

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

冀中拗陷古近纪的伸展构造

杨明慧¹⁾ 刘池阳²⁾ 杨斌谊²⁾ 赵红格²⁾

1) 石油大学,北京,102249; 2) 西北大学,西安,710069

内容提要 冀中拗陷的构造格架是新生代的伸展构造系统。该系统以大兴、保定—石家庄拆离滑脱断层为主体,与牛东—河东、马西、宁晋、新河等伸展断层以及徐水—安新变换带和衡水、宝坻—桐柏镇变换断层等组合而成。据平衡剖面和基底沉降曲线分析,冀中拗陷古近纪伸展作用过程持续发育,具幕式特点,以沙三期伸展作用最为强烈。地壳的快速伸展作用与火山活动强度之间缺乏耦合关系。冀中拗陷的动力学成因与伸展背景下的剪切作用有关。

关键词 伸展构造系统 变换构造 伸展作用 古近纪 冀中拗陷

近年来,伸展构造是大陆动力学的前沿研究领域之一。在20世纪80年代,有关渤海湾盆地伸展构造的研究集中在盆地结构、构造格局及构造演化等几何学和运动学方面(李德生,1979;童崇光,1980;王鸿祯等,1983;马杏垣等,1983;刘和甫,1983;赵重远,1984;刘池阳,1987);进入90年代,人们开始关注盆地的构造过程、构造模式及盆地动力学的研究(漆家福等,1995;陈发景等,1996;陆克政等,1997;崔盛芹,1998;Cai et al., 2000)。目前,对渤海湾盆地的性质和成因机制仍有不同看法,其焦点在于是裂陷还是走滑,而持裂陷观点的也有不同的认识,如主动裂陷机制(马杏垣等,1983;赵国泽等,1986)、被动裂陷机制(胡朝元,1982;陈发景等,1996;何海清等,1998);以及与右行走滑有关的盆地(赵重远,1984)、早期伸展和晚期走滑盆地(漆家福等,1995;陆克政等,1997)、拉分盆地(候贵廷等,1998)等。而且,上述研究大多是围绕着油气勘探工作展开的。

冀中拗陷位于渤海湾盆地的西北部,以任丘古潜山油气田著称于世。三十多年来,冀中拗陷已经积累了大量的地质、地球物理资料。这些资料从三维形态揭露了盆地的伸展构造格架,但目前有关冀中拗陷伸展构造的系统研究成果仍较为缺乏。因此,本文试图在伸展构造系统理论上,重点分析冀中拗陷的伸展构造及伸展作用,最后简要讨论冀中拗陷的构造—沉积演化,以期对渤海湾盆地伸展构造研究的深化有所裨益。

1 冀中伸展构造系统

在冀中拗陷伸展构造系统的结构要素中,伸展断层引发地壳水平拉张减薄,为浅层地壳脆性域构造变形的的主要方式;拆离断层则使断块深部发生近水平的滑脱运动;变换断层调节、传递断块之间的伸展应力。三者构成冀中拗陷的基本构造格局(图1)。

1.1 伸展断层与拆离断层

(1) 冀中拗陷的伸展构造多伴生单侧主干断层,构成不同尺度、不同层次的NE、NNE走向的半地堑或不对称地堑。伸展断层控制凹陷走向、边界以及构造样式,但受变换构造影响:在徐水—安新变换带以北(北区),大兴断层、牛东—河东断层断面东倾,廊(坊)固(安)、霸县和武清等凹陷西断东超;在徐水—安新变换带与衡水断层之间(中区),马西断层等断面西倾,饶阳凹陷东断西超;在衡水断层以南(南区),宁晋断层、新河断层断面西倾,晋县、束鹿等凹陷也呈东断西超样式。在平面上,大兴断层、牛东断层等雁行斜列,辅以配套的伴生构造(赵重远,1984),表明其形成叠加了右行力偶作用。

(2) 从宏观分析,冀中拗陷西界的保定—石家庄断层和大兴断层是太行山东断层的重要组成部分,浅层表现为伸展断层,而在深层具有拆离断层的特征(徐杰等,2000)。与韧性层、脆-韧转换带或壳内低速层等构造软弱部位连接(刘国栋,1986),构成多层次的拆离构造(马杏垣等,1983)。冀中拗陷发育

收稿日期:2001-02-27;改回日期:2001-10-27;责任编辑:任希飞。

作者简介:杨明慧,男,1962年生。1998年于中国地质大学(武汉)获博士学位。现为石油大学博士后研究人员,副教授。主要从事盆地分析方面的研究。通讯地址:102249,北京昌平水库路,石油大学盆地与油藏研究中心;电话:010-89741896;Email:minghui-yang@263.net。

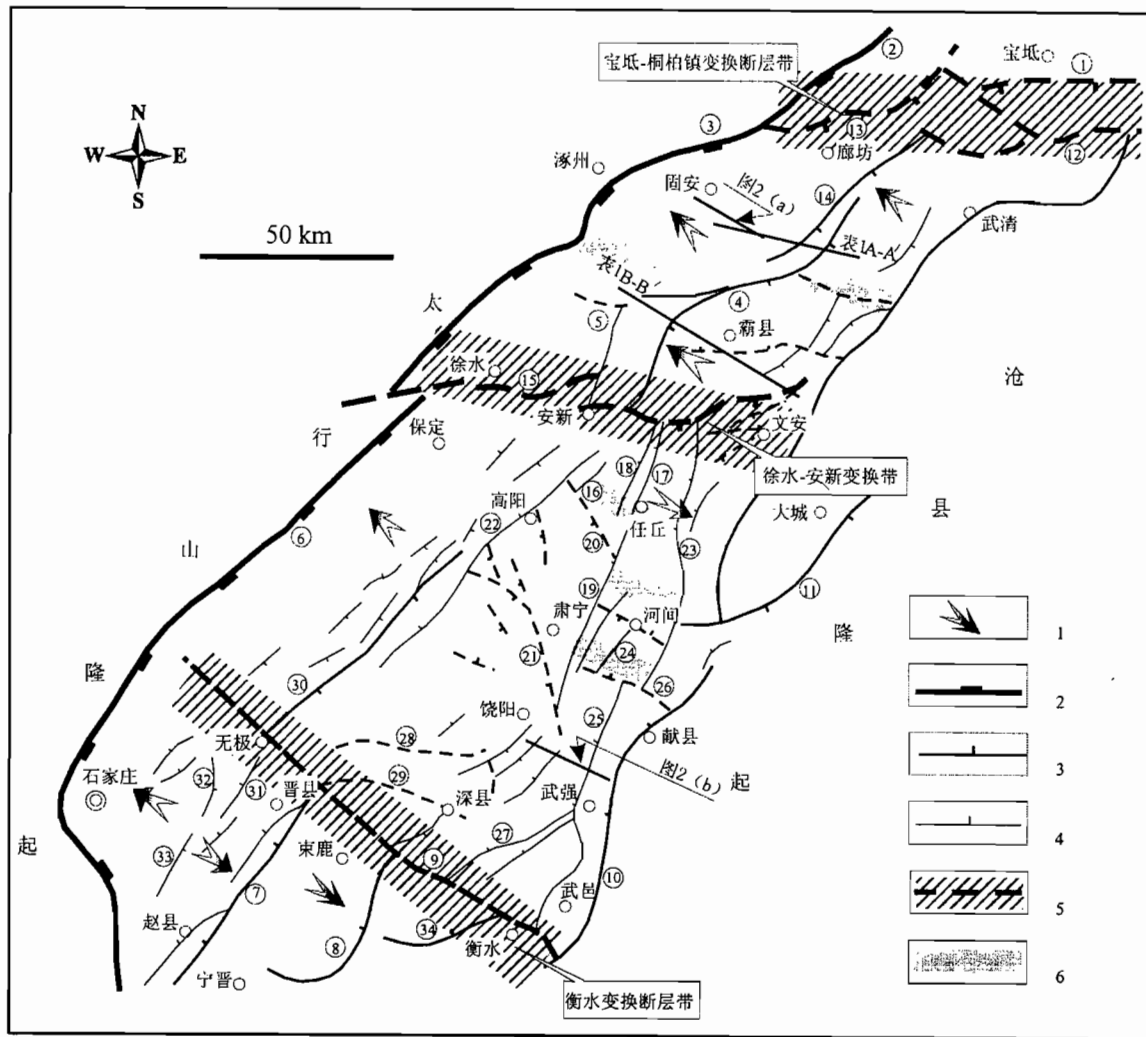


图 1 冀中拗陷新生代伸展构造图(据华北油田研究院,1982改编)

Fig. 1 Extensional tectonic map of Cenozoic in the central Hebei basin

(modified from North China Oil-field Institute, 1982)

1—倾向域;2—一级伸展断层;3—二级伸展断层;4—三级伸展断层;5—一级变换构造;6—二级变换构造;断层编号:①—宝坻断层;②—大厂断层;③—大兴断层;④—牛东断层;⑤—容城断层;⑥—保定—石家庄断层;⑦—宁晋断层;⑧—新河断层;⑨—衡水断层;⑩—沧西断层;⑪—里坦断层;⑫—王草庄断层;⑬—桐柏镇断层;⑭—河东断层;⑮—安新断层;⑯—白庄子断层;⑰—任丘断层;⑱—任西断层;⑲—任南断层;⑳—出岸断层;㉑—五尺断层;㉒—高阳断层;㉓—马西断层;㉔—河间断层;㉕—留路断层;㉖—留北断层;㉗—虎北断层;㉘—南王庄断层;㉙—旧城北断层;㉚—安国断层;㉛—藁城北断层;㉜—藁城西断层;㉝—栾城断层;㉞—前磨头断层

1—Dip tract; 2—1st-order extensional fault; 3—2nd-order extensional fault; 4—3rd-order extensional fault; 5—1st-order transfer structure; 6—2nd-order transfer structure; number of faults: ①—Baodi fault; ②—Dachang fault; ③—Daxing fault; ④—east Niutuozen fault; ⑤—Rongcheng fault; ⑥—Baoding—Shijiazhuang fault; ⑦—Ningjin fault; ⑧—Xinhe fault; ⑨—Hengshui fault; ⑩—west Cangxian fault; ⑪—Litan fault; ⑫—Wangcaozhuang fault; ⑬—Tongbaizhen fault; ⑭—east Hexiwu fault; ⑮—Anxin fault; ⑯—Baizhuangzi fault; ⑰—Renqiu fault; ⑱—west Renqiu fault; ⑲—south Renqiu fault; ⑳—Chu'an fault; ㉑—Wuchi fault; ㉒—Gaoyang fault; ㉓—west Nanmazhuang fault; ㉔—Hejian fault; ㉕—Liulu fault; ㉖—north Liulu fault; ㉗—Hubei fault; ㉘—Nanwangzhuang fault; ㉙—north Jiucheng fault; ㉚—Anguo fault; ㉛—north Gaocheng fault; ㉜—west Gaocheng fault; ㉝—Luancheng fault; ㉞—Qianmotou fault

深、浅两个层次的拆离断层:深层次滑脱向(南)东运动,浅层次滑脱向(北)西运动。前者发育早,如保定—石家庄断层、大兴断层等;后者发育晚,如牛北、马西等断层(汪蕴璞等,1987)。

大兴断层为控制北区的基底主断层,断面坡样式(陆克政等,1997),深部断面倾角仅12°。在其拆离过程中,断块翘倾,上盘发育同向的牛东断层。两者深部相连,呈多米诺状:前者在10km以下与

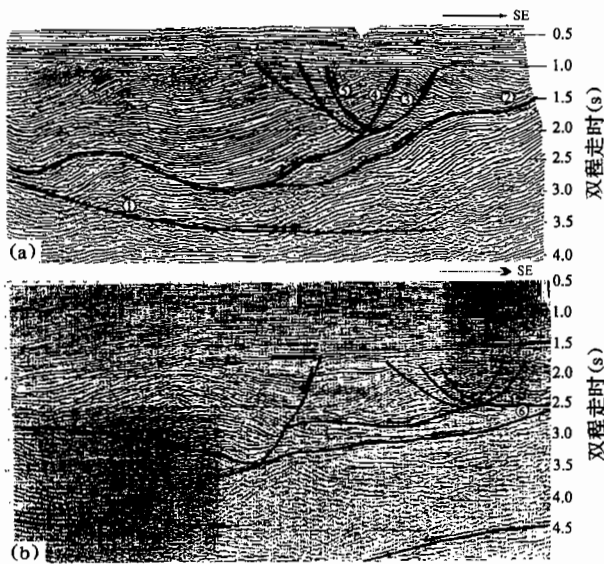


图2 冀中拗陷拆离构造剖面解释图(剖面位置见图1)

Fig.2 Schematic profile (the location shown in Fig.1) of detachment tectonics in the central Hebei basin

(a)一北区的多层次拆离滑脱构造(GWJ98-173);(b)一中区的浅层拆离滑脱构造(RN98-3D INLINE 799);①—大兴断层;②—牛北断层;③—曹家务断层;④—旧州东断层;⑤—旧州断层;⑥—沧西断层

(a)—The multi-layer detachment structure of the northern province (GWJ98-173);(b)—the upper detachment structure of the middle province(RN98-3D INLINE 799);①—Daxing fault;②—North Niutuozhen fault;③—Caojiawu fault;④—East Jiuzhou fault;⑤—Jiuzhou fault;⑥—West Cangxian fault

低速层沟通(赵国泽等,1986);后者切穿低速层(陈绍绪,1986)。北区浅层反向的牛北断层、曹家务断层和旧州东断层等,各个断面的倾角向(北)西依次变陡(图2a)。断层成因与断块翘倾导致的沉积物重力失稳有关(王化清,1990),因此发育较晚。在泉35井一带,旧州东断层和曹家务断层在沙三段下部归并于牛北断层;向北在泉28井,旧州东断层归并于曹家务断层;而在泉71井附近,旧州东断层成为主控断层。这种接替斜向的离散式滑动,表明伸展断层具有浅部穿层、深部顺层滑动的特点^①。

中区饶阳凹陷的饶南地区发育较大规模的浅层拆离断层(图2b)。沧西断层等在新近纪晚期以来,对沉积作用的控制减弱,向西断面趋缓,表现为东西宽9 km、南北长12 km的拆离滑脱构造(郑大海等,2000)。拆离断层埋深在3s~4s之间,多层次发育;但随着埋深加大,剖面上的滑脱面逐渐模糊。

南区的拆离断层从宁晋、新河和前磨头等伸展断层的一致西倾,推测向下将归并至保定—石家庄

断层的深部拆离面上。据王椿镛等(1994)和徐杰等(2000,2001)研究,拆离面的深度在10 km以下。

1.2 变换断层及变换带

变换断层或变换带在走向上平行或微角度斜交于伸展方向,是具有走滑或斜滑断层作用的不连续带(Faulds et al.,1998)。冀中拗陷的变换断层或变换带一般形成一个伸展域突变的横向边界,并在空间上连接相互分隔的伸展域。

(1) 冀中拗陷的衡水断层是中、南区分界的变换断层。其特点有:①具左行走滑特点并与宁晋、新河和前磨头等伸展断层大角度相交;②沿走向分隔伸展域,使得冀中拗陷中区和南区的构造样式、沉积环境存在较大差异(图3);③使得拆离作用从一个层次向另外一个层次转移;④与伸展断层同期活动,共同控制盆地的沉积、岩浆活动以及油气生成等,同时也是岩浆与油气运移的有利通道。冀中拗陷北界的宝坻—桐柏镇断层走向WNW,具有明显的左行走滑性质,为冀中拗陷北界的变换断层。

(2) 徐水—安新变换带是北、中伸展域的边界(图4)。北区状况是,①NNE向的牛东断层控制了霸县凹陷的发育过程;②NE向西倾的新镇北断层、高家堡南断层与牛东断层、霸县南断层呈相反倾向,形成双断特征的洼槽并同时控制沉积,但其主体仍为单断样式;③古近纪中后期的走滑作用表现为一系列古近纪挤压构造的形成和沉积中心的迁移。中区情况(饶阳凹陷北部及莫州洼槽)恰恰相反:①NNE向西倾断层构成凹陷边缘并形成南马庄、任丘和雁翎古潜山构造带与马西、任西沉积洼槽相间的基本构造格局;②洼槽内的沉积自东向西即自洼槽向潜山带超覆;③NW向的基岩古隆起带与NE向断层潜山带穿插复合。徐水—安新变换带东段的发育时间为前古近纪,在孔店—沙四期持续活动,沙三—沙二期强烈活动,直到东营期末逐渐趋于平静(王定一等,2001)。以基岩标志层估测断距可达8000 m左右。它在赵北口村(淀7井)以南“瓦解”了牛东断层南延的趋势,并使之帚状分散为数条东倾的次级断层如莫东断层和莫州断层等,分布在莫州西部和白洋淀地区,数千米的垂直断距也随之被次级断层分解。这些断层与任西断层等总体构成“地堑”或“半地堑”样式。

(3) 牛东—马西“S”形断裂构造(吴继龙等,

① 李德生等,1986. 廊固凹陷油气富集规律与勘探方向(研究报告)。

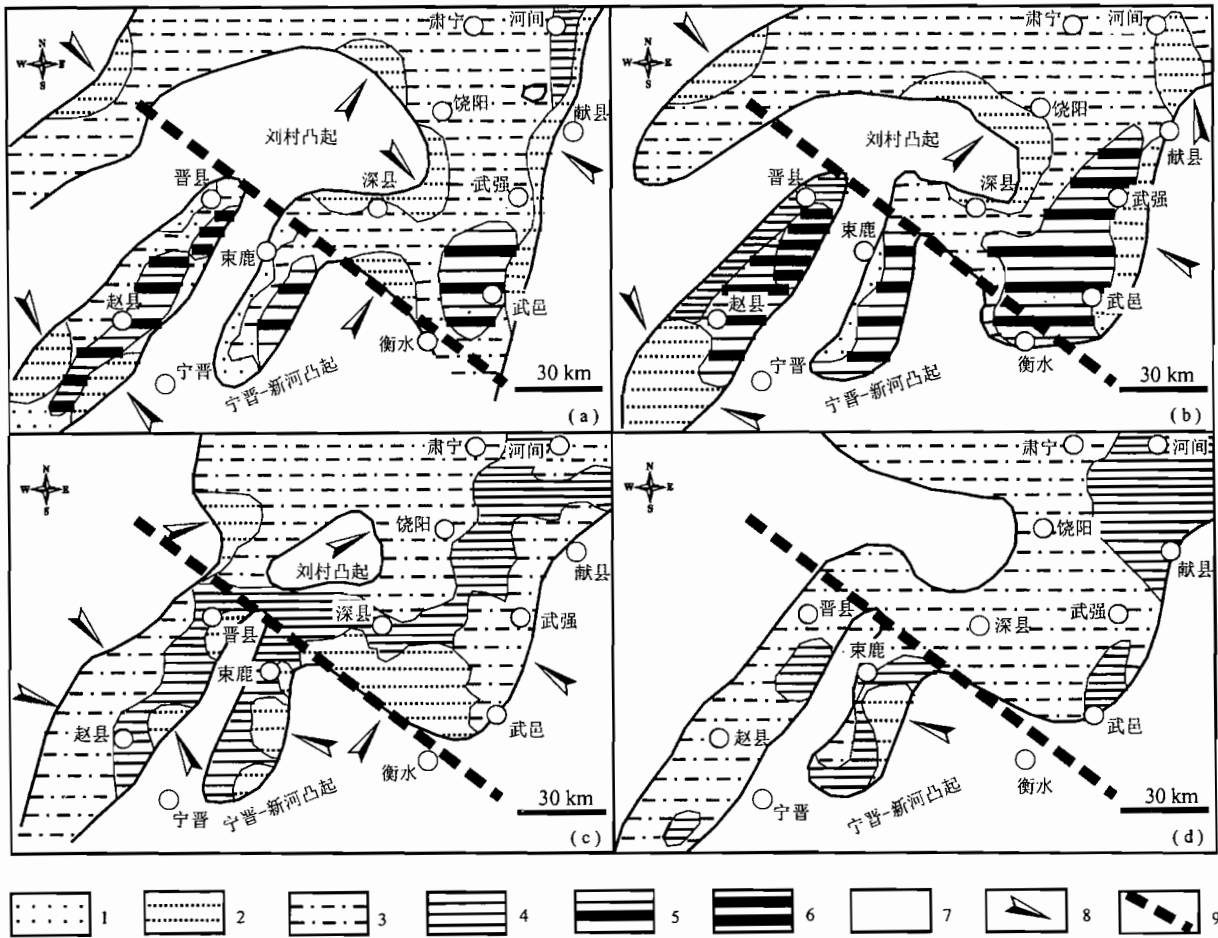


图 3 衡水断层分隔中、南伸展域的沉积环境

Fig. 3 Tectonics and sedimentary environment of different extensional domains comparted by the Hengshui transfer fault

(a)—始新世孔店期；(b)—始新世沙四期；(c)—沙三期；(d)—沙二期；1—冲积扇；2—扇三角洲；3—河流；4—湖泊；5—膏盐湖；6—盐湖；7—剥蚀区；8—物源；9—变换断层

(a)—Eocene Kongdian stage；(b)—Eocene Shahejie-4th stage；(c)—Shahejie-3rd stage；(d)—Shahejie-2nd stage；1—alluvial fan；2—fan delta；3—fluvial；4—lacustrine；5—salar；6—saline；7—erosional area；8—provenance；9—transfer fault

1987), 构成对倾未叠覆型变换带 (Morley et al., 1990): 牛东断层西断东超; 而马西断层东断西超, 枢纽带为地形高地。研究表明, 该变换带在沙—东营期发育, 因此改造了徐水—安新变换带的向东延伸。另外, 文安斜坡上的构造线主导方向为 NE, 但在兴隆宫—史各庄一带该线明显向东偏转, 呈 ENE 向 (图 4)。兴隆宫—史各庄以北, 断面多东南倾向; 以南未见有北西倾向者。

2 冀中地壳伸展构造作用

冀中拗陷的地壳伸展作用主要有水平伸展离散、垂直差异沉降等形式。

2.1 水平伸展分析

盆地水平伸展量的计算在平衡原则约束下进

行。盆地水平伸展量与盆地剖面的面积和盆地拆离构造的影响深度有关。前人已有冀中拗陷伸展作用分析 (刘池阳, 1987; 陆克政等, 1997), 水平伸展量大约在 15%~66.51% 之间。在此基础上, 本文使用新的水平叠偏地震剖面, 重点研究北区的水平伸展活动。结果表明, 沙三期水平伸展量最大达到 78.9%, 其次是在孔店—沙四期和沙二期 (表 1)。

2.2 基底沉降分析

构造沉降分析是定量或半定量地划分盆地构造演化阶段或期次的重要参数之一。沉降曲线以时间为横坐标, 以某个地质界面上的某个观测点相对于某个基准面的高程值为纵坐标, 反映该观测点的沉降过程。

冀中拗陷的构造沉降分为两个阶段, 即古近

表 1 冀中拗陷北区古近纪—新近纪水平伸展量统计表
Table 1 Statistics of extensional values during Paleogene—Neogene in the northern part of the central Hebei basin

| 剖面位置 | 剖面方向 | 标准反射层长度 | | 相对伸展率 | | 伸展速率 ($\text{mMa}^{-1}\text{km}^{-1}$) |
|-----------------------------|------|---------|------------|---------------|------------|---|
| | | 反射层 | 长度 (km) | 伸展时期 | 伸展率 (%) | |
| 北区(据 陆克政 等, 1997) | SE | T_g | 24 | N | 39.6 | 9.59 |
| | | T_6 | 28.5 | $E_k-E_5^4$ | 18.7 | 8.15 |
| | | T_4 | 30.3 | $E_5^3-E_5^2$ | 6.3 | 11.48 |
| | | T_2 | 33.5 | E_5^1-Ed | 10.6 | 8.48 |
| 廊固— 武清凹 陷,见图 1A—A' | SEE | T_g | 14 | N | — | 42.68 |
| | | T_6 | 21.3 | $E_k-E_5^4$ | 52.1 | 23.04 |
| | | T_4 | 35.2 | $E_5^3-E_5^2$ | 65.3 | 52.66 |
| | | T_2 | 38.5 | E_5^1-Ed | 9.4 | 15.67 |
| 廊固— 霸县凹 陷,见图 1B—B' | SE | T_g | 28.9 | N | 78.9 | 19.24 |
| | | T_6 | 34.3 | $E_k-E_5^4$ | 18.7 | 8.27 |
| | | T_4 | 51.3 | $E_5^3-E_5^2$ | 49.6 | 40 |
| | | T_2 | 51.7 | E_5^1-Ed | 0.8 | 1.33 |

纪的断陷阶段和新近纪—第四纪的拗陷阶段,在两者之间发育一个分布广泛的角度不整合面。构造沉降曲线显示,盆地基底在孔店期(65 Ma)开始沉降,沙三期(42.4 Ma)出现快速沉降,然后沉降速率趋缓;东营期(30 Ma)开始抬升(图5)。这种沉降曲线

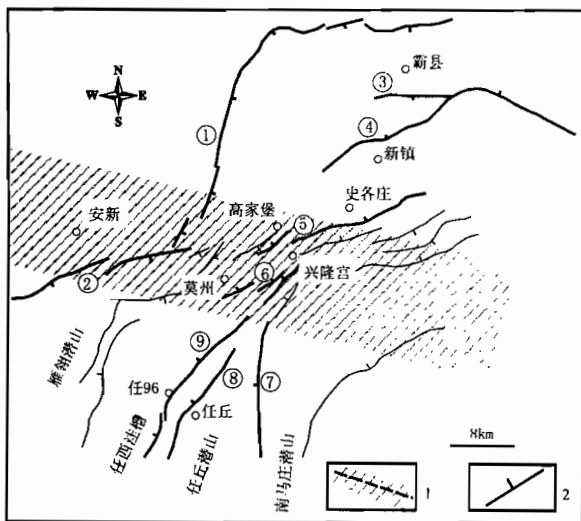


图 4 徐水—安新变换带构造特征

Fig. 4 Tectonic characters of the Xushui—Anxin transfer zone

1—变换带;2—伸展断层;断层编号:①—牛东断层;②—牛南断层;③—霸县南断层;④—新镇北断层;⑤—高家堡南断层;⑥—莫州断层;⑦—马西断层;⑧—任丘断层;⑨—任西断层

1—Transfer zone; 2—extensional fault; number of faults: ①—north Niutuozhen fault; ②—south Niutuozhen fault; ③—south Baxian fault; ④—north Xinzhen fault; ⑤—south Gaojiapu fault; ⑥—Mozhou fault; ⑦—west Nanmazhuang fault; ⑧—Renqiu fault; ⑨—west Renqiu fault

类似经典的大陆伸展盆地的演化特征,在早期快速沉降与晚期的缓慢沉降之间存在突变关系。同伸展期沉降的时限约为30 Ma,其沉降量占总沉降量的80%以上。

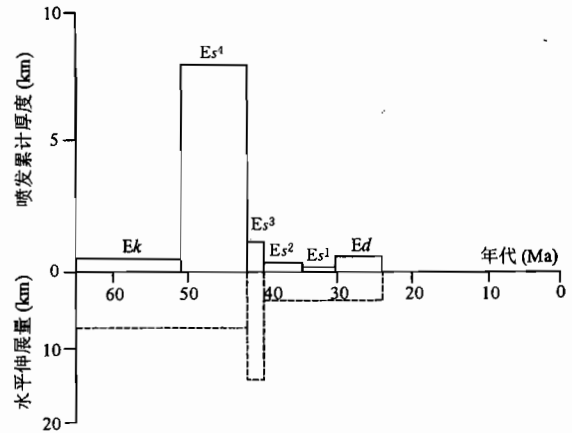


图 5 冀中拗陷基底沉降曲线图

Fig. 5 Tectonic subsidence curves of the central Hebei basin

2.3 伸展的差异性

盆地基底的沉降是盆地伸展作用的表现之一。通过大兴断层、牛东断层的断距、基底拆离面的最大影响深度和沉降量之间的比较,说明拆离面越深其控制的凹陷的沉降量越大;伸展量越大的凹陷沉降量也越大;反之则相应减小^①。这反映冀中拗陷内部的水平伸展量并不均一,伸展量大多分配在控凹边界断层附近。

在翘倾断块上的构造位置不同,基底沉降方式亦不同。廊固—牛驼镇断块翘倾端安9、泉25和固6井(井位见图7a,下同),古近纪沉降曲线总体表现持续性慢—快—慢沉降方式(图5)。说明大兴断层活动使基底经历了不同速率持续沉降,其特点是越近大兴断层,沉积厚度越大。位于牛东断层下降盘新家4井由于构造位置相似,所以沉降曲线样式与之相似。安14井地处廊固—牛驼镇断块翘倾端,因此沉降曲线表现出较大差异:在沙三期快速沉降后,基底沉降基本停滞。由此推测,在沙三期前,牛东断层活动较弱,北区的断块翘倾活动尚未分化,沉积面貌基本上是统一的^②;孔店—沙四期慢速沉降、沙三期快速沉

① 杨明慧. 2000. 冀中拗陷北区早第三纪强烈伸展期构造及沉积响应. 西北大学博士后研究报告.

② 张文朝等. 1999. 冀中拗陷下第三系沉积演化与储层评价. 研究报告.

降。但在断块翘倾活动加剧后，翘倾端地层非降反升，为了释放急剧倾斜抬升积累的势能，使得牛东断层“突然”加快活动，导致翘倾端牛驼镇凸起的基底沉降速率迅速衰减为零。

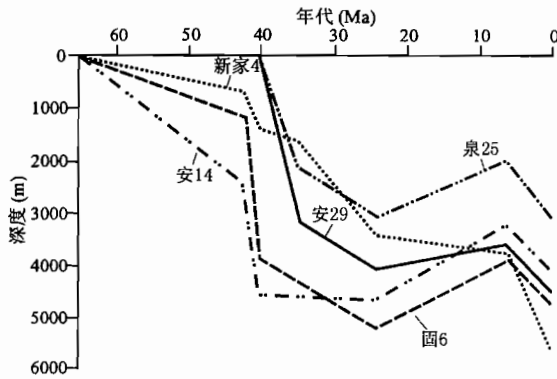


图 6 冀中拗陷火成活动与地壳伸展作用的非耦合关系
Fig. 6 The non-coupling between magmatism and extension in the central Hebei basin

3 火成活动与伸展构造作用非耦合性

3.1 火成岩的分布与活动期次

冀中拗陷与渤海湾盆地其他拗陷相比，首先火成活动规模较小、分布不均。从延续时间、活动次数及累计厚度来看，火成岩以玄武岩为主，单层厚度一般 < 10 m (占 80%)。录井为黑色致密岩块，气孔不发育。镜下观察，以斑状结构和微晶—隐晶结构为主，其主要矿物为基性斜长石和辉石，次要矿物为黑云母和磷灰石等，蚀变现象普遍。其次，火成活动与大型断层有关，这些断层皆为控制拗陷发育的边界断层，具幕式活动特点。玄武岩喷发的规模可在一定程度上反映火成作用的强弱，并可据此划分活动期次。统计表明，冀中拗陷新生代火成活动可分三期： E_k — E_s^4 、 E_s^{3-2} 和 $E_s^1 \sim E_d$ (表 2)。第一期火成岩无论在厚度或层数上都占绝对优势，早期以裂隙式喷发玄武岩和溢流玄武岩为主；晚期活动有所减弱，包括喷发和侵入两种类型。第二期火成岩分布面积相对较小，在总体上由西向东迁移 (姜在兴等, 1999)。第三期以中心式喷发为主，晚期有少量侵入作用，但活动强度和分布范围均大大减弱。研究表明，玄武岩的 K-Ar 同位素年龄范围在 63.2~28.5 Ma 之间 (刘若新, 1992)，相应的地层单位为古新统一渐新统。

3.2 火成活动与地壳伸展的非耦合关系

冀中拗陷火成活动与地壳伸展强度之间缺乏耦合关系 (图 6)，与美国西部盆岭省一些高度伸展地区

(50%~100%) 地层和构造数据揭示快速伸展抑制火山作用具相似性。其机制可能是地壳深部岩浆增强结晶作用使裂谷环境以同伸展期深成作用为主，火山活动仅在局部伸展期达到高潮，而在快速伸展期减弱乃至停止 (Gans et al., 1998)。

表 2 冀中拗陷古近纪—新近纪火成岩发育强度统计表

Table 2 Statistics of igneous rocks during Paleogene — Neogene in the central Hebei basin

| 伸展域 | 凹陷 | 钻井编号 | 岩性 | 产层 | 层数 | 累计厚度 (m) |
|------|-------|------|---------|------------------|-----|----------|
| 北区 | 北京 | 丰参 2 | 玄武岩 | E_k | 15 | 90 |
| | | 侯 8 | 安山岩 | E_s^4 | | 26 |
| | 大厂 | 厂 4 | 玄武岩 | E_s^3 | 5 | 13.5 |
| | | 牛 5 | 玄武岩 | E_s^4 | | 141 |
| | 廊房—固安 | 曹 13 | 玄武岩 | E_s^4 | 18 | 216 |
| | | 兴 33 | 玄武岩 | E_s^3 | 6 | 190 |
| | | 固 10 | 玄武岩 | $E_s^1 \sim E_d$ | 6 | 11 |
| | 霸县 | 坝 35 | 玄武岩 | E_s^4 | 15 | 96 |
| | | 文 9 | 玄武岩 | E_s^4 | | 149 |
| | | 文 8 | 玄武岩 | E_s^4 | 26 | 90 |
| 苏 10 | | 玄武岩 | E_s^4 | 4 | 116 | |
| 中区 | 饶阳 | 高 6 | 玄武岩 | E_s^4 | | 128 |
| | | 宁 2 | 玄武岩 | E_s^4 | | 84 |
| | | 留 34 | 玄武岩 | E_s^3 | | 34 |
| | | 饶 1 | 安山岩 | $E_s^1 \sim E_d$ | | 96 |
| | | 博 2 | 玄武岩 | E_d | | 4.2 |
| | 深县 | 泽 2 | 玄武岩 | E_s^4 | 74 | 1027 |
| 南区 | 晋县 | 极 12 | 玄武岩 | E_s^4 | | 284 |
| | | 赵 28 | 玄武岩 | E_s^3 | 11 | 174 |
| | | 赵 5 | 玄武岩 | E_d | | 8 |
| | | 赵 44 | 玄武岩 | N_m | | 7 |

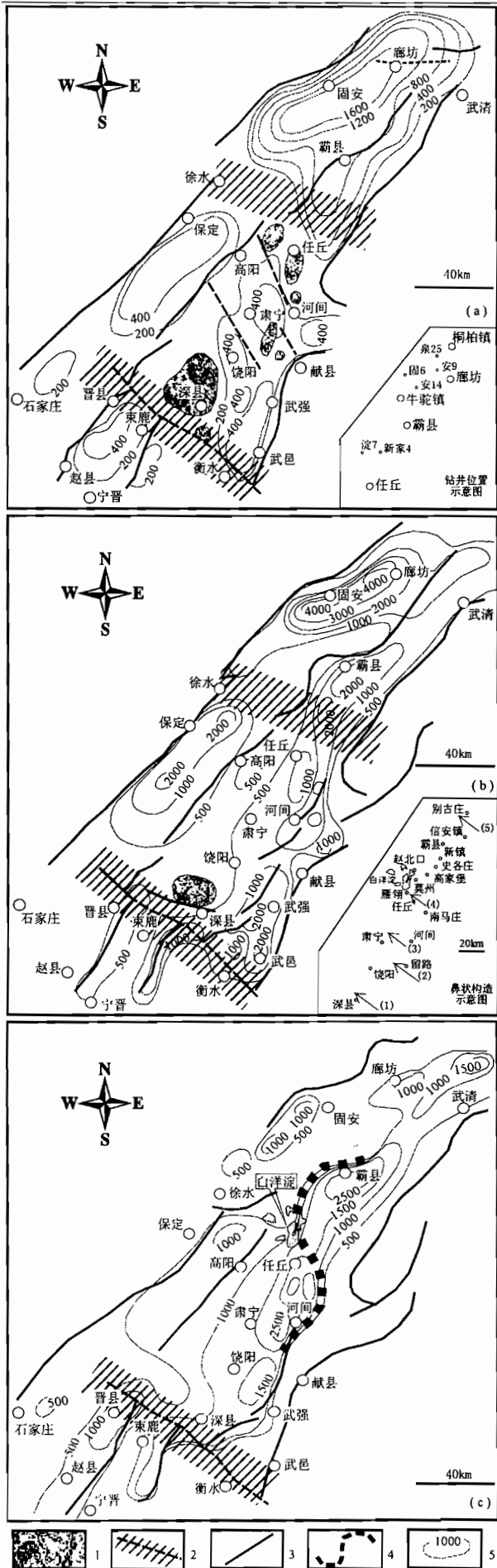
4 伸展构造的动力学条件与盆地构造—沉积演化

4.1 动力学条件

岩石圈流变学分层是大陆动力学研究的核心内容 (徐杰等, 1985)。一般认为，渤海湾盆地的形成是上地幔隆起活动引发的 (马杏垣等, 1983; 陆克政等, 1997; 徐杰等, 2001)；而据岩石化学成分研究，华北东部新生代玄武岩受伸展断陷及地幔底辟作用制约 (丛柏林等, 1983)，其分布则受 NNE 向的沈阳—潍坊、黄骅—德州—东明和霸县—束鹿—邯郸等 3 条走滑断裂带控制 (刘中云等, 2001)。

前文已经论述了研究区的构造伸展构造系统的浅层拆离断层，实际上，该系统的形成是与深部结构相关的。据早期人工地震测深，冀中拗陷具有上地壳、中地壳和下地壳等三层地壳结构^①。在区域上，

① 张先康等, 1982. 文安霸县地区地壳结构的初步研究.



冀中拗陷地区的莫霍面浅,下地壳厚度薄,壳内低速层埋深浅且最小速度值小;抬升地区与之相反,而介于两者之间的斜坡区则具有过渡性的壳幔结构(刘国栋等,1983)。这说明伸展作用使得盆地区的壳内低速高导层可能发生了一定程度的减薄。比较冀中拗陷古近系沉积厚度(张文朝等,2001)和断层分布图(吴继龙等,1987)可知,始新世发生的 NNE 走向的保定—石家庄、牛东断层,大体与莫霍面隆起带相对应。新生代沉积最厚、新近纪以来沉降幅度最大的武清—霸县凹陷,莫霍面最浅,下地壳可能最薄。冀中拗陷浅层断层的倾斜方向一般对应于地壳厚度的减薄方向。据大地电磁测深研究,冀中拗陷几乎普遍发育壳内低速高导层(刘国栋等,1986)。而据大地热流研究,冀中拗陷较高的热流值(陈墨香等,1990)和高的地温梯度,对应着较浅的上地幔高导层埋深、较薄的地壳厚度以及较明显的壳内低速高导层的发育。冀中拗陷的廊固凹陷低速层埋深在8~20 km。大兴断层向下变缓后正好插入该层,变成一个厚度非均一的近水平延伸的构造带(赵国泽等,1986)。该带速度低、电阻率低,又是一个异常高压带。其发育不仅可以降低围压或上覆岩层压力,还可以大大提高深部岩石的脆性,使其强度降低。如果异常压力与上覆岩层负荷大小相当时,上覆岩层就会处于一种“漂浮”状态。而且,本区的天然地震震源深度大都位于低速高导层之上,同样映证了断层下降盘的活动是沿着某个层面发生的。由此可见,低速高导层的出现为冀中拗陷深部岩层的滑脱拆离活动提供了有利的条件。

4.2 冀中拗陷的构造—沉积演化

冀中拗陷新生代的盆地成因可能与伸展背景下的剪切走滑作用有关。古近纪初,冀中拗陷继承燕山运动末期的古隆起构造面貌(杨明慧等,2001);在始新世晚期,冀中拗陷的盆地演化进入强烈伸展时期;至渐新世末,冀中拗陷右行走滑构造作用增强,中部

图 7 冀中拗陷古近纪构造—沉积演化纲要图

Fig. 7 Tectonic-sedimentary evolution map of the Central Hebei basin during the Paleogene

(a)—孔店—沙四期;(b)—沙三—沙二期; (c)—沙一—东营期; 1—剥蚀区; 2—变换构造; 3—伸展断层; 4—牛东—马西变换带; 5—地层厚度等值线(单位:m)

(a)—Eocene Kongdian—Eocene Shahejie-4th stage; (b)—Shahejie-3rd & 2nd stage; (c)—Shahejie-1st—Dongying stage; 1—erosional area; 2—transfer structures; 3—extensional faults; 4—east Niutuozen—west Nanmazhuang transfer zone; 5— isoline of strata thickness (m)

“S”型变换带发育,现今构造格局始见端倪。

(1) 孔店—沙四期:冀中拗陷西部大兴、保定—石家庄等伸展断层强烈活动,自北而南形成大厂凹陷(桐柏镇断层以北)、廊固、徐水、保定和石家庄凹陷(图7a)。由于近EW向一级变换带的分隔,沉积古地理分异显著:南区发育膏盐湖泊;中区发育红色粗碎屑沉积;北区沉降幅度较大,为开阔湖泊。廊固凹陷的沉积厚度可达千米以上。受二级变换带影响,东部小型洼陷沉积厚度较大处发育的褶皱变形显示出雁行排列特点。

(2) 沙三—沙二期:伸展构造作用的分段性更加明显,基底南升北降,廊固凹陷仍为沉降和沉积中心。二级变换带的影响明显加强,在冀中拗陷东部表现为一系列的NW向鼻状隆起(图7b,右下图箭头所示),如:①深县—深南;②留路—大王庄;③五尺—肃宁;④任丘—雁翎;⑤信安镇—别古庄等。

(3) 沙一—东营期:冀中拗陷东部断裂活动增强,沉降—沉积中心由北区的廊固凹陷转移到霸县凹陷和饶阳凹陷的结合地区,徐水—安新变换带成型,剪切作用明显。南、北区均发育辫状河三角洲沉积,而中区以滨浅湖沉积为主。这种构造样式造成的沉降—沉积面貌至今仍清晰可见,表现为现代的汇水盆地——白洋淀(图7c)。

感谢华北油田地质勘探公司、勘探开发研究院、物探研究院等单位有关专家在研究工作中的大力支持,感谢王定一教授、孙冬胜博士、郑大海博士、杨旭升博士、梁苏娟硕士在课题工作中的具体帮助。

参 考 文 献

- 陈发景,赵海玲,陈给年. 1996. 中国东部中、新生代伸展盆地构造特征及地球动力学背景. 地球科学,21(4):357~365.
- 陈墨香,汪集旻,汪缙安,邓孝,杨淑萍,熊亮萍,张菊明. 1990. 华北断陷盆地热场特征及其形成机制. 地质学报,64(1):80~91.
- 陈绍绪. 1986. 牛东断层的无震滑动. 见:国家地震局科技监测司编. 文安—霸县地壳隆起的研究. 北京:地震出版社,147~151.
- 丛柏林,张儒媛. 1983. 华北地块新生代玄武岩系及其形成的大地构造环境. 地质论评,29(1):40~49.
- 崔盛芹. 1998. 东亚新生代大陆裂谷系的构造过程及形成机制. 见:曹佑功主编. 全球构造带超大陆的形成与裂解. 北京:地质出版社,13~31.
- 何海清,王兆云,韩品龙. 1998. 华北地区构造演化对渤海湾油气形成和分布的控制. 地质学报,72(4):313~322.
- 侯贵庭,钱祥麟,宋新民. 1998. 渤海湾盆地形成机制研究. 北京大学学报,34(4):503~509.
- 胡朝元. 1982. 渤海湾盆地的形成机理与油气分布特点新议. 石油实验地质,4(3):161~167.
- 姜在兴,肖尚斌. 1999. 渤海湾盆地第三系火成岩的分布规律. 地质论评,45(增刊):618~626.
- 李德生. 1979. 渤海湾含油气盆地的构造格局. 石油勘探与开发,6(2):1~10.
- 刘池阳. 1987. 渤海湾盆地基底正断层缓断面的形成原因及其地质意义. 西北大学学报(自然科学版),17(1):34~42.
- 刘国栋,顾群,史书林,等. 1983. 京津塘渤和周围地区地壳上地幔电性结构及其与地震活动的关系. 地球物理学报,26(2):149~157.
- 刘国栋. 1986. 冀中拗陷地区的构造背景与孕震环境. 见:国家地震局科技监测司编. 文安—霸县地壳隆起的研究. 北京:地震出版社,18~27.
- 刘和甫. 1983. 含油气盆地的地球动力学环境分析. 见:朱夏编. 中国中生代盆地构造和演化. 北京:科学出版社,11~19.
- 刘若新. 1992. 中国新生代火山岩年代学与地球化学. 北京:地震出版社.
- 刘中云,肖尚斌,姜在兴. 2001. 渤海湾盆地第三系火山岩及其成因. 石油大学学报,25(1):22~26.
- 陆克政,漆家福. 1997. 渤海湾新生代含油气盆地构造模式. 北京:地质出版社.
- 马杏垣,刘和甫,王维襄,汪一鹏. 1983. 中国东部中、新生代裂陷作用和伸展构造. 地质学报,57(1):23~26.
- 漆家福,张一伟,陆克政,杨桥. 1995. 渤海湾新生代裂陷盆地的伸展构造模式与其构造动力学过程. 石油实验地质,17(4):316~323.
- 童崇光. 1980. 中国东部裂谷系统的地质特征. 石油学报,1(4):20~26.
- 王椿镛,张先康,吴庆举,祝治平. 1994. 华北盆地滑脱构造的地震学证据. 地球物理学报,37(5):613~619.
- 王定一,梁苏娟. 2001. 任丘大油田形成与变换带演化. 石油与天然气地质,22(1):9~12.
- 王鸿祯,杨森楠,李思田. 1983. 中国东部及邻区中、新生代盆地发育及大陆边缘区的构造发展. 地质学报,57(3):213~223.
- 王化清. 1990. 固安凹陷的重力滑动构造. 石油地球物理勘探,25(1):109~117.
- 吴继龙,卢学祺. 1987. 冀中拗陷东部地区构造格架及其形成与发展. 石油与天然气地质,7(1):20~31.
- 汪蕴璞,王焕芳,王翠霞. 1987. 油田古水文地质与水文地球化学——以冀中拗陷为例. 北京:科学出版社.
- 徐杰,洪汉净,赵国泽. 1985. 华北平原新生代裂谷盆地的演化及运动学特征. 现代地壳运动研究(1). 北京:地震出版社,26~40.
- 徐杰,高战武,宋长青,孙建宝. 2000. 太行山山前断裂带的构造特征. 地震地质,22(2):111~122.
- 徐杰,高战武,孙建宝,宋长青. 2001. 区域伸展体制下盆—山构造耦合关系的探讨. 地质学报,75(2):165~174.
- 杨明慧,刘池阳,杨斌谊. 2001. 冀中拗陷中生代构造变形的转换及油气. 大地构造与成矿学,25(2):113~119.
- 张文朝,崔周旗,韩春元,郭永军,王洪生,李莉,王海潮,李新坡. 2001. 冀中拗陷老第三纪湖盆演化与油气. 古地理学报,3(1):45~54.
- 赵重远. 1984. 渤海湾盆地的构造格局及其演化. 石油学报,5(1):1~8.
- 赵国泽,赵永贵. 1986. 华北平原盆地演化中深部热、重力作用初探. 地质学报,(1):102~113.
- 郑大海,杨明慧,杨斌谊. 2000. 伸展盆地拆离构造分析及石油地质

意义. 西安工程学院学报, 22(4): 14~21.

References

- Cai Dongsheng, Luo Yuhui, Yao Changhua, He Jiankun, Hu Shengbiao, Lu Huaifu, Wang Liangshu. 2000. Structures of the Bohai petroliferous area: Bohai Bay basin. *Acta Geologica Sinica*, 74(3): 641~650.
- Chen Fajing, Zhao Hailing, Chen Dainian. 1996. Tectonic features and geodynamics of Mesozoic and Cenozoic rift basins in the eastern China. *Earth Science—Journal of China University Geosciences*, 21(4): 357~365 (in Chinese with English abstract).
- Chen Moxiang, Wang Jiyang, Wang Ji'an, Deng Xiao, Yang Shuzhen, Xiong Liangping, Zhang Juming. 1990. The characteristics of the geothermal field and its formation mechanism in the north China down-faulted basin. *Acta Geologica Sinica*, 64(1): 80~91 (in Chinese with English abstract).
- Cong Bailin, Zhang Ruyuan. 1983. Cenozoic basaltic rock series in north China and their bearing on tectonic setting. *Geological Review*, 29(1): 40~49 (in Chinese with English abstract).
- Faulds J E, Varga R J. 1998. The role of accommodation zones and transfer zones in the regional segmentation of extended terranes. In: Faulds J E, Stewart J H, ed. *Accommodation zones and transfer zones, the regional segmentation of the Basin and Range Province*. Boulder Colorado, Geological Society of American Special Paper 323, 1~42.
- Gans P B, Bohrsen W A. 1998. Suppression of volcanism during rapid extension in the Basin and Range Province, United States. *Science*, 279: 66~68.
- He Haiqing, Wang Zhaoyun, Han Pinlong. 1998. Tectonic control on the formation and distribution of oil-gas pools in the Bohai Bay basin of North China. *Acta Geologica Sinica*, 72(4): 313~322 (in Chinese with English abstract).
- Hou Guiting, Qian Xianglin, Song Xinmin. 1998. The Origin of the Bohai Bay basin. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 34(4): 503~509 (in Chinese with English abstract).
- Hu Chaoyuan. 1982. Geodynamic environment of Bohai gulf basin and its oil occurrence. *Petroleum Geology & Experiment*, 4(3): 161~167 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Zaixing, Xiao Shangbin. 1999. Distribution pattern of Tertiary igneous rocks in the Bohai Bay basin. *Geological Review*, 45 (supplement): 618~626 (in Chinese with English abstract).
- Li Desheng. 1979. Structural framework of the Bohai Bay petroliferous basin. *Petroleum Exploration and Development*, 6(2): 1~10 (in Chinese).
- Liu Chiyang. 1986. The determination of the Cangxian—Tianjin palaeo-synclorium and its geological evidence. *Oil & Gas Geology*, 7(4): 333~343 (in Chinese with English abstract).
- Liu Chiyang. 1987. Causes for the dip of basement normal fault plains to become gentle in Bohai Bay basin and their geological significance. *Journal of Northwest University*, 17(1): 34~42 (in Chinese with English abstract).
- Liu Guodong, Gu Qun, Shi Shulin, et al. 1983. The electrical structure of the crust and upper mantle and its relationship with seismicity in the Beijing—Tianjin—Tangshan region and adjacent area. *Acta Geophysica Sinica*, 26(2): 149~157 (in Chinese with English abstract).
- Liu Zhongyun, Xiao Shangbin, Jiang Zaixing. 2001. Volcanic rocks of Bohai Bay basin in Tertiary and their genesis. *Journal of the University of Petroleum*, 25(1): 22~26 (in Chinese with English abstract).
- Lu Kezheng, Qi Jiafu. 1997. Tectonic model of Cenozoic petroliferous basin, Bohai Bay province. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Ma Xingyuan, Liu Hehu, Wang Weixiang, Wang Yipeng. 1983. Meso-Cenozoic taphrogeny and extensional tectonics in eastern China. *Acta Geologica Sinica*, 57(1): 22~32 (in Chinese with English abstract).
- Morley C K, Nelson R A, Patton T L, et al. 1990. Transfer zones in the East African rift system and their relevance to hydrocarbon exploration in rifts. *AAPG*, 74(8): 1234~1253.
- Qi Jiafu, Zhang Yiwei, Lu Kezheng, Yang Qiao. 1995. Extensional pattern and dynamic process of the Cenozoic rifting basin in the Bohai Bay. *Petroleum Geology & Experiment*, 4(3): 316~323 (in Chinese with English abstract).
- Tong Chunguang. 1980. Some characteristics of petroleum geology of the rift system in eastern China. *Acta Petrolei Sinica*, 1(4): 20~26 (in Chinese with English abstract).
- Wang Chunyong, Zhang Xiankang, Wu Qingju, Zhu Zhiping. 1994. Seismic evidence of detachment in north China basin. *Acta Geophysica Sinica*, 37(5): 613~619 (in Chinese with English abstract).
- Wang Dingyi, Liang Sujuan. 2001. Evolution of transformation belt and formation of big oilfield in Renqiu. *Oil & Gas Geology*, 22(1): 9~12 (in Chinese with English abstract).
- Wang Hongzhen, Yang Shennan, Li Sitian. 1983. Mesozoic and Cenozoic basin formation in east China and adjacent regions and development of the continental margin. *Acta Geologica Sinica*, 57(3): 213~223 (in Chinese with English abstract).
- Wang Huaqing. 1990. Gravity slumping structure in the Gu'an depression. *Oil Geophysical Prospecting*, 25(1): 109~117 (in Chinese with English abstract).
- Wu Jilong, Lu Xueqi. 1987. The structural framework of eastern Jizhong depression and its evolution. *Oil & Gas Geology*, 7(1): 20~31 (in Chinese with English abstract).
- Xu Jie, Gao Zhanwu, Song Changqing, Sun Jianbao. 2000. The structural characters of the piedmont fault zone of Taihang Mountain. *Seismology and Geology*, 22(2): 111~122 (in Chinese with English abstract).
- Xu Jie, Gao Zhanwu, Sun Jianbao, Song Changqing. 2001. A preliminary study of the coupling relationship between basin and mountain in extensional environment: a case study of the Bohai Bay basin and Taihang mountain. *Acta Geologica Sinica*, 75(2): 165~174 (in Chinese with English abstract).
- Yang Minghui, Liu Chiyang, Yang Binyi. 2001. Tectonic transform of the Mesozoic and their relations to hydrocarbon traps in the Jizhong (central Hebei Province) basin, China. *Geotectonica et Metallogenia*, 25(2): 113~119 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Wenchao, Cui Zhouqi, Han Chunyuan, Guo Yongjun, Wang Hongsheng, Li Li, Wang Haichao, Li Xinpao. 2001. Evolution of Paleogene lacustrine basins and oil and gas potentials in the central Hebei depression. *Journal of Palaeogeography*, 3(1): 45~54 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Chongyuan. 1984. Structural pattern and evolution of Bohaiwan

- basin, China. *Acta Petrolei Sinica*, 5(1): 1~8 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Guoze, Zhao Yonggui. 1986. The formation mechanism of the north China plain basin, a comprehensive analysis of thermal and gravitational action. *Acta Geologica Sinica*, 60(1): 102~113 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Dahai, Yang Minghui, Yang Binyi. 2000. Analysis of detachment structure in extensional basin and the significance of petroleum geology. *Journal of Xi'an Engineering University*, 22(4): 14~16, 21 (in Chinese with English abstract).

Extensional Structures of the Paleogene in the Central Hebei Basin, China

YANG Minghui¹⁾, LIU Chiyang²⁾, YANG Binyi²⁾, ZHAO Hongge²⁾

1) *University of Petroleum, Beijing, 102249*; 2) *Northwest University, Xi'an, 710069*

Abstract

According to the tectonic analysis in detail, this paper for the first time points out that the main tectonic framework of the central Hebei basin was an extensional structural system during the Paleogene. The system was made up of the Daxing and Baoding—Shijiazhuang detachment faults, the east Niutuozen—east Hexiwu, west Nanmazhuang, Ningjin, Xinhe extensional faults and the Hengshui, Baodi—Tongbaizhen transform faults and/or the Xushui—Anxin transform zones. An analysis of the balanced cross-section and back-stripping of the basin indicates that the extension of the Central Hebei basin developed continuously during the Paleogene, and was the most intensive in the Shahejie-3rd stage (the Middle Oligocene). There was not a coupling relationship between the fast extension and the intensive volcanic cycle in the central Hebei basin. Lastly, the authors use an “extension by strike-slip” basin model to interpret the genetic dynamic process of the central Hebei basin.

Key words: extensional structural system; transfer structure; extension; Paleogene; central Hebei basin
