

doi: 10.12029/gc20160614

苗全芸, 漆家福, 肖阳, 等. 二连盆地乌尼特坳陷伸展构造特征及成盆演化[J]. 中国地质, 2016, 43(6): 2036–2045.

Miao Quanyun, Qi Jiafu, Xiao Yang, et al. Extensional structures and basin evolution of the Wunite depression in Erlian Basin[J]. Geology in China, 2016, 43(6): 2036–2045(in Chinese with English abstract).

二连盆地乌尼特坳陷伸展构造特征及成盆演化

苗全芸¹ 漆家福^{1,2} 肖 阳³ 王利爽¹ 曾 婷³ 张 洁³

(1. 中国石油大学地球科学学院, 北京 102249; 2. 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249;
3. 中国石油华北油田分公司, 河北 任丘 062552)

摘要:乌尼特坳陷属于二连盆地五大坳陷之一,早白垩世在区域引张力下形成一系列地堑、半地堑,其伸展构造由伸展断层及变换构造组成。伸展断层中的主边界断层主要为铲式,混杂岩断陷带主边界断层多在混杂岩深层滑脱,复式向斜断陷带主边界断层多在浅层滑脱。平面上主边界断层表现为简单弧形或波状延伸,位移量通过变换断层及走向斜坡等进行调节/传递。首尾相连的断陷间主要以狭窄的背向型(divergent)及宽阔的相向型(convergent)变换带进行构造变换,穿过变换带断陷极性常常发生变化。早白垩世早期,乌尼特坳陷由多个相互独立的小型断陷组成;早白垩世中期,随着伸展量不断加大,相邻断陷边界断层逐渐侧向连接成为区域性边界断层,相邻断陷侧向连接成为大型复式断陷;早白垩世晚期,断陷群下沉坳陷进入后裂陷期。

关键词:伸展构造;成盆演化;乌尼特坳陷;二连盆地

中图分类号:P542 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2016)06-2036-10

Extensional structures and basin evolution of the Wunite depression in Erlian Basin

MIAO Quan-yun¹, QI Jia-fu^{1,2}, XIAO Yang³, WANG Li-shuang¹, ZENG Ting³, ZHANG Jie³

(1. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3. Huabei Oil Company, PetroChina, Renqiu 062552, Hebei, China)

Abstract: The Wunite depression is one of the five depressions in the Erlian Basin. A series of grabens/half grabens were developed under the action of regional extension in Early Cretaceous. Extensional fault and transform structure form the extensional structures. The major boundary faults (MBF) are listric faults, slipping deep in the mélangé zone and being shallow in complex synclines. The MBF extends like a simple arc or a wave. Accommodating/propagating displacement is realized through transfer fault or strike ramp. Divergent TZ and convergent are the main transfer structures between faulted-sags. And the MBF tendency often changes through the divergent or convergent TZ. In the early Early Cretaceous, lots of independent small-scale faulted-sags filled Wunite Depression; in middle Early Cretaceous, with the continuing of extension, adjacent faults were laterally propagating to become the

收稿日期:2015-10-02;改回日期:2015-12-10

基金项目:国家科技重大专项课题(2011ZX05009-001)、中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室应用基础研究资助课题。

作者简介:苗全芸,女,1987年生,博士生,构造地质学专业;E-mail:mqycup@163.com。

regional boundary fault and adjacent faulted-sags were connected to become the complex faulted-sag; in late Early Cretaceous, the depression entered into the post-rifting stage.

Key words: extensional structures; basin evolution; Wunite depression; Erlian Basin.

About the first author: MIAO Quan-yun, female, born in 1987, doctor candidate, majors in the study of structure geology; E-mail: mqycup@163.com.

Fund support: Supported by National Science and Technology Major Project (No. 2011ZX05009-001), Fundamental Research of State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum.

1 引言

伸展构造指岩层在水平引张力下形成的构造变形,是裂陷盆地动力学成因研究的基础^[1-2]。早期二连盆地的研究主要集中于盆地基础结构方面^[3-7]; 20世纪90年代末人们开始对二连盆地伸展模式及动力学背景进行探讨^[2,8-12],建立了低伸展率、宽裂陷作用的伸展构造系统^[13]。二连盆地是形成于晚古生代褶皱基底上的中生代裂陷盆地^[8],对于其形成的动力学背景的研究仍然存在分歧,早期研究集中于古太平洋板块向西俯冲导致的弧后伸展,也有部分学者认为是蒙古鄂霍茨克板片脱落引起。

乌尼特拗陷位于二连盆地东北部,相比于其他拗陷来说,受勘探程度以及复杂的地质条件限制,该区域基本伸展构造格架的研究一直较为薄弱。随着二维以及部分三维地震资料的覆盖,新的凹陷如霍林河相继发现,目前基本结构已清晰。作为二连盆地五大拗陷之一,对乌尼特拗陷的盆地结构、形成演化等系统性的研究有助于整个盆地构造格架的深化认识,为盆地动力学分析夯实基础。利用地面地质、地球物理资料对乌尼特拗陷早白垩世断陷的伸展构造特征进行综合分析,在此基础上探讨拗陷的成盆演化过程。

2 区域概况

二连盆地是发育在中蒙边境的裂陷盆地,包含有大量由区域基底规模正断层或兼具张剪断层控制地层充填的中生代断陷^[13,14],多个断陷彼此连接、相对集中在一起构成了盆地内部的负向二级构造单元,隆起上则零星分布。其中,中生代地层包括侏罗系、下白垩统,缺失三叠系与上白垩统。侏罗系主要是沉积-火山碎屑岩建造,在盆地内部及周边隆起区尤其是大兴安岭隆起区有广泛出露,岩性

与厚度受断层影响较小^[15]。下白垩统主要发育含煤、含油及砂砾岩建造,为断陷沉积主体,厚度及岩性变化受同生断层控制。

二连盆地基底属于兴-蒙碰撞带一部分^[16]。兴-蒙碰撞带由一系列大小不等的块体、岛弧及充填其间的古地层组成,在经历早古生代、晚古生代、印支期、燕山期等多期构造旋回后形成众多重要的构造拼合带^[17-19],其中位于二连盆地基底的有二连-贺根山混杂岩带(Pz_2)及索伦山-西拉木伦缝合带(Pz_2)^[19](图1中的I、II)。二连-贺根山混杂岩带主要是一些中、小型块体间的拼合,沿此带多出露陆间小洋盆型蛇绿岩体。索伦山-西拉木伦缝合带为一些中、小块体群与华北板块间的构造拼合带,沿此带常常发育一些大型逆冲推覆构造^[20]。二者在华北油田内部1:20万重力异常图上均表现为明显的异常梯度带。根据1:50万内蒙古地质图及华北油田内部1:20万重力、磁力异常图综合判断乌尼特拗陷基底由锡林浩特至霍林郭勒段的二连-贺根山混杂岩带(以下简称混杂岩带)及以二叠系为核部的东乌旗复式向斜带东段(以下简称复式向斜)组成。

华北油田油气勘探资料所揭示的乌尼特拗陷下白垩统分布范围如图1所示,依据拗陷内部主干断层及其控制的下白垩统,拗陷内部可以划分为10个断陷(三级构造单元)。考虑拗陷基底性质差异,将10个断陷划分为混杂岩断陷带及复式向斜断陷带,前者分为东部霍林郭勒(图1中①)及西部布日墩、白音胡硕、朝克乌拉、吉尔嘎朗图(图1中⑦~⑩),后者包括迪彦庙、巴彦花、高力罕、阿拉达布斯、包尔果吉(图1中②~⑥)。断陷内所充填的下白垩统自下而上分为巴彦花群阿尔善组、巴彦花群腾格尔组(分为腾格尔组一段、腾格尔组二段)和巴彦花群赛汉塔拉组,总厚度在2000~4000 m。三个岩

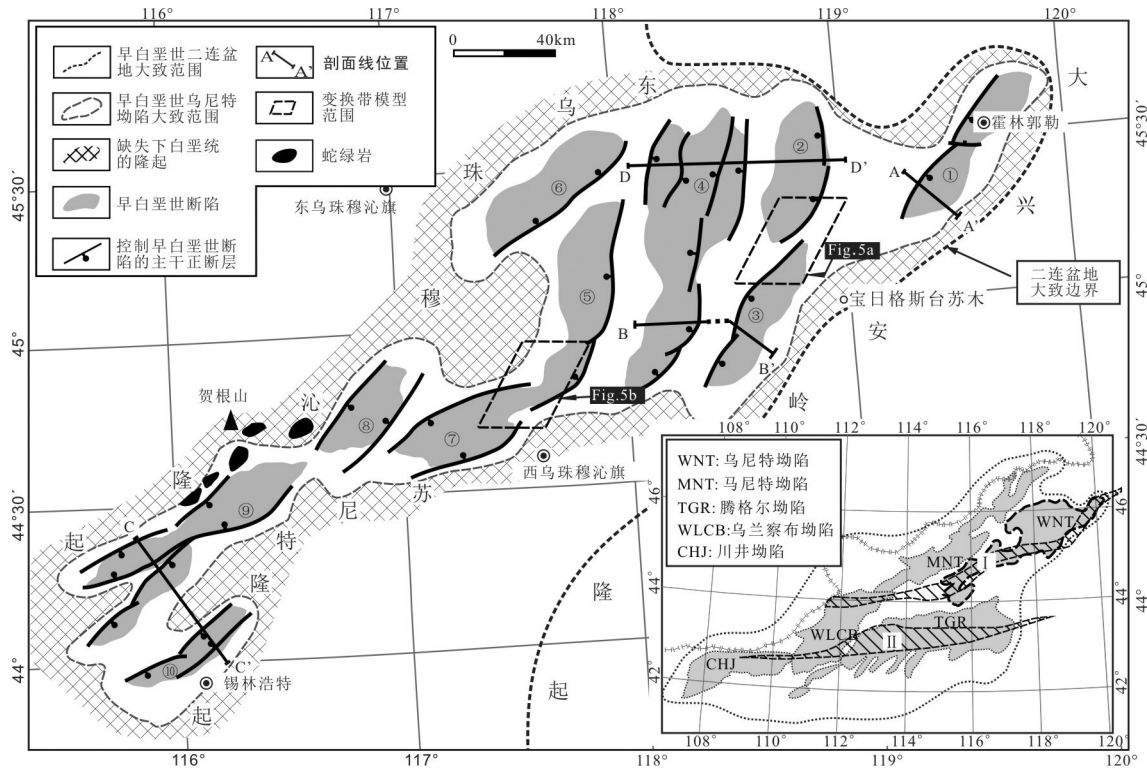


图1 乌尼特拗陷构造单元轮廓图(剖面见图2)

构造单元划分及名称引用华北油田科研项目成果^①,略有修改

- 1—基底构造带: I—二连—贺根山混杂岩带(Pz_2); II—索伦山—西拉木伦缝合带(Pz_2); 2—早白垩世断陷: ①—霍林郭勒; ②—迪彦庙; ③—巴彦花; ④—高力罕; ⑤—阿拉达布斯; ⑥—包尔果吉; ⑦—布日墩; ⑧—白音胡硕; ⑨—朝克乌拉; ⑩—吉尔嘎朗图

Fig. 1 The distribution of tectonic units and major faults in the Wunite Depression (for profiles see Fig. 2)

- 1—Basement tectonics: I—Erlian—Hegenshan mélangé zone (Pz_2); II—Suolunshan—Xilamulun suture zone (Pz_2); 2—Early Cretaceous faulted-sags: ①—Huolinguole; ②—Diyanmiao; ③—Bayanhua; ④—Gaolihan; ⑤—Aladabusi; ⑥—Baoerguoji; ⑦—Buridun; ⑧—Baiyinhushuo; ⑨—Chaokewula; ⑩—Jiergalang

The division and names of units are modified after the research production of Huabei Oilfield

石地层单位之间在断陷内部多为整合、平行不整合接触,但是在断陷斜坡带多表现为逐步上超或是赛汉塔拉组削截下部地层形成角度不整合接触。平面上,乌尼特拗陷长轴延伸方向为NE向,内部单个断陷通常发育规模较小,多为长条状,大致延伸长度40~60 km,宽度几千米至20 km,呈NNE、NE、NEE三组方向延伸,彼此首尾相连或被低凸起相隔。

3 伸展构造特征

早白垩世乌尼特拗陷与整个中国东部一样主要发生伸展裂陷形成伸展构造^[1,2,9,21-26]。伸展构造的基本构造要素是正断层,不同类型、规模的正断层

以不同方式组合在一起形成丰富多彩的伸展构造样式。但并非所有正断层都是真正的伸展断层,那些与区域伸展方向近于平行或斜交的断层和构造带属于变换构造,是由于伸展断层走向、位移等变化诱导形成。伸展断层使得岩层发生脆性减薄,变换构造起应力调节/传递作用^[27-29]。

3.1 伸展断层

乌尼特拗陷伸展构造主要伴生由主边界断层控制形成的地堑、半地堑。通过地球物理资料分析,早白垩世断陷主边界断层(MBF)主要为高角度铲式正断层,控制断陷走向、形成及演化,同时受变换构造影响。主边界断层上盘发育一系列同向或

①漆家福等. 二连盆地构造沉积演化特征与富油凹陷形成机制研究(HBYT-WTY-2011-JS-327). 2013.

反向次级伸展断层、横向或斜向变换断层等形成不同规模的断陷。这些铲式断层一般中间位移量大,向两侧逐渐消失或以其他方式传递至其他主边界断层,向深部延伸时并未终止、聚敛成为统一的滑脱面。这与一些盆岭省或被动大陆边缘地区所形成的大型连锁式滑脱正断层系及伴生变质核杂岩的伸展构造系统^[30,31]有着显著区别。主边界断层向深部延伸时受基底软弱带走向及变形特征影响滑脱深度不同,平面延伸时受变换构造影响,导致上盘伸展构造特征有所差异。

混杂岩断陷带断陷为NE-NNE走向,断陷总体沿混杂岩带走向分布,呈并联或串联式复合。断陷主边界断层受NE向以伸展变形为主的混杂岩带影响,在浅层表现为高角度正断层,向深部延伸至5000 m甚至更深处才逐渐变缓滑脱成为铲式。断陷另一侧常常发育反向次级断层促使断陷进一步深陷,因此形成的断陷深而狭长。如朝克乌拉凹陷主边界断层于晚侏罗世形成,阿尔善组沉积时期开始活动控制地层沉积,腾格尔组沉积时期活动加剧,赛汉塔拉组沉积时期活动减弱。根据现今地震剖面实测断层倾角在3000 m处仍为近80°,4000 m以下才开始逐渐变缓。断层最大断距大于2000 m,断陷基底埋深约3000 m。反向高角度次级断层与主边界断层共同控制西部洼槽沉降形成深断陷(图2中剖面C-C')。霍林郭勒凹陷也具有相同特征,南洼槽边界断层倾角在2000 m以上约72°,2000~3000 m处约67°,4000 m以下逐渐变缓,断层最大断距近3000 m。断陷发育的反向次级断层倾角约77°(图2中剖面A-A')。主边界断层向北延伸与中央变换带相交,受变换断层影响断距相对减小,断面相对变缓。但霍林郭勒总体仍为宽度约10 km而基底埋深大于3000 m的深而狭长的断陷。

复式向斜断陷带内除包尔果吉(NE走向)外均为NNE走向,主要呈串联或斜列式复合。断陷边界均为铲式断层,上盘常常发育一系列同向正断层组成掀斜断块。铲式断层受复式向斜构造层韧性变形影响,向深部延伸至4000 m甚至更浅处便发生滑脱,因此形成的断陷多表现为浅而宽阔。如高力罕凹陷的高力罕断层北段倾角在埋深1000 m以上为68°,1000~2000 m处约62°,2000~3000 m处约42°,在3000 m以下逐渐滑脱。断层最大断距大于1000

m,基底埋深2500 m左右,断陷宽度近50 km(图2中剖面D-D')。复式向斜断陷带向南部延伸至混杂岩带终止,受以右行走滑作用为主的混杂岩带影响,断陷表现为浅而狭长。如高力罕凹陷南洼槽基底埋深约2500 m,而洼槽宽度约20 km(图2中剖面B-B')。

3.2 变换构造

变换构造是与伸展方向平行或斜交的断层、构造带,通常具有走滑或斜滑作用。伸展断层穿过变换构造一般表现为位移量、倾向、走向等变化^[27,32]。在乌尼特拗陷,变换构造可以位于断陷内部以调节单个断陷伸展断层构造变化,也可以位于首尾相连的断陷之间以调节伸展断层叠覆位置构造变化。

乌尼特拗陷内主边界断层平面延伸方式主要为两种:简单弧形或波状延伸,其中后者居多。它们实际上是多个分段断层通过变换构造连接而成,分段断层间以变换构造为桥梁相互作用。如高力罕凹陷的主边界断层高力罕断层由北向南分为三段式,分别控制3个洼槽的形成演化,它们通过哈拉根图变换带(图3中A)及高力罕走向斜坡(图3中B)彼此连接相互作用。哈拉根图变换带主要由哈拉根图变换断层及一些小型横向断层组成。其中哈拉根图断层走向近EW向,具有左行走滑特征,与高力罕及其他主干伸展断层(图3中的①、②、③、④)同期形成并活动,共同控制北部各洼槽及断阶带的地层沉积。高力罕走向斜坡连接高力罕断层的中段和南段,中段断层的伸展应变通过走向斜坡逐渐传递至南段断层。

乌尼特拗陷内2个首尾相连断陷的主边界断层叠覆位置也常常发育一些与区域伸展方向近于平行的构造带,穿过这类构造带断陷极性一般发生变化。它们也属于变换构造范围,通过断层的倾向关系主要识别两种类型,即背向型(divergent)与相向型(convergent)。背向型变换带,顾名思义2条主边界断层背向倾斜,在断层叠覆区域形成“垒式”构造带,如迪彦庙与巴彦花凹陷(图4-a)。相向型变换带即2条主边界断层相向倾斜,断层叠覆区域形成“堑式”构造带,如阿拉达布斯与布日墩凹陷(图4-b)。一般背向型变换带由于2条主边界断层背向倾斜,构造带范围相对狭窄。而相向型变换带因2条主边界断层相向倾斜,在深部逐渐聚敛,构造带范

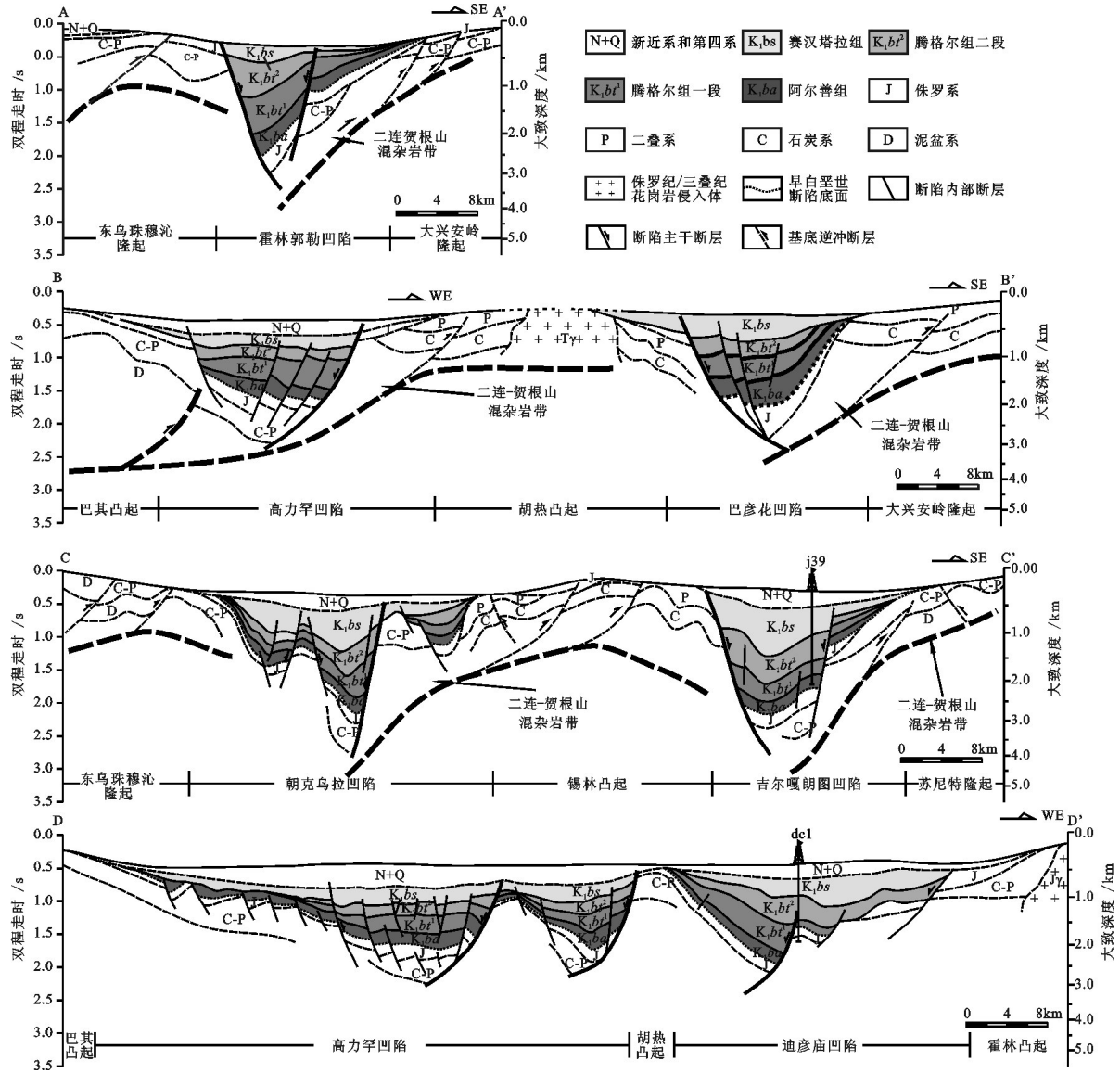


图2 乌尼特坳陷典型断陷构造剖面图
 剖面位置见图1;图中实线依据地震剖面解释;浅层虚线依据地面地质图解释,
 深层虚线依据华北油田内部万重、磁资料^①推测

Fig. 2 Typical sections of faulted-sag in Wunite Depression

Positions of sections are seen in Fig. 1; The solid lines are interpreted by seismic data, the dashed lines in subsurface are interpreted based on geological outcrops and in deep level are inferred by gravity/magnetic data

围相对宽阔,沉积地层也较背向型变换带厚度大。但不论是背向型还是相向型变换带,都是由于倾向相反的两条主边界断层在叠覆的岩桥区域发生应力传递所致。因此,在穿过这类变换构造带时,断陷极性常常发生变化,剖面上表现为断陷边界断层位移量的此消彼长。

4 成盆演化过程

二连盆地整体经历3期构造演化,形成2个区域性不整合面^[34]。前裂陷期为晚侏罗世至早白垩世早期,伴随大量火山活动,主要沉积晚侏罗火山碎屑岩^[35,36],前人研究侏罗系岩性厚度等变化受断层

^① 东方地球物理公司综合物化探事业部.二连盆地及周边重磁电资料研究及新断陷优选评价(华北油田二连勘探部项目成果).2009.

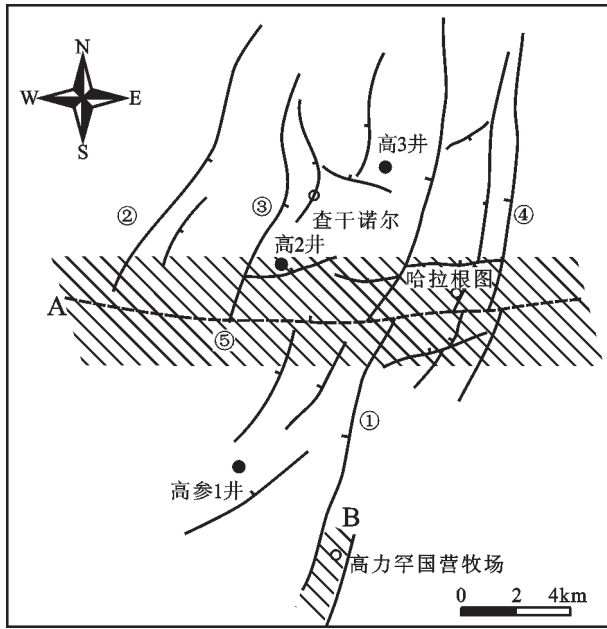


图3 高力罕凹陷变换构造示意图(图中断层依据地震资料解释)

- 1—变换带:A—哈拉根图变换带,B—高力罕走向斜坡;
 2—主干断层:①—高力罕断层;②—呼格吉勒图断层;
 ③—查西斯断层;④—胡热诺尔断层;⑤—哈拉根图变换断层
 Fig.3 Transform structures in Gaolihan faulted-sag
 1— Transfer zones (TZ): A—Halagentu TZ, B—Gaolihan TZ;
 2—Major faults: ①—Gaolihan fault; ②—Hugejiletu fault;
 ③—Chaxisi fault; ④—Hutetu fault; ⑤—Halagentu transfer fault

控制较小^[15]。裂陷期变形地层主要为巴彦花群阿尔善组(K₁ba)和腾格尔组(包括K₁bt¹及K₁bt²),与下伏晚侏罗世地层形成区域性角度不整合。此阶段伴

随强烈构造沉降,形成一系列地堑、半地堑。后裂陷期变形地层主要为巴彦花群赛汉塔拉组(K₁bs),主要表现为地层下沉拗陷。盆地在早白垩世末期发生反转剥蚀,致使大部分区域上白垩统缺失,盆地演化至此结束。乌尼特拗陷属于二连盆地一部分,与整个盆地一样经历3期构造演化,其中早白垩世的伸展演化主体为裂陷期及后裂陷期,具有其独特的演化特征。

根据断陷内沉积地层所记录的变形特征分析乌尼特拗陷早白垩世伸展包括裂陷期及后裂陷期2期共4个阶段,演化模式如图5。阿尔善组沉积时(图5-a)为断陷初期,拗陷内主要发育一些小型断陷,其边界断层为高角度同生正断层,控制地层沉积,断面较陡,平面上表现为简单的弧形。各断陷相对独立,自成体系,物源主要来自于周边高地。腾格尔组一段沉积时期(图5-b),随着伸展量的加大,断陷边界断层逐渐侧向扩展/传递(lateral propagation),相邻断层以走向斜坡或变换断层的方式侧向连接。此时边界断层向深部延伸的断面相对变缓,初具铲式断层的雏形。早期相对独立断陷也随边界断层侧向扩展连接成为统一断陷,物源多来自于断层连接处的构造变换带及断陷斜坡带。也有一些小型断陷边界断层没有向两侧扩展,而是活动较弱或趋于停止(图5中的X、Y、Z断层)。对于这类断层前人研究认为是由于构造应力集中于其他断块,它们处于构造应力影(stress shadow)中

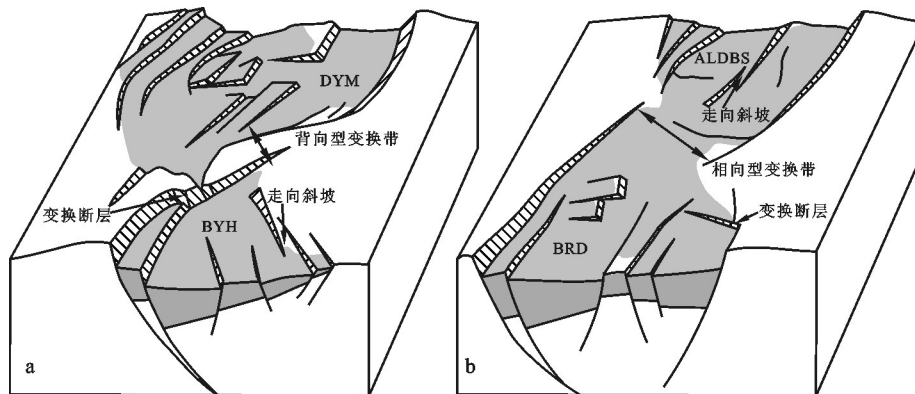


图4 乌尼特拗陷早白垩世断陷间变换构造模型(模型范围见图1)^[33]

- 1—构造变换带模型:a—背向型变换带;b—相向型变换带;2—早白垩世断陷:DYM—迪彦庙;
 BYH—巴彦花;ALDBS—阿拉达布斯;BRD—布日墩

Fig. 4 The model of TZ between fault-sags in Wunite Depression (for range of model see Fig.1)^[33]

- 1— Transfer zone models: a—Divergent TZ model; b—Convergent TZ model; 2—Early Cretaceous faulted-sags: DYM—Diyanmiao;
 BYH—Bayanhua; ALDBS—Aladabusi; BRD—Buriduan

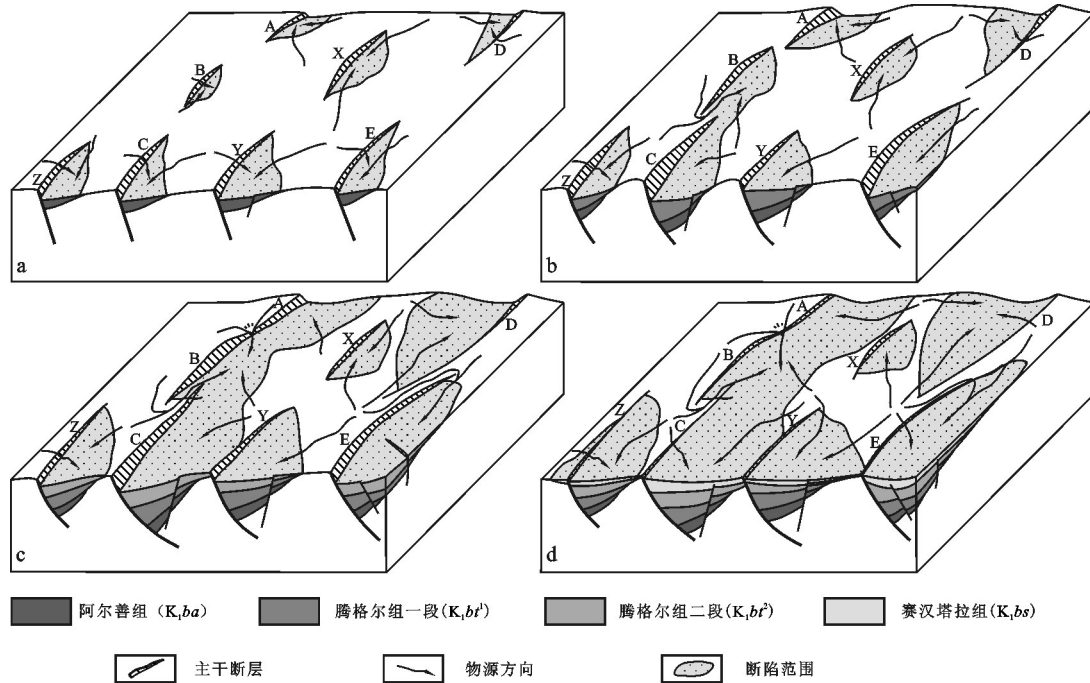


图5 乌尼特拗陷早白垩世断陷演化示意图^[10]

沉积期: a—阿尔善组沉积期; b—腾格尔组一段沉积期; c—腾格尔组二段沉积期; d—赛汉塔拉组沉积期

Fig. 5 The evolution model of fault-sags in Wunite Depression^[10]

Sedimentation period: a—Aershan Formation sedimentation period; b—1st member of Tenggar Formation sedimentation period; c—2nd member of Tenggar Formation sedimentation period; d—Saihantala Formation sedimentation period

的原因^[36,10]。腾格尔组二段沉积时期(图5-c), 伸展应力持续作用, 断面向深部延伸时可能进一步变缓而成为真正的铲式断层。处于应力集中地带的断层继续侧向扩展连接成为区域性贯通边界断层(图5中的A、B、C及D、E断层)。由于区域性贯通边界断层是通过变换断层或走向斜坡等变换构造连接而成, 因此在平面上表现为由多个分段连接而成。其上盘也成为具有多个次级沉积中心的大型复式断陷, 物源仍主要来自于断层连接处的构造变换带及断陷斜坡带(图5-c)。赛汉塔拉组沉积时期(图5-d), 伸展作用减弱或趋于停止, 贯通的边界断层活动基本停止, 物源来自于断陷周边各个方向, 此时断陷进入了后裂陷期。

通过以上分析可见, 乌尼特拗陷早白垩世断陷的成盆演化大致经历了3个过程。早白垩世早期, 乌尼特拗陷由多个相互独立的小型断陷组成, 断陷自成体系, 物源主要来自于断陷周边高地, 断层平面上主要为简单弧形; 早白垩世中期, 随着伸展量不断加大, 相邻断陷边界断层逐渐侧向连接成为区

域性贯通边界断层, 陡坡带物源主要来自于断层连接处的变换构造, 断层平面上多呈分段式的波状延伸。相邻断陷侧向连接成为统一的大型复式断陷, 具有多个次级沉积、沉降中心; 早白垩世晚期, 边界断层基本停止活动, 物源来自于断陷周边, 断陷下沉拗陷进入后裂陷期。

5 讨论

乌尼特拗陷大部分地区植被覆盖且目前只有吉尔嘎朗图中部覆盖三维地震, 其他凹陷覆盖二维地震, 因此对该凹陷的勘探进程一直进展缓慢。就目前的地震资料显示乌尼特拗陷内断陷基本结构及演化过程与其他拗陷有共同之处, 即多为箕状断陷且均经历3期演化过程^[3,4,7], 但断陷内部沉积地层也存在较大差异性。乌尼特拗陷侏罗系沉积厚度总体较薄, 最厚处: 巴彦花凹陷约为800 m, 而在乌里雅斯太凹陷约为2500 m, 阿南凹陷约为2300 m。研究区侏罗系厚度受断层影响较小, 但在阿南凹陷明显受主边界断层控制^[15]。反转构造在研究区内发

育相对较少,仅表现为部分地层的挠曲现象(图2中剖面C-C'与剖面D-D')。而在乌尼特拗陷北部马尼特拗陷内的巴音都兰凹陷,发育典型的压性断层扩展褶皱,前人研究称之为包楞构造^[38]。这些地层及结构上的现象说明二连盆地内各拗陷结构在共性的基础上也存在着明显异性,而这些异性很有可能与基底性质、结构或构造走向等存在密切联系。二连盆地周边其他的早白垩世裂陷盆地,如东戈壁、银根、塔木察格、海拉尔等也发育一系列的箕状断陷^[39],且经历3期演化过程^[10,12]。这些盆地均为NE/NNE走向,早白垩世受NW-SE向伸展应力作用^[40],有学者分析发现这些盆地发育范围与早期增厚的岩石圈相吻合,认为这类盆地是由于向北俯冲的鄂霍茨克板片脱落后,增厚的岩石圈在重力作用下导致的伸展^[10,12,14,41,42],但白垩纪时期大陆地壳实际是略微减薄。也有学者分析认为是太平洋板块俯冲作用导致的弧后伸展^[9,13],但中国大陆距离岛弧上千千米,弧后扩张作用甚微^[40]。近年有学者对中国大陆19个地区的中、新生代差应力值进行测试分析发现差应力值总体表现为由西南向东北逐渐减小,这一现象说明中、新生代构造动力主要来源于西南部,与印度板块北移、特提斯洋缩小存在密切联系^[40]。但东戈壁、银根等盆地发育大量的低角度拆离断层及变质核杂岩^[10,42]而二连盆地基本不发育这一现象说明在统一的动力学背景下盆地的发育也可能受控于多方因素的影响。

6 结 论

通过对乌尼特拗陷伸展构造特征与演化过程的总体分析主要得到以下结论:

(1)乌尼特拗陷主要发育伴生单侧主边界断层的地堑、半地堑。主边界断层浅层表现为高角度正断层,向深部延伸时表现为铲式。受基底构造变形影响滑脱深度不同,混杂岩带主边界断层在混杂岩深层滑脱,复式向斜带主边界断层在复式向斜浅层滑脱。

(2)断陷内部主边界断层位移量主要通过变换断层及走向斜坡等进行调节/传递。首尾相连的断陷间主要通过狭窄的背向型(divergent)及宽阔的相向型(convergent)变换带进行构造变换,穿过变换带断陷极性常常发生变化。

(3)乌尼特拗陷早白垩世演化分为3个过程。早白垩世早期,拗陷由多个相互独立的小型断陷组成,自成体系;早白垩世中期,随着伸展量不断加大,相邻断陷边界断层逐渐侧向连接成为区域性边界断层,相邻断陷侧向连接成为大型复式断陷;早白垩世晚期,断陷群下沉拗陷进入后裂陷期。

致谢:本文在写作过程中得到了师兄、妹的帮助,审稿专家和编辑部老师提出了宝贵修改意见,在此表示衷心的感谢!

参考文献(References):

- [1] 马杏垣,刘和甫,王维襄,等.中国东部中、新生代裂陷作用和伸展构造[J].地质学报, 1983, 56(1): 22-32.
Ma Xingyuan, Liu Hefu, Wang Weixiang, et al. Meso-Cenozoic taphrogeny and extensional tectonics in eastern China[J]. Acta Geologica Sinica, 1983, 56(1): 22-32 (in Chinese with English abstract).
- [2] 刘和甫,梁慧社,李晓清等.中国东部中生代裂陷盆地与伸展山岭耦合机制[J].地学前缘, 2000, 7(4): 477-486.
Liu Hefu, Liang Huishe, Li Xiaoqing, et al. The Coupling Mechanisms of Mesozoic-Cenozoic Rift Basins and Extensional Mountain System in Eastern China[J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4):477-486 (in Chinese with English abstract).
- [3] 费宝生.二连盆地构造演化特征及与油气关系[J].大地构造与成矿学, 1985, 9(2):121-131.
Fei Baosheng. Tectonic evolution of the Erlian Basin and its Bearing on Oil and Gas[J]. Geotectonica et Metallogenia, 1985, 9(2):121-131 (in Chinese with English abstract).
- [4] 王同和.二连盆地石油地质构造特征初探[J].石油实验地质, 1986, 8(4):313-324.
Wang Tonghe. A preliminary study on the Erlian Basin characteristics for structural petroleum geological[J]. Petroleum Geology & Experiment, 1986, 8(4):313-324 (in Chinese with English abstract).
- [5] 于英太.二连盆地演化特征及油气分布[J].石油学报, 1990, 11(3):12-20.
Yu Yingtai. Evolution characteristics of Erlian basin and the distribution of oil and gas deposits[J]. Acta Petrolei Sinica, 1990, 11(3):12-20 (in Chinese with English abstract).
- [6] 王冰.二连中生代盆地群构造地质特征与油气[J].石油实验地质, 1990, 12(1):8-20.
Wang Bing. Characteristics of tectonic geology and hydrocarbon for Mesozoic Erlian Basins[J]. Petroleum Geology & Experiment, 1990, 12(1):8-20 (in Chinese with English abstract).
- [7] 易士威,李正文,焦贵浩.二连盆地断陷结构与成藏模式[J].石油勘探与开发, 1998, 25(2):8-14
Yi Shiwei, Li Zhengwen, Jiao Guihao. The depression structure

- and accumulation model in Erlian Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1998, 25(2):8–14 (in Chinese with English abstract)
- [8] 李思田, 路凤香, 林畅松, 等. 中国东部及邻区中、新生代盆地演化及地球动力学背景[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997:1–239.
Li Sitian, Lu Fengxiang, Lin Changsong, et al. Evolution of Mesozoic and Cenozoic Basins in Eastern China and their Geodynamic Background[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997:1–239 (in Chinese with English abstract).
- [9] 肖安成, 杨树锋, 陈汉林. 二连盆地形成的地球动力学背景[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(2):137–140.
Xiao Ancheng, Yang Shufeng, Chen Hanlin. Geodynamic Background on Formation of Erlian Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2001, 22(2):137–140 (in Chinese with English abstract).
- [10] 孟庆任, 胡健民, 袁选俊, 等. 中蒙边界地区晚中生代伸展盆地的结构、演化和成因[J]. 地质通报, 2002, 21(4/5):224–231.
Meng Qingren, Hu Jianmin, Yuan Xuanjun, et al. Structure, evolution and origin of Late Mesozoic extensional basins in the China–Mongolia border region[J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(4/5):224–231 (in Chinese with English abstract).
- [11] Ren J Y, Tamaki K, Li S T, et al. Late Mesozoic and Cenozoic rifting and its dynamic setting in Eastern China and adjacent areas[J]. *Tectonophysics*, 2002, 344:175–205.
- [12] Meng Q R, Hu J M, Jin J Q, et al. Tectonics of the late Mesozoic wide extensional basin system in the China–Mongolia border region[J]. *Basin Research*, 2003, 15:397–415.
- [13] 任建业, 李思田, 焦贵浩. 二连盆地群伸展构造系统及其发育的深部背景[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1998, 23(6):567–572.
Ren Jianye, Li Sitian, Jiao Guihao. Extensional tectonic system of Erlian Fault Basin Group and its deep background[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 1998, 23(6):567–572 (in Chinese with English abstract).
- [14] Zheng Y D, Wang T. Kinematics and dynamics of the Mesozoic orogeny and LATE–orogenic extensional collapse in the Sino–Mongolian border areas[J]. *Science in China (D)*, 2005, 48(7):846–862.
- [15] 崔永谦, 童亨茂, 李先平, 等. 二连盆地早燕山期构造体制及原型盆地推测[J]. 地质学报, 2011, 85(8):1265–1273.
Cui Yongqian, Tong Hengmao, Li Xianping, et al. The deep physical geographic characteristics and Neopaleozoic geological structural exploration of Erlian Basin, Inner Mongolia, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2011, 30(8):235–242 (in Chinese with English abstract).
- [16] 吴福元, 叶茂, 张世红. 中国满洲里—绥芬河地学断面域的地球动力学模型[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1995, 20(5):535–539.
Wu Fuyuan, Ye Mao, Zhang Shihong. Geodynamic model of the Manzhouli–Suifenhe Geoscience Transect[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 1995, 20(5):535–539 (in Chinese with English abstract).
- [17] 张兴洲, 杨宝俊, 吴福元, 等. 中国兴—蒙地区岩石圈结构基本特征[J]. 中国地质, 2006, 33(4):816–823.
Zhang Xingzhou, Yang Baojun, Wu Fuyuan, et al. The lithosphere structure in the Hingmong– Jihei (Hinggan–Mongolia–Jilin–Heilongjiang) region, northeastern China[J]. *Geology in China*, 2006, 33(4):816–823 (in Chinese with English abstract).
- [18] 刘国兴, 张志厚, 韩江涛, 等. 兴蒙、吉黑地区岩石圈电性结构特征[J]. 中国地质, 2006, 33(4):824–831.
Liu Guoxing, Zhang Zhihou, Han Jiangtao, et al. Features of the electric structure of the lithosphere beneath the Mongolia and Jilin–Heilongjiang regions[J]. *Geology in China*, 2006, 33(4):824–831 (in Chinese with English abstract).
- [19] 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 2009, 36(1):1–28.
Pan Guitang, Xiao Qinghui, Lu Songnian, et al. Subdivision of tectonic units in China[J]. *Geology in China*, 2009, 36(1):1–28 (in Chinese with English abstract).
- [20] 李双林, 欧阳自远. 兴蒙造山带及邻区的构造格局与构造演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1998, 18(3):45–54.
Li Shuanglin, Ouyang Ziyuan. Tectonic framework and evolution of Xing'anling–Mongolian Orogenic Belt (XMOB) and its adjacent region[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1998, 18(3):45–54 (in Chinese with English abstract).
- [21] Ren J Y, Li S T, Lin C S. Late Mesozoic in continental rifting and basin formation in Eastern China[J]. *Journal of China University of Geosciences*, 1997, 8(1):40–44.
- [22] 邵济安, 牟保磊, 张履桥. 华北东部中生代构造格局转换过程中的深部作用与浅部响应[J]. 地质论评, 2000, 46(1):32–40.
Shao Ji'an, Mu Baolei, Zhang Lvqiao. Deep geological process and is shallow response during Mesozoic transfer of tectonic frameworks in eastern North China[J]. *Geological Review*, 2000, 46(1):32–40 (in Chinese with English abstract).
- [23] 王涛, 郑亚东, 张进江, 等. 华北克拉通中生代伸展构造研究的几个问题及在岩石圈减薄研究中的意义[J]. 地质通报, 2007, 26(9):1154–1166.
Wang Tao, Zheng Yadong, Zhang Jinjiang, et al. Some problems in the study of Mesozoic extensional structure in the North China craton and its significance for the study of lithospheric thinning[J]. *Geological Bulletin of China*, 2007, 26(9):1154–1166 (in Chinese with English abstract).
- [24] Liu S F, Su S, Zhang G W. Early Mesozoic basin development in North China: Indications of cratonic deformation[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 62(30):221–236.
- [25] Meng Q R, Wei H H, Wu G L, et al. Early Mesozoic tectonic settings of the northern North China craton[J]. *Tectonophysics*, 2013, 611(25):155–166.

- [26] 吴根耀.白垩纪:中国及邻区板块构造演化的一个重要变换期[J]. 中国地质, 2006, 33(1):64-77.
Wu Genyao. Cretaceous: A key transition period of the plate tectonic evolution in China and its adjacent areas[J]. *Geology in China*, 2006, 33(1):64-77 (in Chinese with English abstract).
- [27] Morley C K, Nelson R A, Patton T L, et al. Transfer zones in the East African rift system and their relevance to hydrocarbon exploration in rifts[J]. *AAPG Bulletin*, 1990, 74(8):1234-1253.
- [28] Younes A I, McClay K. Development of an accommodation zones in the Gulf of Suez- Ted Sea rift, Egypt[J]. *AAPG Bulletin*, 2002, 86:1003-1026.
- [29] 陈发景, 汪新文, 陈昭年. 伸展断陷中的变换构造分析[J]. 现代地质, 2011, 25(4):617-625.
Chen Fajing, Wang Xinwen, Chen Zhaonian. Analysis of transform structures in extensional fault depressions[J]. *Geoscience*, 2011, 25(4):617-625 (in Chinese with English abstract).
- [30] Wernicke B. Low angle normal faults in the basin and range Province: nappe tectonics in an extending orogen[J]. *Nature*, 1981, 291:645-6482.
- [31] Lister G S, Etheridge M A, Symonds P A. Detachment models for the formation of passive continental margins [J]. *Tectonics*, 1991, 10(5):1 038-1064.
- [32] Faulds J E, Varga R J. The role of accommodation zones and transfer zones in the regional segmentation of extended terranes. [C]//Faulds J E, Stewart J H, ed. *Accommodation zones and transfer zones: the regional segmentation of the Basin and Range Province*. Bulder Colorado, Geological Society of American Special Paper, 1998, 323:1-42.
- [33] Debapriya P, Shankar M. Experimental models of transfer zones in rift systems[J]. *AAPG Bulletin*, 2013, 97(5):759-780.
- [34] Graham S A, Hendrix M S, Johnson C L, et al. Sedimentary record and Tectonic implications of Mesozoic rifting in southern Mongolia[J]. *Geological Society of America*, 2001, 113:1560-1579.
- [35] Wang F, Zhou X H, Zhang L C, et al. Late Mesozoic volcanism in the Great Xing'an Range (NE China):Timing and implications for the dynamic setting of NE Asia[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2006, 251:179-198.
- [36] Christophe B, Fabrice M, Vincent H, et al. Sedimentology, stratigraphy and palynological occurrences of the late Cretaceous Erlian Formation, Erlian Basin, Inner Mongolia, People's Republic of China[J]. *Cretaceous Research*, 2014, 48:177-192.
- [37] Gawthorpe R L, Leeder M R. Tectono-sedimentary evolution of active extensional basins[J]. *Basin Research*, 2000, 12:195-218.
- [38] 李心宁, 王同和. 二连盆地反转构造与油气[J]. 中国海上油气(地质), 1997, 11(2):106-110.
Li Xinning, Wang Tonghe. Inversion structures and oil-gas in Erlian Basin[J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 1997, 11(2):106-110 (in Chinese with English abstract).
- [39] 李松, 毛小平, 汤达祯, 等. 海拉尔盆地呼和湖凹陷煤成气资源潜力评价[J]. 中国地质, 2007, 36(6):1350-1358.
Li Song, Mao Xiaoping, Tang Dazhen, et al. Resource assessment of coal-derived gas in Huhehu depression, Hailar Basin[J]. *Geology in China*, 2007, 36(6):1350-1358 (in Chinese with English abstract).
- [40] 万天丰. 中国大地构造学[M]. 北京:地质出版社, 2011:1-387.
Wan Tianfeng. *The Tectonics of China*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011:1-497(in Chinese).
- [41] Yin A, Nic S. A Phanerozoic Palinspastic Reconstruction of China and its Neighboring Regions[M]. Cambridge:Cambridge University Press, 1996, 442-485.
- [42] Meng Q R. What drove late Mesozoic extension of the northern China-Mongolia tract?[J]. *Tectonophysics*, 2003, 369:155-174.