文章编号:1007- 1229(2010)03- 0013- 06

黄骅坳陷白水头断裂系统生长模式及其成因分析

何 书[1,2],杨 桥[2],朱 忠[1],吴开兴[1]
(1. 江西理工大学资源与环境工程学院,江西 赣州 341000;2.中国石油大学石油天然气成藏机理教育部重点实验室,北京 102249)

摘 要:在系统分析白水头断裂系统的断层组合、构造样式、主干断层及次级断层生长模式的基础之上,结合区域构造背景、伸展边界条件及断层间的相互作用,探讨了该断裂系统的形成机制. 分析结果表明,区域构造背景下存在的伸展边界控制了整个白水头断裂系统总的构造格局. 进一步证实了区内右旋走滑作用与伸展作用的相互耦合,致使次级断层沿走滑构造带出现转向或中断. 断裂系统及系统内部断层间的运动学关系表明白水头断裂系统在古近纪是受两个构造动力控制,其一是地幔热作用引起岩石圈北西 - 南东向引张作用,其二是北北东向深断裂带的右旋剪切作用.

关键词:黄骅坳陷;断层系统;断层位移;白水头断层;成因分析
中图分类号:P571 文献标识码:A

The Research of Growth Model and Genetic Analysis of Baishuitou Fault System in Huanghua Depression

HE Shu[1,2], YANG Qiao[2], ZHU Zhong[1], WU Kai–Xing[1]
(1.Faculty of Resource and Environmental Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China;
2. Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation Mechanism, Ministry of Education, University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: The formation mechanism of this fault system is discussed through analyzing the fault group, structure mode, structure background, boundary direction, the interaction of faults, and fault displacement mode of major faults. This analysis shows that the total structure of the fault system is controlled by the extended boundary. It is further proved that the change of the direction or the sudden breaking of those subfaults along the strike- slip tectonics is caused by the coupling of the extended tectonics and the strike- slip tectonics system. The kinematics relation between major fault and subfaults in the fault system shows that Baishuitou fault system is controlled by two structure stress. One of the stress is lithosphere NW- SE extended action caused by mantle heat action and the other is right- lateral cut action caused by the deep fault zones.

Key words: Huanghua depression; fault system; fault displacement; Baishuitou fault; tectonic analysis

0 引 言

在油气聚集区,断层对油气的运聚起着控制作用. 白水头油区是大港油田滩海的后备战场之一,对该地区断裂系统作深入的研究有着重大的现实意义.

白水头断裂系统位于黄骅坳陷中区的中部. 其所在地区于始新世开始接受沉积,最早沉积的是始新世的沙三段地层($E_{2-3}s$),以深陷湖盆相、浊积相沉积为主,代表着该区伸展断裂活动的开始(见表 1). 在渐新世依次沉积有沙二段($E_{2-3}s$)、沙一段($E_{2-3}s$)、东营组地层(E_3d),在新近纪沉积有馆陶组

收稿日期:2009- 08- 23
作者简介:何 书(1978-),男,博士研究生,讲师.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(N_1g)、明化镇组(N_2m)地层，多以河湖相沉积为主. 该区伸展断裂活动一直延续至渐新世末期，到新近纪活动变得非常微弱. 鉴于黄骅坳陷构造的复杂性，黄骅坳陷新生代断裂系统的形成机制长期以来众说纷纭，尚未形成统一意见. 前人主要着眼于整个黄骅坳陷，乃至坳陷所在的构造区域(如渤海湾盆地)，分别从构造活动期次[1]、伸展构造边界的控制[2]、伸展构造活动. 与走滑构造活动的共同作用[3-6]等方面进行了深入的研究. 本研究在前人研究的基础上，以相对局部的、具有代表性的黄骅坳陷中区白水头断裂系统为研究对象，结合该断裂系统几何学和运动学两个方面的特征，着重对断裂系统的生长模式与黄骅坳陷伸展模式的关系进行了深入探讨，论证了该断裂系统的形成原因.

1 白水头断裂系统的几何学特征

文中的断裂系统指由一条或多条基底断层控制的、走向相近的，在发育过程中相互影响的断层组合. 白水头断裂系统是黄骅坳陷中区一个沿海岸线分布的新生代断裂系统，位于边界断层沧东断层上盘的中部(见图 1、图 2)，在西南与北大港断层系统相背而邻，在东北则与白东断层系统相接. 主干断层白水头断层主体部分走向北北东，倾向南东东，在北部与两条北东东向次级断层相接. 白水头断层上盘还发育了一系列北东东向派生断层. 次级断层走向与白水头断层走向不一致，平面上次级断层截止于白水头断层，在深部部分次级断层截止于

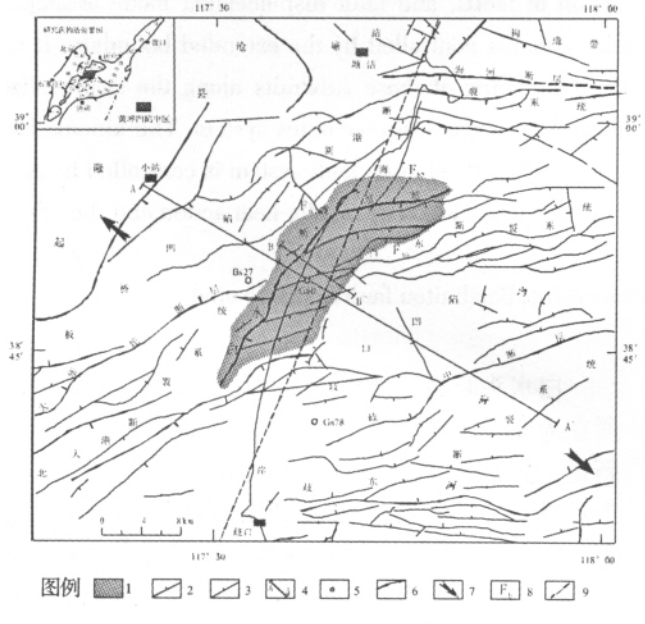


图 1 黄骅坳陷中区断裂系统分区图

1.研究区；2.二级断层；3.三、四级断层；4.剖面位置；5.钻井；6.盆地边界；7.盆地伸展方向；8.白水头断层；9.基底走滑断裂

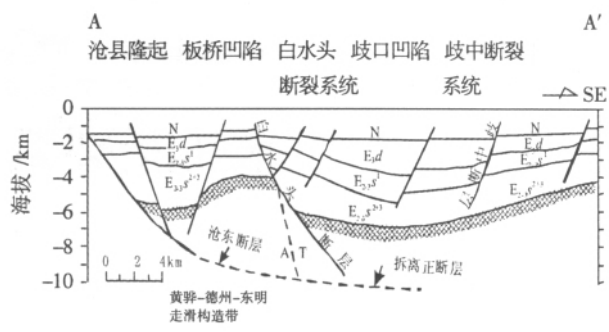


图 2 横穿白水头断层系统的构造剖面图

白水头断层上盘. 在剖面上，该断裂系统构成一个由主干断层控制的“Y”型断层组合(见图 3)[5].

白水头断裂系统的几何学特征表明，它与黄骅坳陷中区海岸线两侧的断裂系统有着密切的关系. 对该断裂系统的研究有利于对整个黄骅坳陷中区新生代断裂系统的形成机制的认识.

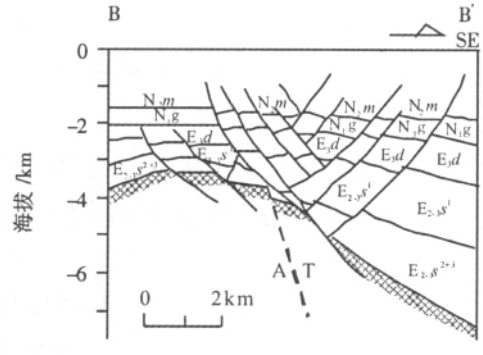


图 3 横穿白水头断裂系统的地震剖面解释图

2 白水头断裂系统的运动学特征

2.1 黄骅坳陷中区构造演化阶段概述

黄骅坳陷中区的构造演化经历了始新世晚期及渐新世的裂陷阶段与新近纪的后裂陷阶段，其中裂陷阶段又分为三个裂陷期. 始新世晚期是裂陷的第一个阶段，断陷作用十分强烈，在沧东断层的上盘开始发育一系列近北东向地堑和半地堑，断层控制着沉积作用，沉积地层为以深陷湖盆相、浊积相沉积为主的沙三段地层($E_{2-3}s^3$)；渐新世早期，基底伸展断层(主干断层)继承性活动，同时形成大量盖层断层，且深断裂走滑作用导致盆地盖层形成走滑断裂系统，沉积地层为湖盆相和三角洲相为主的沙二段($E_{2-3}s^2$)、沙一段地层($E_{2-3}s^1$)；至渐新世晚期，该区伸展断裂活动开始减弱，走滑断裂系统相应增强，伸展应变分散在边界断层和盖层断层内部上，并由断陷向坳陷转化，沉积河湖沼泽相、浅湖相、三角洲相的东营组地层(E_3d)，在渐新世末期该区经历了短暂的区域沉降；进入新近纪后，发生区域性整体沉降，伸展断裂系统活动基本停止，走滑断裂系

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

统仍在继续活动,沉积地层为冲积平原相及河湖沼泽相为主的馆陶组(N_1g)、明化镇组(N_2m)地层.

2.2　主干断层与分叉断层的位移特征

位移-距离剖面用来描述断层的位移早已被证明是十分有用的[7]. 一些学者最初企图用r/d_{max}(其中 r 为断层端部与最大位移处的距离,d_{max} 为断层的最大位移)比率模型来解释断层的生长[8-9]. 事实证明,该模型在解释单一断层在相对简单构造应力作用下是十分有效的. 自然界中断层的形成实际上十分复杂,该模型过于理想化而在实际应用中遇到困难. Peacock&Sanderson 等人研究发现,位移-距离剖面中最大位移可能不只一个,极值点则可能更多,该剖面实际上反映了断层间的相互连接特征,即每一个极值点代表了断层生长过程中的一次连接[10].

本研究在收集最新的勘探资料后,分别绘制出白水头断层主干方向(F_{b1})及两个包括了主要分叉方向(见图 1,F_{b2}、F_{b3})的新生代各主要沉积时期断层位移-距离剖面图(如图 4). 数据则主要来源于对研究区大量地震剖面的构造解释及各沉积地层的构造等高线图.

位移剖面图与理想的单一断层位移分布图有着巨大差别. 这种复杂性体现了白水头断层系统在新生代发育过程中所受构造应力作用的复杂性. 总体上,这三个位移-距离剖面在各沉积时期的位移曲线形态十分相似.

在 F_{b1} 方向,沙一段沉积时期位移共出现了 4 个极大值点和 4 个极小值点,其中一个极大值点为最大值. 最大值位移的存在,表明整个断层的生长核仍是存在的. 极值点并非一定代表着断层的连接,这与该时期整个白水头断层系统的发育有关. 图 2 的 A-A′ 剖面表明,在沙一段沉积时期白水头断层上盘发育了一系列 NEE 向派生断层. 派生断层在被断层主干部分相截的部位,主干断层在该部位的位移将得到加强. 由于相邻派生断层倾向相反,将会在派生断层之间形成一个与主干断层倾向相同的斜坡(见图 5),于是位移-距离剖面上就对应着一段相对较小的位移值. 该斜坡与两条相背的派生断层形成一个地垒,这种地垒可看成是一种正断层背向叠覆的传递类型[11],起到断层间过渡的作用. 在东营组沉积期,没有出现最大位移值,而是出现了 4 个相差甚微的极大值点和 3 个极小值点. 由于派生断层的继续影响,主干断层实际上表现出分段发育的特点. 到了馆陶组和明化镇组沉积时期,整个断裂带的活动都迅速减弱,各处位移已十分接近.

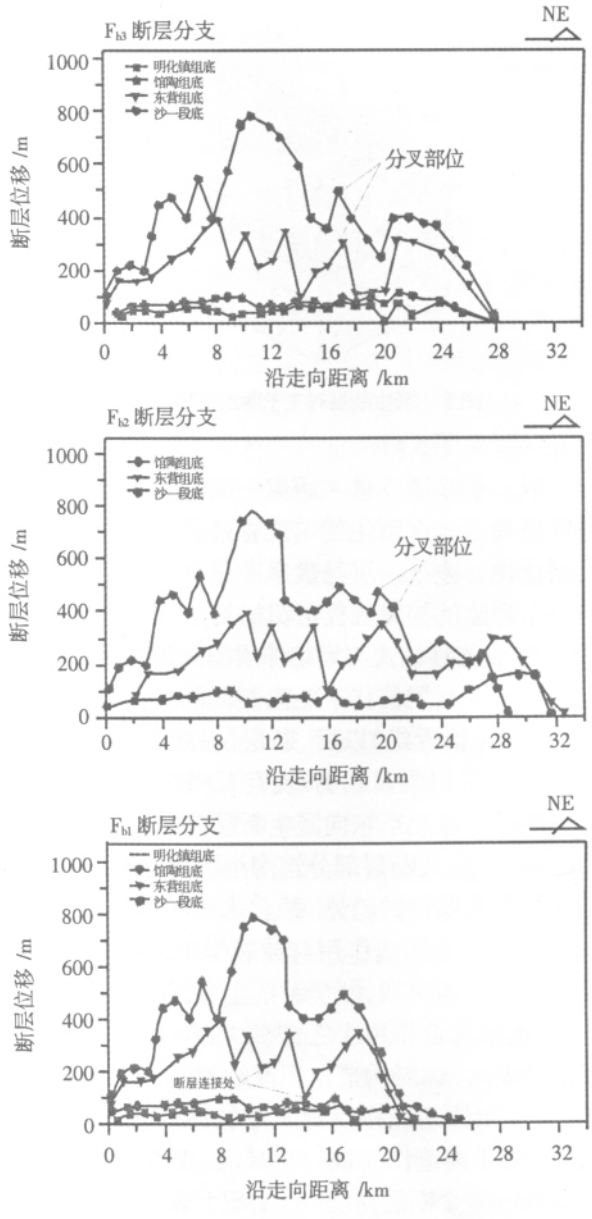


图 4　白水头断层位移–距离剖面图

由于 F_{b2}、F_{b3} 方向在主体部分的位移-距离剖面形态一致,在此不再赘述. 分叉部分与主干部分相接处断层位移在沙一段沉积时期和东营组沉积时期都得到了较大的增强,而分叉部分在这两个时期各自表现出分段性. 由此可见,即便分叉部分也不是单一的断层发育而来,而是在发育过程中存在断层间的连接问题.

Peacock[12]专门研究了两条断层在连接过程中重叠部分的断裂情况,指出了在同沉积断层系统中,研究断层间相互影响、连接的重要性[9]. 白水头断层系统中所有断层都是同沉积正断层,所以在任何一条断层上盘发育的分叉断层或是派生断层都会对断层位移不同部位产生增强或相对减弱的影响(见图 4). 可见,断层沿走向位置的位移变化图,反映了派生断层联接的运动学特征及其传递带(斜

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

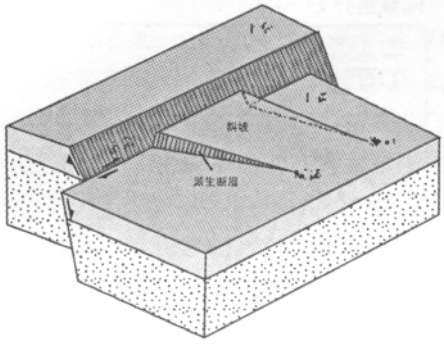


图 5 派生断层对主干断层位移的影响

坡) 形成 (见图 5) [11].

以上的断层位移 - 距离剖面特征表明,白水头地区断裂系统在新生代的发育过程中,主干断层起控制作用, 主干断层与次级断层持续相互影响,这与整个坳陷的伸展过程密切相关.

2.3 断层位移模式与坳陷伸展模式的关系

白水头断层位移 - 距离剖面图表明,在馆陶组沉积时期 (新近纪) 以后,断层位移明显减小,说明伸展构造作用明显减弱. 现有资料表明,新近纪白水头断层上盘北东东向派生断层仍在活动. 图 4 表明, 在 F_{b2} 分叉断层部分馆陶组沉积时期的断层位移在东部有增加的趋势. 故白水头断层系统所在裂陷盆地的走滑构造作用与伸展作用并不完全同步. 在沙一段沉积时期,断层系统主要以伸展构造作用为主,走滑构造作用次之 ;大致在东营沉积时期 (渐新世晚期) , 伸展构造作用开始减弱, 但仍有所活动,而走滑构造作用得到了增加 ;馆陶组沉积时期以后,伸展构造作用进一步减弱,走滑构造作用则继续影响整个断层系统. 这实质上表明两种构造作用是相互消长的.

根据盆地的伸展模式,经简化后,白水头地区所受构造作用及其方向如图 6. 据白水头地区断层系统的断层位移特点 (见图 4) ,作为主干断层的白水头断层,在前期也是分段发育的. 总是可以找到一个时间段,在这个时间段内白水头断层的主体部分还没有完全形成 (见图 6 (a)) ,各分段在断层端部出现应力集中, 有相互连接的趋势. 次级断层,即 NEE 向断层也还未连成一体,分段发育. 主体断层南部的部分地区仅有少量派生断层出现.随着伸展、走滑构造作用的持续共同作用, 断层开始连为一体,但白水头断层主体部分还没有与次级断层相接 (见图 6 (b)) . 派生断层由于受到主体部分的强烈控制,先于次级断层于主体部分相接. 持续的构造作用使断层连接处应力不断增强,白水头断层主体部分最终与次级断层相接,从而使次级断层成为白水头断层的一部分,形似“分叉” (见图 6 (c)) . 研究认为,这种生长过程在断层系统形成的初期是明显的,但并不局限于初期,而是贯穿于整个断层系统的生长过程中.每当一个新的沉积过程发生以后,断层系统都将经历一次这样的生长过程. 这一过程将伴随着伸展构造作用与走滑构造作用的相互消长而发生相应的变化,最终以断层的展布特征及断层位移表现出来. 裂陷盆地的构造作用相对于漫长的形成过程而言是“温和”的,不可能像在实验室内做拉伸试验那样,地层会迅速地发生剪切断裂.

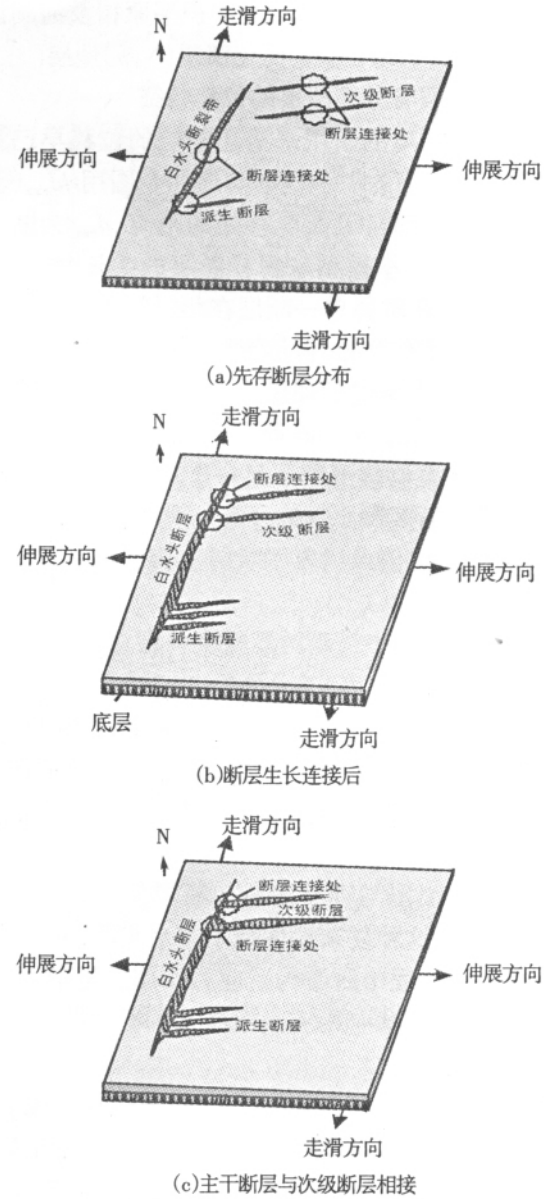


图 6 白水头断层系统生长模式图

新的沉积层在构造作用下以及前期断层的控制下,首先在一些沉积厚度相对较薄,密实度相对较小的地带发生断裂. 新的沉积层厚度实际上是受着先存断层的控制,先存断裂的部位在伸展与走滑构造应力的共同作用下,新的沉积层会优先发生断

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

裂.由于沉积层物质的不均匀性,使得新的沉积层不会严格按照前期断层断裂的地方同时断裂,而是经历一个先断裂后连接的生长过程.

3　白水头断裂系统的成因分析

3.1　区域构造背景及伸展边界条件的控制

在渤海湾地区,中、新生代以来受到燕山及喜马拉雅运动的影响,北东向及北北东向断裂构造发育. 白水头断裂系统在整个发育过程中受着近北北东向展布的边界断层 - 沧东断层所控制. 沧东断层是一条铲式 - 坡坪式正断层,大致在中地壳层位置发生拆离滑脱,且影响着上盘的伸展构造变形样式(见图 2,图 7[5]).白水头断裂系统自始新世晚期(相当于沙三段沉积时期)至渐新世末期,其伸展方向为近北西 - 南东向.

王光奇[5]对歧口周缘构造的研究表明,歧口凹陷渐新统沙一段、东营组沉积厚度由北向南逐渐增大,明显受着海河断层伸展位移的影响. 该区沉积的迁移中心在古近纪自西向东,且表现出多个局部的沉积中心. 古近系东营组、沙一段中下部的原始沉积等厚图的形态也有很大差异[13],同时,东营组、沙一段的沉积中心在位置上也不一致. 白水头断层系统位于歧口凹陷西斜坡,白水头主干断层上盘北部邻近新港断裂系统的次级断层 (前述分叉断层)走向与海河断层近于一致,向东则与白东断裂系统相接,在渐新世晚期明显受到了海河断层的影响.故白水头断裂系统同时受着西部边界断层与北部边界断层的控制和影响,其中西部边界断层控制了该断裂系统主干断层的构造形态,北部边界断层则在一定程度上影响着次级断层的构造样式与展布特征.

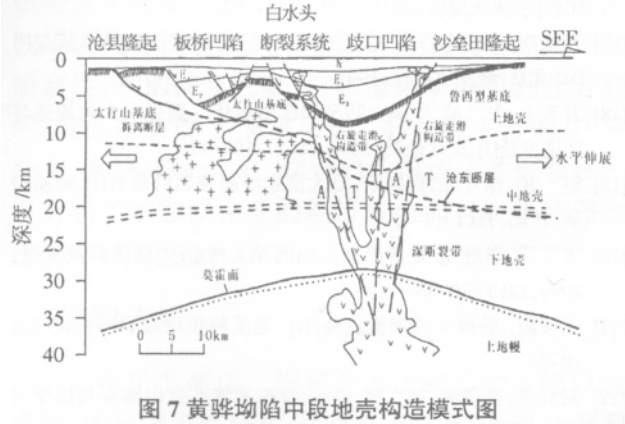


图 7 黄骅坳陷中段地壳构造模式图

3.2　两种构造系统的耦合

研究区走滑构造系统与伸展构造系统的形成与大地构造背景有着密切的关系.盆地形成早期的基底断裂,包括这些走滑断裂都给来自上地幔的岩浆提供了通道,同时也为盆地的发育与发展提供了动力来源(见图 7). 前人研究表明,黄骅坳陷主要是在地幔热作用引起岩石圈北西—南东向引张作用形成的[4,7]. 黄骅坳陷中区断裂系统的形成演化是这两种构造系统共同作用的结果. 与走滑相关的伸展盆地构造系统特征一般比较复杂[14]. 当走滑构造系统沿伸展构造系统走向方向分布的时候,往往形成十分复杂的断裂系统. 孙万军等人[15]对伊通地堑的断裂系统平面展布特征研究表明,断裂系统在平面上主要由近东西向的张性正断层和北东走向的张剪性断层组成, 反映盆地具右旋走滑的应力体制,其形成机制与白水头断裂系统有相似之处.

白水头断裂系统在始新世及渐新世早期发生强烈的伸展断裂活动,以主干断层白水头断层的活动最为明显.进入新近纪后伸展断裂活动基本停止,但在白水头断层上盘发育了大量北东东 - 近东西向盖层断层. 新近纪发育的这些盖层断层与研究区基底中的走滑断裂有着密切的关系. 在白水头断裂系统之下,存在着一条北北东向右旋走滑断裂带(见图 1 及图 2A- A′ 剖面),即黄骅 - 德州 - 东明走滑构造带,该构造带北端大致在北塘东北部,沿渤海湾海岸线到歧口,向南经孔店凸起东侧延伸到吴桥附近[7]. 北西—南东向伸展作用和近北北东向右旋走滑作用共同控制着断裂系统的生长发育. 前人在渤海湾地区北东向断陷带中多次证实了主干断裂右旋走滑特征的存在[16-18]. 具体表现在白水头断层上盘发育一系列北北东、北东向雁列式断层,并且向东这些断层走向发生变化,直至与东部断裂走向近于一致. 前人研究表明,断裂系统发生走滑活动时,走滑带内断块、断片可能发生升降[19]、旋转[20],所以走滑构造变形中表现出多局部沉积中心、窄长状相带与走滑断层平行的特点[21]. 基底走滑断裂通过一定连接方式与伸展构造系统复合,发育断裂互联网络,形成雁列断裂带[22-23].当盖层伸展断裂系统受到走滑作用的影响并且达到一定程度时,在伸展断层的上盘会派生与主干伸展断层走向近垂直的次级断层(见图 5). 在白水头断裂系统中,主干断层白水头断层上盘在新近纪发育了一系列走向与之近垂直的雁列式派生断层, 是该模式的具体体现.

白水头断裂系统在形成过程中除了主要受近北西 - 南东向的伸展作用控制外,亦受着近北北东向的走滑作用控制. 断层走向的突然转向即是基底走滑断裂的活动与盖层中伸展构造活动的不协调

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

所致. 这进一步证实了在渤海湾盆地区存在着的伸展构造与走滑构造两种构造系统在新生代断裂系统的演化过程中都有着各自的表现,两者既相互独立又相互联系. 白水头断层及其上盘北部的分叉断层位移特征表明(见图 $3F_{b2}$ 断层分支),近北东东向的分叉断层部位的断层位移在新近纪沙一段组及东营组沉积时期有明显增大的趋势,这是走滑构造系统的具体体现.

走滑作用的影响主要体现在主干断层白水头断层上盘的盖层中,故即便在走滑作用起主导作用的新近纪,盖层断层的发育亦同时受着主干断层与走滑作用的双重控制. 依据断裂系统的以上特征,笔者推测研究区断裂系统主要还是在伸展作用下形成的,走滑作用起到辅助的作用. 伸展构造系统尽管在新近纪已基本停止活动,但它在古近纪的强烈活动已决定断裂系统在白水头断层控制下的构造格局,新近纪右旋走滑作用形成的盖层断层不能脱离这个构造格局而独立存在,故在新近纪形成的盖层断层可看成是这两种构造系统的叠加. 走滑构造系统的形成来源于基底深断裂的作用,即右旋走滑作用须通过某种方式使深断裂与盖层断裂系统相联系. 近水平的基底拆离断层(沧东断层)将岩石圈发生的相对均匀的韧性伸展产生的伸展应变传递到上部岩石圈的连锁伸展断裂系统中[5]. 这种传递过程的完成依赖于断裂系统中主干断层与基底拆离的连接关系,具体以何种方式相连需作进一步深入的研究.

4 结 论

(1) 白水头断裂系统中北北东向的主干断层 - 白水头断层与其上盘北东东向的次级断层在几何学和运动学特征方面有明显差异. 其中,白水头断层主要表现为北西 - 南东向伸展构造变形;盖层断层表现为右旋走滑变形特征.

(2) 白水头断裂系统中主干断层与次级断层在运动学上相对独立而有关联,体现出以沧东断层为控制边界的伸展构造系统和以北北东向深断裂为控制边界的右旋走滑构造系统的叠加.

(3) 关于黄骅坳陷中区的白水头断裂系统的成因分析进一步论证了前人(漆家福等[4],漆家福[6],2004)关于渤海湾盆地新生代构造变形是由两个相关的构造动力系统控制的推断,即地幔热底辟构造引起岩石圈引张作用,北西—南东向区域挤压诱导板内北北东向深断裂带发生右旋剪切作用.

参考文献:

[1] 万天丰. 中国中、新生代板内变形与构造应力场[J]. 地质力学学报,1996,2(3):13-15.

[2] 周建勋,漆家福. 伸展边界方向对伸展盆地正断层走向的影响—来自平面砂箱实验的启示[J]. 地质科学,1999,34(4):491-497.

[3] 杨 桥,漆家福,陆克政. 黄骅盆地新生代构造特征[J]. 应用基础与工程科学学报,1993,1(1):80-91.

[4] 漆家福,张一伟,陆克政,等. 渤海湾新生代裂陷盆地的伸展构造及其动力学过程[J]. 石油实验地质,1995,17(4):316-323.

[5] 王光奇,漆家福. 歧口凹陷及周缘新生代构造的成因和演化[J]. 地质科学,2003,38(2):230-240.

[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):15-21.

[7] WalshJ J,Watterson J. Distributions of Cumulative Displacement and Seismic Slip on a Single Normal Fault [J]. Journal of Structural Geology,1987,(9):1039-1046.

[8] Walsh J J,Watterson J,Analysis of the Relationship Betweenthe-Displacements and Dimensions of Faults [J].Journal of Structural Geology,1988,(10):239-247.

[9] Cowie P A,Scholz C H . Physical Explanation for Displacement Length,Relationship for Faults Using a Post Yield Fracture Mechanic Model[J]. Journal of Structural Geology ,1992,(14):1133-1148.

[10] Peacock D C P,Sanderson D J Displacements Segment Linkage and Really Ramps in Normal Fault Zones [J]. Journal of Structural Geology, 1991,(13):721-733.

[11] 陈昭年,陈发景,王 琦. 正断层软联接及其传递带类型[J]. 现代地质,2005,19(4):495-499.

[12] Peacock D C P E A Parfitt. Active Relay Ramps and Normal Fault Propagation on Kilauea Volcano,Hawaii [J]. Journal of Structural Geology,2002,(24):729-742.

[13] 樊敬亮,漆家福,高爱华. 黄骅盆地海岸线两侧构造线不连续之成因分析[J]. 中国矿业大学学报,2004,33(3):287-291.

[14] 王纪祥,陈发景,李趁义. 山东东惠民凹陷伸展构造与调节带的特征[J]. 现代地质,2003,17(2):203-209.

[15] 孙万军,刘宝柱,李本才,等. 伊通地堑断层系统与构造样式[J]. 现代地质,2004,18(4):505-510.

[16] 万天丰,王明明,殷秀兰,等. 渤海湾地区不同方向断裂带的封闭性[J]. 现代地质,2004,18(2):157-163.

[17] 万天丰. 中国东部中、新生代板内变形,构造应力场及其应用[M].北京:地质出版社,1993.

[18] 万天丰,朱 鸿. 中国大陆及邻区中生代 - 新生代大地构造与环境变迁[J]. 现代地质,2002,16(2):107-120.

[19] 赵 越,徐守礼,杨振宇. 沿大型走滑断裂系的隆升[J]. 地质科学,1996,31(1):1-4.

[20] 王义天,李继亮. 走滑断层作用的相关构造[J]. 地质科技情报,1999,18(3):30-35.

[21] 张俊霞. 转换 - 伸展型盆地 [J]. 地质科技情报,1998,17(3):19-23.

[22] 刘和甫,李晓清,刘立群,等. 走滑构造体系盆山耦合与区带分析[J]. 现代地质,2004,18(2):139-150.

[23] 吕继溶,钟盛文. 江西赣南锡矿床地质特征与前景[J]. 南方冶金学院学报,1997,(4):1-5.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net