚度恢复及原型盆地研究[J]. 地质论评, 2005, 51(5): 507—515.
- [8] 马宝军, 漆家福, 王永诗, 等. 车镇凹陷车古201潜山形成过程的构造物理模拟[J]. 煤田地质与勘探, 2005, 33(3): 1—4.
- [9] 徐嘉炜, 马国锋. 郯庐断裂带研究的十年回顾[J]. 地质论评, 1992, 18(4): 316—324.
- [10] 陈发景, 汪新文. 中国中、新生代含油气盆地成因类型、构造体系及地球动力学模式[J]. 现代地质, 1997, 11(4): 409—424.
- [11] 朱光, 王道轩, 刘国生, 等. 郯庐断裂带的伸展活动及其动力学背景[J]. 地质科学, 2001, 36(3): 269—278.
- [12] 李鹏举, 卢华复, 施央申. 渤海湾盆地东濮凹陷的形成及断裂构造研究[J]. 南京大学学报, 1995, 31(1): 128—139.
- [13] 任建业, 李思田. 西太平洋边缘海盆地的扩张过程和动力学背景[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 203—213.