

二连盆地早白垩世复式断陷构造类型 及其石油地质意义

赵贤正^{1,2}, 金凤鸣¹, 漆家福², 王 权¹, 杨明慧², 史原鹏¹, 董雄英¹

(1. 中国石油华北油田分公司, 河北 任丘 062552; 2. 中国石油大学(北京), 北京 102249)

摘要:二连盆地下白垩统充填在一系列 NE—NNE 向基底断层控制的地堑、半地堑断陷中, 可以划分为 5 个拗陷和 4 个隆起。根据断陷及其主控断层的组合方式可以将复式断陷划分为串联式、并联式、斜列式和交织式等 4 个类别, 每一类又可以分为同向半地堑复合、相向半地堑复合、地堑与半地堑复合和地堑与地堑复合等 4 种型式。复式断陷带(群)的分布主要受海西期基底软弱带控制, 构成的 5 个拗陷的延伸方向各不相同。二连盆地下白垩统的含油气性与复式断陷结构、裂陷作用方式密切相关: 正向裂陷作用形成以串联式、串联斜列式复合为主的复式断陷, 有利于发育具有深洼槽的断陷湖盆, 为烃源岩发育创造了条件; 斜向裂陷作用形成的以斜列式、并联式复合为主的复式断陷, 有利于发育具有宽缓斜坡、台地的断陷湖盆, 发育斜坡相烃源岩; 隆起上零星散布的断陷多是在刚性基底上发育的, 边界断层陡倾且位移量大的断陷更利于形成发育烃源岩的深陷湖盆。

关键词: 复式断陷; 构造样式; 富油凹陷; 下白垩统; 二连盆地

中图分类号: TE121.2

文献标志码: A

文章编号: 1672-1926(2015)07-1289-10

引用格式: Zhao Xianzheng, Jin Fengming, Qi Jiafu, *et al.* The structural types and petroleum geological significance of Early Cretaceous complex faulted sag in Erlian Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(7): 1289-1298. [赵贤正, 金凤鸣, 漆家福, 等. 二连盆地早白垩世复式断陷构造类型及其石油地质意义[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(7): 1289-1298.]

0 引言

大陆岩石圈或地壳在引张作用下发生破裂形成以基底正断层控制的裂陷盆地^[1-2]。裂陷盆地的内部结构主要与控制盆地形成演化的基底断裂系统有关。一条一定规模的基底正断层的伸展变形即会导致断层上盘下降形成一个相对独立的断陷, 这一断陷的结构和构造—沉积演化主要受边界断层的几何学、运动学特征控制。多条基底断层组合在一起并发生伸展变形, 使它们之间的一些公共断块下降可以形成一个结构更加复杂的断陷。这种复杂的断陷可以称为断陷群或复式断陷。断陷群的结构形态、层序充填特征等受相互作用的多条基底断层的组合

形式及其演化特征控制^[3-6], 或者说基底断层系统的几何学、运动学特征与裂陷盆地的结构样式、沉积充填特征有密切关系^[7-8]。大型裂陷盆地往往包含众多不同尺度的断陷, 基底断裂系统不仅控制裂陷盆地结构和沉积充填, 也直接或间接地影响盆地的石油地质条件。位于阴山山脉以北、大兴安岭山脉以西的二连盆地是在内蒙古—大兴安岭海西褶皱带基础上发育的中生代陆相盆地^[9-10], 充填的陆相地层包括侏罗系、下白垩统、上白垩统等三大层序, 缺失三叠系。其中, 下白垩统是主要的含油、含煤碎屑岩层, 明显受控于基底断裂系统, 充填在一系列 NNE—NE 向正断层或走滑正断层控制的断陷中。基底断层组合形式及其活动性的差异导致不同的断

收稿日期: 2014-10-08; 修回日期: 2014-12-08.

基金项目: 国家科技重大专项(编号: 2011ZX05006-005); 中国石油天然气股份有限公司重大科技专项(编号: 2014E-035)联合资助。

作者简介: 赵贤正(1962-), 男, 浙江义乌人, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事石油地质综合研究与勘探管理及煤层气勘探与开发研究。

E-mail: xzzhao@petrochina.com.cn.

陷在结构形态、沉积充填等方面的差异,继而导致不同断陷含油性的差异。本文试图从分析控制断陷的基底断层的组合入手探讨二连盆地早白垩世断陷构造特征与盆地结构、沉积充填的关系,并讨论盆地内部不同构造—沉积单元石油地质条件的差异性。

1 二连盆地构造基本特征

二连盆地是一个结构复杂的裂陷盆地,其中由正断层或走滑正断层控制的裂陷阶段的沉积层序主要是下白垩统。二连盆地下白垩统自下而上划分为阿尔善组、腾格尔组和赛汉塔拉组等 3 个岩石地层单位^[11-12]。按照我国石油天然气行业的含油气盆地构造单元划分标准(SY/T5978-94)^[13],根据华北油田勘探资料揭示的下白垩统分布特征可以将二连盆地划分为马尼特、乌兰察布、川井、乌尼特和腾格尔等 5 个坳陷(二级负向构造单元)和巴音宝力格、东乌珠穆沁、苏尼特和温都尔庙等 4 个隆起(二级正向构造单元)。坳陷、隆起内部也具有“凹”、“凸”结构,进一步可根据下白垩统沉积厚度的横向变化划分为一系列凹陷(三级负向构造单元)(图 1)。“凹陷”是相对独立的构造—沉积单元,在平面上几乎都表现

为 NNE—NE 向延伸、长约 100~150km、宽约 20~50km 的长条形形态,在剖面上则表现为由一条或多条基底正断层控制的(复式)半地堑或地堑断陷结构(图 2),充填的下白垩统厚度一般为 2 000~4 000m,局部厚度可以超过 5 000m。二连盆地内部的凹陷大多数是集中分布在坳陷中,部分孤立分散在隆起上。坳陷内部中的凹陷相对较深,在地形上是相对低洼地带,下白垩统断陷之上有新生界或上白垩统[图 2(a),图 2(c)],分隔凹陷的凸起(三级正向构造单元)幅度较小,甚至也有较薄的上白垩统、新生界覆盖使它与相邻的凹陷联系在一起[图 2(c)]。隆起则是凸起集中分布、相互连接的构造单元,而且大部分凸起上甚至缺失上白垩统[图 2(b)]。如果将由一条区域规模的基底正断层上盘下降形成的半地堑看作是一个简单的断陷,二连盆地内部的凹陷可以表现为单条基底正断层控制的简单断陷,也可以是由多条基底正断层控制的复式断陷。后者也可以称为断陷群。坳陷是多个断陷、断陷群组合在一起构成规模更大的构造—沉积单元,它们的演化与控制断陷、断陷群的基底断裂系统的构造特征及演化过程有密切关系。

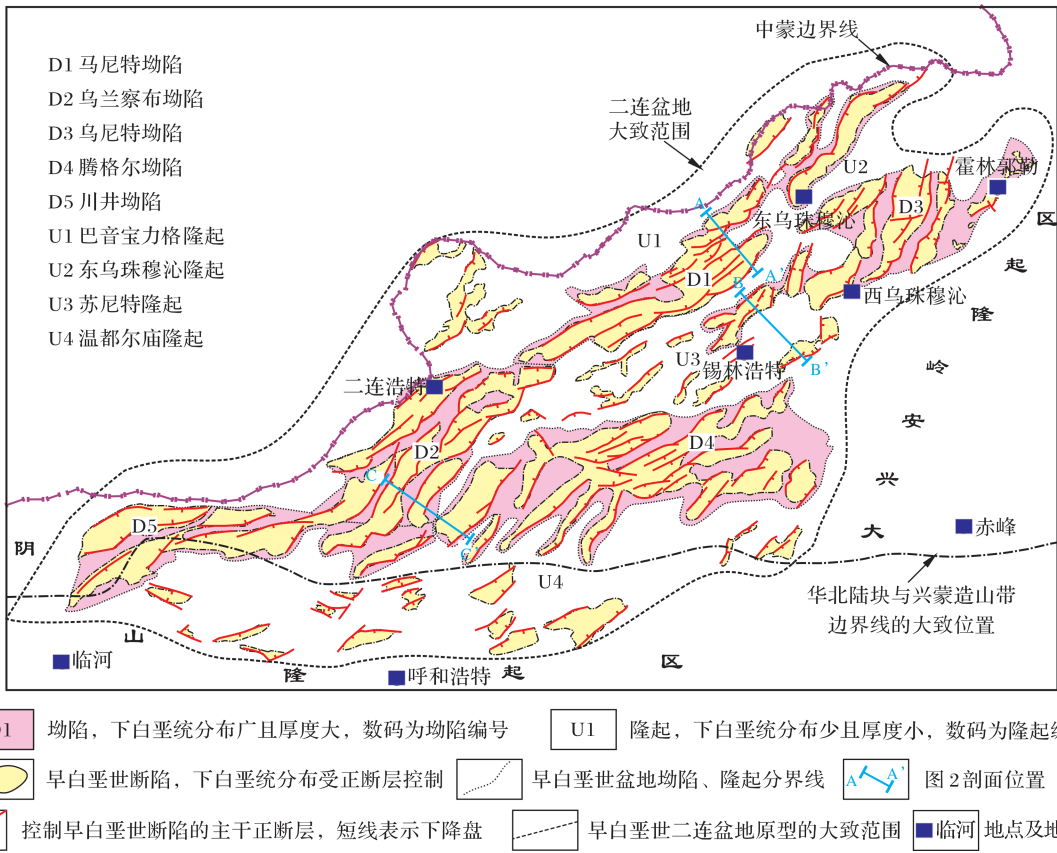


图 1 二连盆地构造单元分布

Fig. 1 The distribution of tectonic units in Erlian Basin

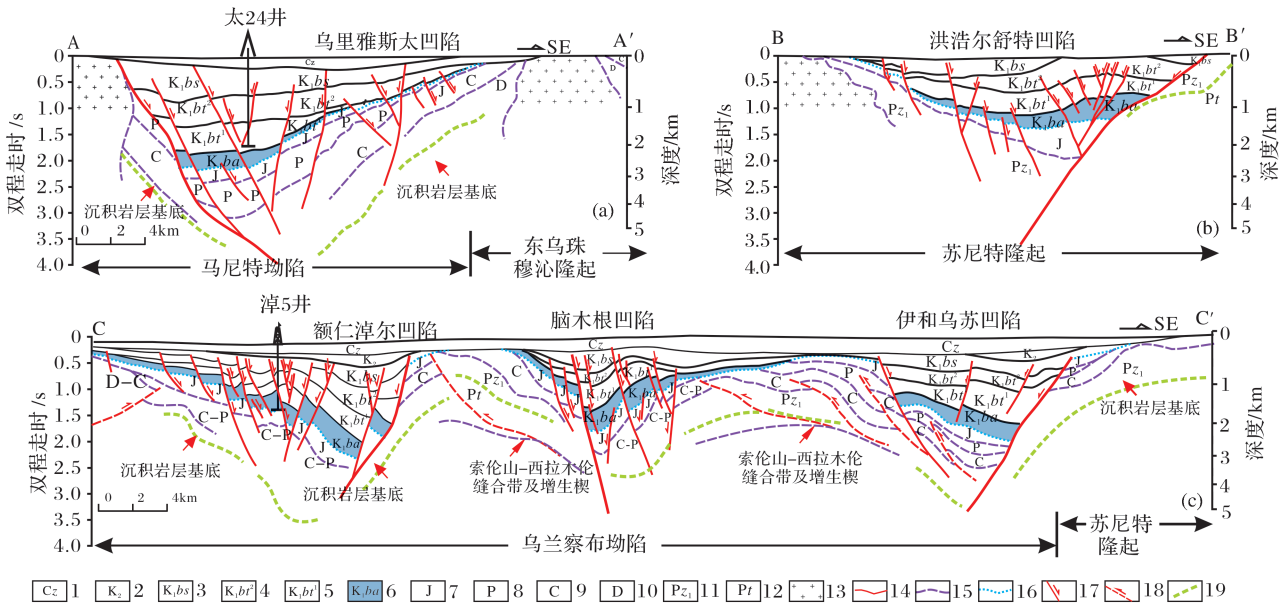


图 2 二连盆地典型凹陷结构剖面(剖面位置见图 1)
Fig. 2 Typical sections of faulted sag in Erlian Basin

1 新生界;2 上白垩统;3 下白垩统巴彦花群赛汉塔拉组;4 下白垩统巴彦花群腾格尔组二段;5 下白垩统巴彦花群腾格尔组一段;6 下白垩统巴彦花群阿尔善组;7 侏罗系;8 二叠系;9 石炭系;10 泥盆系;11 下古生界;12 元古界(结晶基底);13 花岗岩或花岗闪长岩侵入体;14 依据地震剖面解释的地层界面;15 依据地震资料、重磁资料和露头岩层分布推测的地层界面;16 早白垩世断陷底面(据地震剖面解释);17 断陷内部正断层,粗线表示主干正断层;18 依据地震资料、重磁资料推测的基底逆冲断层;19 依据地震资料、重磁资料推测的沉积岩层基底面

二连盆地基底属于兴蒙褶皱造山带,基底的构造线方向、地壳组成及结构形式表现出极不均一的特点。在潘桂棠等^[14]划分的区域大地构造单元图中,将天山—兴蒙造山系细分为若干二级、三级构造单元。二连盆地不同部分的基底属于不同的二级、三级大地构造单元。2条重要的区域性深大断裂带将二连盆地基底分隔为具有不同基底构造线方向、不同地壳结构性质的三大区块,即 NE—NEE 向二连—贺根山深大断裂带(混杂岩带)及其北侧发育一系列自北而南构造线方向由 NNE—NE 向转为 NEE 向弧形褶皱和基底断裂;近 EW 向温都尔庙—西拉木伦深大断裂带(缝合带)及其南侧发育近 EW 向褶皱和基底断层,并向南过渡到华北克拉通;夹持在 2 条区域性深大断裂带之间的区块是古生代岛弧(或微陆块)及环绕岛弧的加里东期、海西期增生褶皱带,构造线走向总体上表现为 NE—NEE 向(图 3)。二连盆地的马尼特坳陷、乌兰察布坳陷、乌尼特坳陷等负向构造单元和巴音宝力格隆起、东乌珠穆沁隆起、苏尼特隆起等正向构造单元的基底都属于兴蒙褶皱造山带,川井坳陷南部、腾格尔坳陷南部及温都尔庙隆起的基底属于华北克拉通北部边缘(图 3)。兴蒙褶皱造山带经历了加里东期、海西期、印支期和早燕山期等多期构造演化,其中海西期构

造变形反映了基底构造的基本格架,形成由北向南构造线方向由 NE 向渐变为近 EW 向的弧形褶皱冲断带,其内部表现为强变形带、弱变形域镶嵌排列的基底结构特征^[15]。NE—NEE 向二连—贺根山深大断裂带和近 EW 向温都尔庙—西拉木伦深大断裂带(缝合带)及两侧的加里东期、海西期褶皱带属于强变形带,镶嵌在褶皱带之间的岛弧(或微陆块)及克拉通属于弱变形域。

二连盆地的隆坳分布与基底构造有密切关系。如图 3 所示,“坳陷(带)”主要沿着基底断裂带、褶皱带等强变形带分布,“隆起(带)”则位于古生代侵入体、岩浆弧、微地块等基底弱变形域分布。马尼特坳陷和乌兰察布坳陷位于二连—贺根山深大断裂带北侧由 NNE—NE 向转为 NEE 向弧形褶皱带上,而且主要是上叠在基底复式向斜之上。乌尼特坳陷位于二连—贺根山深大断裂带之上,川井坳陷和腾格尔坳陷则是位于近 EW 向温都尔庙—西拉木伦深大断裂带(缝合带)之上及南侧的加里东期、海西期增生褶皱带上。但是无论是坳陷边界还是内部断陷的边界断层并不完全受基底断层控制,基底弱变形区域也有早白垩世断陷发育,只是规模较小、孤立分布。沿着基底强变形带成群、成带发育的复式断陷逐渐向基底弱变形域弥散减少、消失,盆地边界模糊。

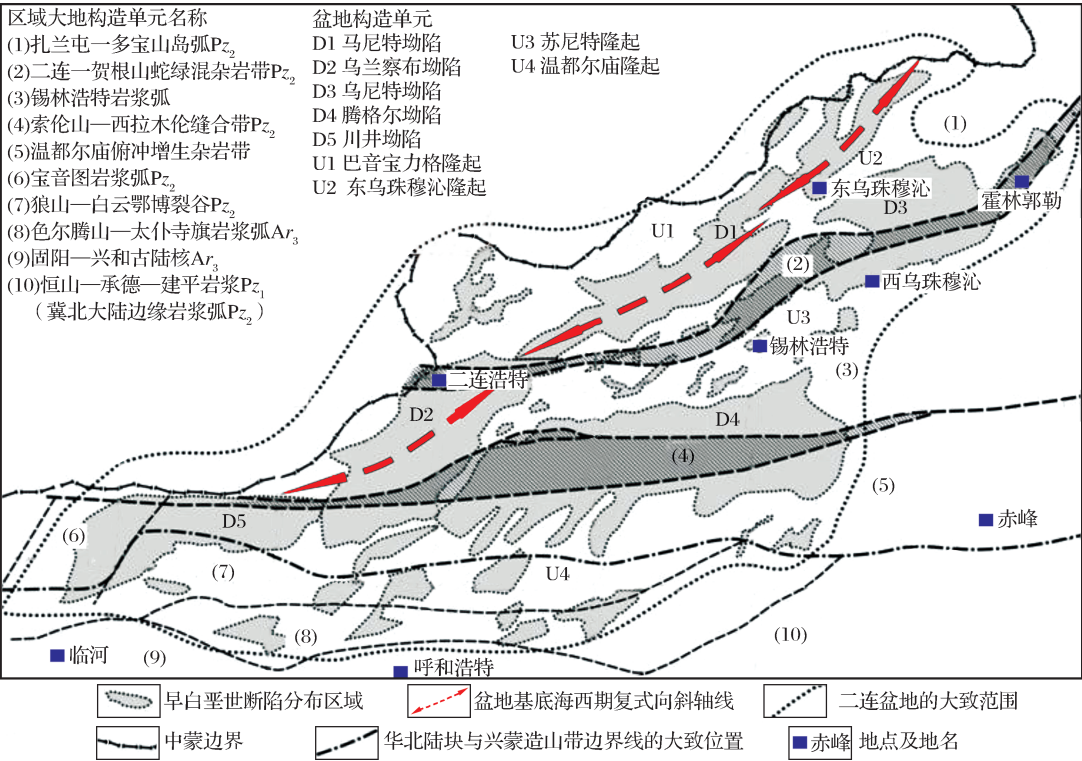


图3 二连盆地基底构造单元与盆地构造单元叠合特征(基底构造单元划分及名称据潘桂棠等^[14],盖层构造单元划分及名称据中国石油华北油田公司^①,略有修改)

Fig. 3 The superimposition of tectonic units of basin and basement

2 早白垩世复式断陷类型及分布规律

断陷可以由单条基底断层活动形成的简单断陷,也可以是由多条基底正断层共同控制形成的由若干小型半地堑复合构成的复式断陷^[16]。前者表现为简单半地堑结构,后者则根据控制断陷的主干基底断层的组合型式分为不同类型。多条基底正断层控制的多个半地堑复合在一起形成的复式断陷按照复合型式可以分为串联式(A)、并联式(B)、斜列式(C)和交织式(D)4种,每种复合还可以分为同向半地堑复合、相向半地堑复合、地堑与半地堑复合和地堑与地堑复合4类(图4)。串联式复合是指沿2条或2条以上走向基本相同的断层位于同一构造带,并使各自上盘的小型半地堑沿走向扩展使其首尾相连复合成为相对统一的断陷(带),复式断陷内部的2个或多个沉降—沉积中心串联在一起。并联式复合是指沿2条或2条以上走向基本相同的断层大致平行排列,并使各自上盘的小型半地堑上超复合成为相对统一的断陷(区),复式断陷内部的2个或多个沉降—沉积中心大致平行并置在一起。斜列

式复合是指2条或2条以上走向基本相同的断层呈雁行展布,并使各自上盘的小型半地堑上超复合成为相对统一的断陷(区),复式断陷内部的2个或多个沉降—沉积中心有规律地斜列,可以分为串联斜列和并联斜列2个亚类。交织式复合是指2条或2条以上走向不同的断层交织在一起,共同控制断块下降形成相对统一的断陷(区),复式断陷内部的多个沉降—沉积中心分别受不同方向断陷控制,呈无序排列。

二连盆地拗陷中充填的下白垩统是由一系列走向大致相同的正断层控制,均具有复式断陷特征。参照图4中的各种概念模型来考察图1所示的二连盆地早白垩世复式断陷的结构,可以看出二连盆地主要拗陷内部的早白垩世断陷多是以串联式或串联斜列式复合构成断陷带,断陷带之间再以并联式或并联斜列式复合在一起构成统一的沉积拗陷。其中,马尼特拗陷和乌兰察布拗陷内部的断陷之间以串联式复合为主,多个断陷之间首尾衔接串联成狭长的断陷带,2~3个断陷带之间再以并联式复合在一起构成断陷走向与拗陷延伸方向基本一致的狭长

① 中国石油华北油田公司. 二连盆地构造沉积演化特征与富油凹陷形成机制研究. 内部报告, 2013.

型沉积拗陷;乌尼特拗陷、腾格尔拗陷和川井拗陷内部的断陷之间以斜列式复合为主,2~3 个断陷斜列构成较短的断陷带,多个断陷带再以并联式或并联斜列式复合在一起构成断陷走向与拗陷延伸方向有较大角度的宽阔型沉积拗陷。

3 早白垩世复式断陷的形成与控制因素

二连盆地中控制早白垩世断陷的主干断层走向总体上是以 NE—NEE 向为主,但是不同区域的基底构造线方向明显不同。马尼特拗陷、乌兰察布拗陷的基底是海西期 NE 向褶皱冲断带,沉积拗陷的延长方向总体上受基底构造控制,早白垩世复式断陷上叠在由上古生界构成的复式向斜核部,控制早白垩世断陷的主干断层走向与盆地基底构造线走向

基本一致,断陷之间以串联式或串列斜列式复合为主,单个断陷(带)走向与拗陷总体上的延长方向保持一致。乌尼特拗陷的基底是 NEE 向二连—贺根山断裂带及其两侧的褶皱冲断带,拗陷的延展方向与基底构造、特别是二连—贺根山混杂岩带方向基本一致。腾格尔拗陷、川井拗陷的基底为走向近 EW 向的索伦—西拉木伦缝合带及相关的褶皱冲断构造带,拗陷的延伸方向与基底构造、特别是索伦—西拉木伦缝合带的走向基本一致。乌尼特拗陷、腾格尔拗陷、川井拗陷中控制早白垩世断陷的主干断层走向仍然是以 NE 向为主,与盆地基底的构造线走向斜交,因此断陷之间多是以斜列式复合或并联式复合型式连接,单个断陷(带)走向与拗陷总体上的延长方向有大致 30°~50°的夹角。

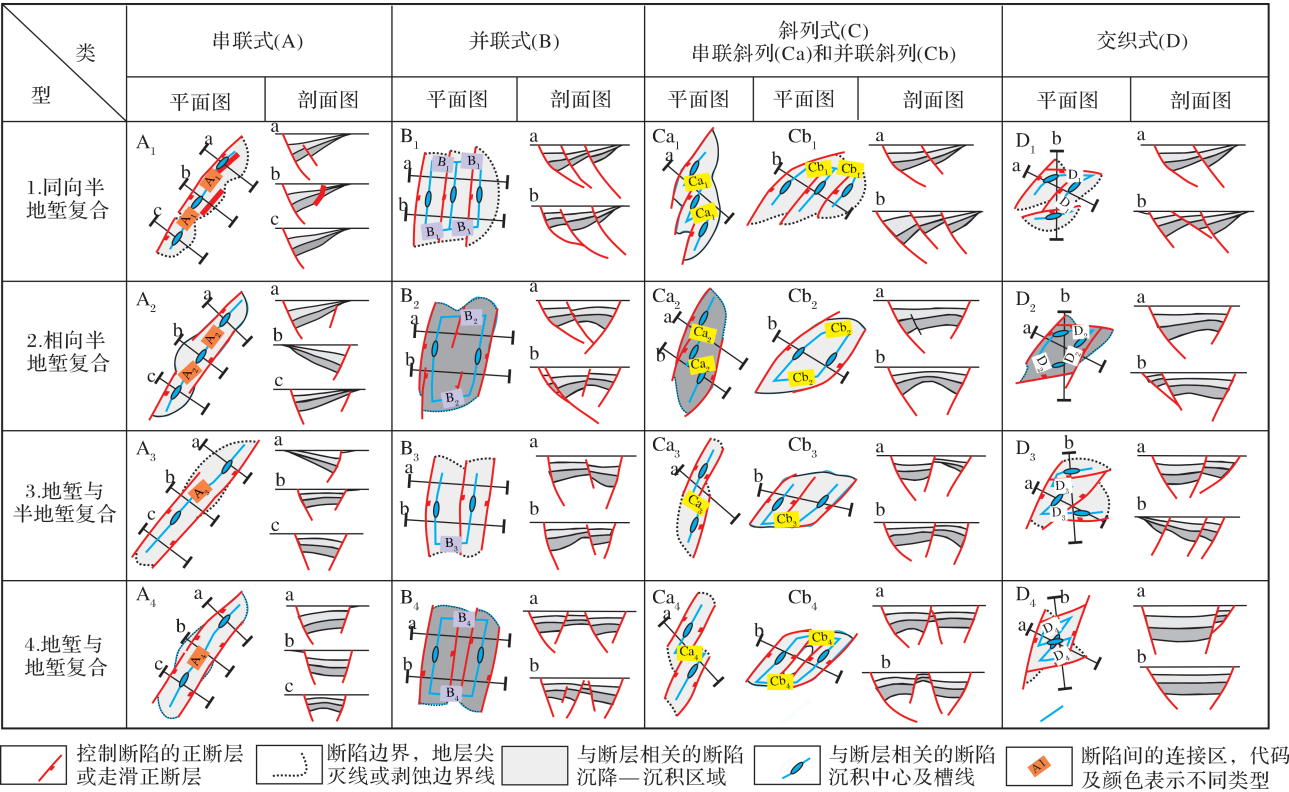


图 4 复式断陷分类模型

Fig. 4 The models of complex faulted sags

在二连盆地不同的构造单元中控制早白垩世断陷的正断层的走向基本稳定,表明早白垩世时期地壳在 NW—SE 向引张力驱动下发生裂陷作用,盆地发生 NW—SE 向伸展变形。二连盆地的基底构造是多期构造变形叠加的产物,地壳结构和基底构造分布具有不均一特征。受地壳结构、先存基底强变形带和基底断裂带分布的影响,相对能干的地体之间的构造软弱带更容易发生裂陷伸展变形。一

些强变形带也是构造软弱带,在早白垩世裂陷作用过程中利于发生断层而形成断陷(带),但是不同走向的基底构造软弱带的伸展变形机制有所不同。当引张主应力方向与基底软弱构造带走向垂直时,控制断陷的正断层与基底软弱构造带大致平行,形成串联的或小角度斜列的复式断陷带;而在引张应力方向与基底软弱构造带斜交的情况下,控制断陷的正断层与基底软弱构造带斜交,形成并联的或大角

度斜列的复式断陷带。早白垩世复式断陷带中正断层的走向与基底软弱带大致相同,意味着地壳或盆地基底发生正向裂陷作用,正断层与基底软弱带斜交意味着地壳或盆地基底发生斜向裂陷作用。如图 5 所示,发育在 NE 向向斜核部的马尼特坳陷、乌兰察布坳陷总体走向与区域引张作用方向大致直交,地壳在正向裂陷作用下形成 NE 向断陷以串联式复合为主,构成断陷走向与坳陷延伸方向基本一致的、狭长的复式断陷带。沿着 NEE 向的二连—贺根山混杂岩带发育的乌尼特坳陷和沿着近 EW 向的索伦—西拉木伦缝合带发育的腾格尔坳陷、川井坳陷的总体方向与区域引张作用方向斜交,地壳在斜向裂陷作用下形成的 NE 向断陷以斜列式、并联式复合为主,构成断陷走向与坳陷延伸方向斜交

的宽阔的复式断陷带。

4 不同类型复式断陷的油气地质条件

目前的油气勘探资料及油气发现表明二连盆地不同沉积凹陷的石油地质条件相差明显,早白垩世复式断陷的复合类型及其演化过程对坳陷(或凹陷)的石油地质条件有重要影响。钻井资料表明二连盆地下白垩统阿尔善组和腾格尔组为含油碎屑岩层,阿尔善组上部、腾格尔组一段的湖相泥岩为有效烃源岩^[17-18]。这些含有丰富油气资源的层序受同沉积期发育的正断层或走滑正断层控制,属于裂陷阶段的沉积层序。受断陷结构、规模、区域构造位置、构造—沉积演化等方面的差异性的影响,二连盆地的一些凹陷发育的阿尔善组上部、腾格尔组一段烃源

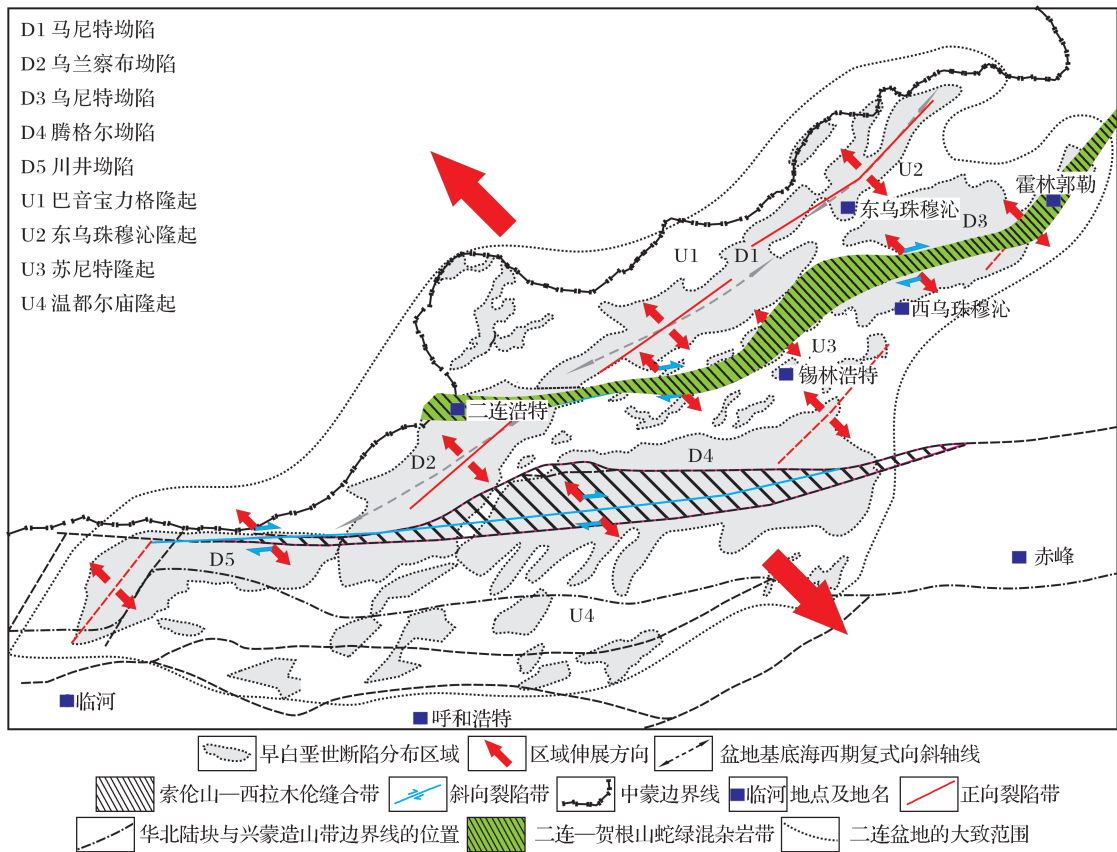


图 5 二连盆地形成机制模型

Fig. 5 The model of formation mechanism in Erlian Basin

岩叠置在一起,成为富油凹陷;而另一些凹陷要么不发育阿尔善组上部的烃源岩,或阿尔善组上部烃源岩位于凹陷边缘、斜坡被剥蚀,要么不发育腾格尔组一段的烃源岩,使得凹陷缺乏烃源岩而不具有成为富油凹陷的地质条件^[19-20]。

二连盆地的阿尔善组与腾格尔组之间存在明显

的不整合接触,不整合面下的阿尔善组在凹陷边缘、斜坡上有不同程度的剥蚀。同一凹陷或同一坳陷充填的阿尔善组与充填的腾格尔组在层序结构上也有明显差异,表明它们是 2 期裂陷作用的产物。阿尔善组沉积时期的构造古地理环境是由分散的小断陷向相对集中的断陷群演化。早期的断陷分布是弥散

中的,盆地没有明显的边界,逐渐在基底构造软弱带发育的断陷相对集中构成断陷群。腾格尔组沉积时期二连盆地的构造古地理环境是以几个相互连通的复式断陷湖盆为特点,每个湖盆内部都有多个受正断层控制的沉降—沉积中心,并环绕沉降—沉积中心构成相对独立的沉积体系。二连盆地的5个主要坳陷中,马尼特坳陷、乌兰察布坳陷中的早白垩世断陷是在正向裂陷作用下形成的,断陷之间多是串联式或串联斜列式复合,多发育深而狭长的复式断陷。乌尼特坳陷、腾格尔坳陷和川井坳陷的早白垩世断陷是在斜向裂陷作用下形成的,断陷之间多是斜列式或并联式复合,多发育浅而宽阔的复式断陷。二连盆地早白垩世复式断陷带是发育在基底构造软弱带之上,主干断层向深层延伸受到盆地基底构造软弱带深层变形方式的约束。在正向裂陷带深层构造软弱带发生正向伸展变形,有利于浅层断层向深部扩展,控制断陷发育的边界断层的拆离滑脱深度较大,有利于发育深陷的地堑、半地堑断陷。在斜向裂陷带深层构造软弱带发生走滑伸展变形或伸展走滑变形,浅层断层向深部扩展可能在深层走滑伸展变

形带中滑脱,控制断陷发育的边界断层的拆离滑脱深度较小,不利于发育深陷的地堑、半地堑断陷。从早白垩世复式断陷的复合类型、形成机制上看,显然正向裂陷带比斜向裂陷带更有利于发育烃源岩,在正向裂陷作用下形成的串联式、串联斜列式复式断陷是发育富油凹陷的重要因素。二连盆地勘探的油气发现主要是分布在图5所示的正向裂陷作用形成的复式断陷带中。

裂陷盆地裂陷阶段主干断层活动方式对断陷湖盆充填的层序结构、沉积相分布有控制作用^[21-23]。盆地构造—沉积演化不仅控制了烃源岩的分布,也控制了储集层的分布。基底正断层之间的构造变换带往往是发育碎屑岩储层的有利构造部位。二连盆地早白垩世早期发育大量分散孤立的小型断陷形成小型的断陷湖盆,凹陷周边的局部凸起是向断陷提供主要物源(图6)。随着分散孤立的小型断陷逐渐复合形成大型断陷湖盆,湖盆周边形成局部物源与区域物源互补、短程间歇性河流与长流常年河流交织的冲积体系。无论是局部物源还是区域物源,裂陷阶段的基底断裂活动是影响构造古地理环境的

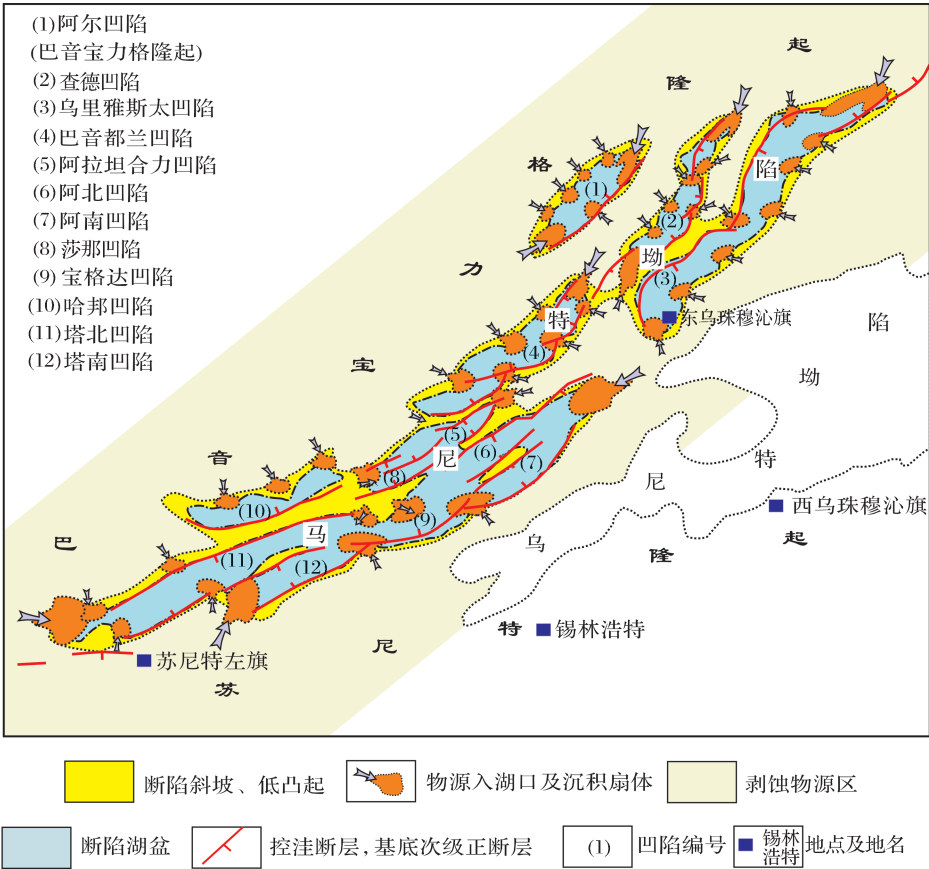


图6 二连盆地马尼特坳陷早白垩世断陷沉积扇体分布

Fig. 6 The distribution of alluvial fans of Manite Depression in Erlian Basin

主要因素,也影响盆地的沉积充填、储集层的分布规律。在裂陷阶段发育的具有复式断陷结构的断陷湖盆的边界断层之间的接合、转折、叠置等构成的构造变换带往往是物源进入湖盆的通道,是发育优质储层的有利构造部位。

按照盆地基底构造特征,二连盆地早白垩世断陷可以分为在相对刚性基底上发育的断陷和在相对软弱基底上发育的断陷2类。前者主要分布在隆起上,在刚性基底上沿着先存断裂发育的断陷,断陷边界断层的位移较大,断陷内部次级断层不发育。后者主要分布在坳陷中,在褶皱带(特别是向斜核部)、深断裂带(混杂岩带)基础上发育的断陷,断陷边界断层结构复杂,断陷内部也常常发育位移较大的次级断层,并且常常是多个断陷复合在一起构成复式断陷。

显然,在相对软弱基底上发育的复式断陷所形成的湖盆规模更大,更有利于富油凹陷的形成。在刚性基底上发育的相对独立的断陷所形成的湖盆虽然规模不大,但是也可以形成深陷湖盆,特别是那些近邻坳陷、位于隆起(带)边缘的深陷湖盆有可能成为潜在

的富油凹陷。二连盆地内部断陷主要是受 NE 向基底正断层控制,但是在不同区域复式断陷构成的大型断陷湖盆的走向有明显差异。马尼特坳陷、乌兰察布坳陷早白垩世沿着 NE 向褶皱带中的向斜核部发育以串联式、串联斜列式复合为主的复式断陷,利于形成相对深、线性延伸的断陷湖盆,纵向河流(相对于断陷走向而言)只在湖盆两端发育,有利储集层更多是横向河流提供的,集中在边界断裂带及斜坡带上,并且垂向叠置较好(图 6)。而乌尼特坳陷、腾格尔坳陷和川井坳陷早白垩世沿着 NEE 向、近 EW 向的深断裂带发育以斜列、并联式复合为主的复式断陷,利于形成相对浅、宽缓的断陷湖盆,纵向河流相对发育,横轴河流不发育,有利储集层更多是纵向河流提供的,集中在边界断陷两端(图 7)。受断陷复合型式影响,串联式、小角度串联斜列的复式断陷往往形成深而窄断陷湖盆,横穿湖盆的沉积岩相带窄、岩相变化大;并联式、大角度斜列的复式断陷往往形成浅而宽断陷湖盆,横穿断陷的沉积岩相带相对宽,但是沿着断陷轴向的岩相变化相对大。

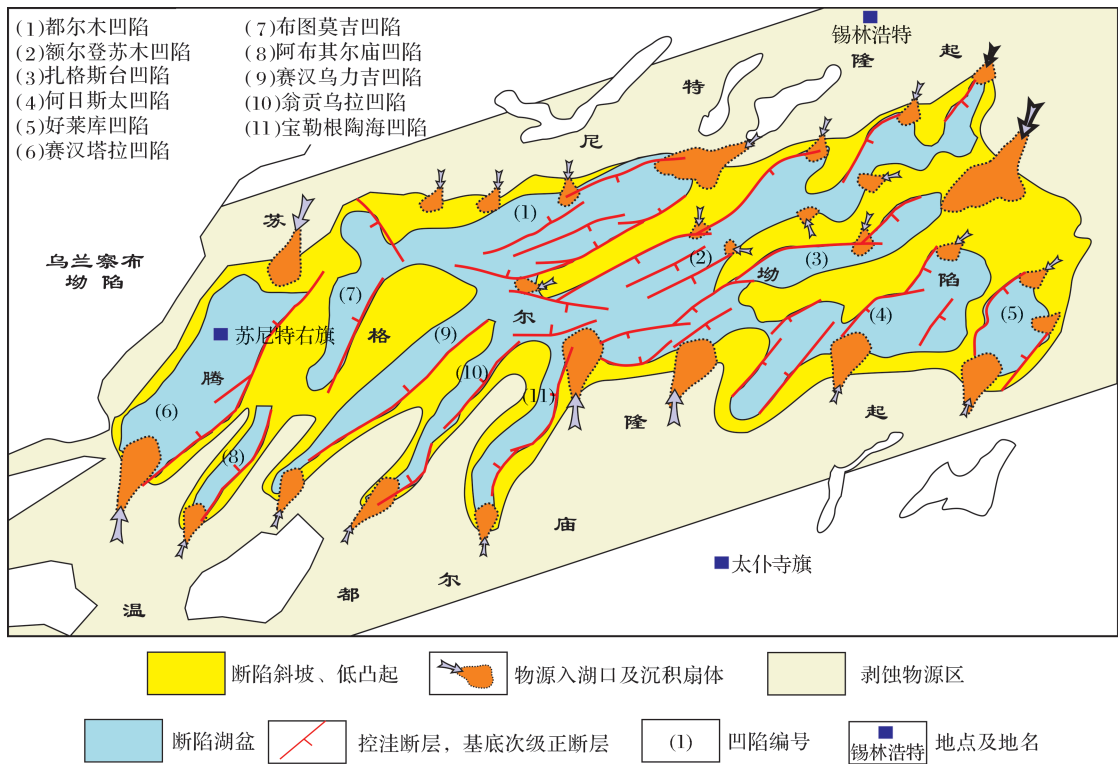


图 7 二连盆地腾格尔坳陷早白垩世断陷沉积扇体分布

Fig. 7 The distribution of alluvial fans of Tenger Depression in Erlian Basin

5 结论

(1)二连盆地充填下白垩统的地堑、半地堑断陷

可以划分为马尼特、乌兰察布、乌尼特、腾格尔和川井 5 个坳陷和分隔这些坳陷的 4 个隆起。坳陷中的断陷成群分布,相互串通,构成结构复杂的复式断陷

带(群),隆起上的地堑、半地堑则是零星散布,多为结构简单的断陷。根据断陷及其主控断层的组合方式可以将复式断陷划分为串联式、并联式、斜列式和交织式等4个类别,每一类又可以分为同向半地堑复合、相向半地堑复合、地堑与半地堑复合和地堑与地堑复合等4种型式。

(2)二连盆地早白垩世复式断陷带(群)的分布主要受海西期基底软弱带控制,但是各个坳陷中控制断陷的主干断层走向基本一致,统计的优势方位为NE向 $45^{\circ}\sim 55^{\circ}$,表明早白垩世的区域引张方向为NW—SE向。分布在海西期NE向褶皱冲断带上的马尼特坳陷、乌兰察布坳陷,早白垩世断陷以串联式、串联斜列式复合为主;分布在NEE向的二连—贺根山混合杂岩带上的乌尼特坳陷和分布在近EW向的索伦—西拉木伦缝合带及两侧增生楔上的腾格尔坳陷、川井坳陷,早白垩世断陷以斜列式、并联式复合为主。这意味着马尼特坳陷、乌兰察布坳陷的基底软弱带早白垩世发生正向裂陷作用,而乌尼特坳陷、腾格尔坳陷和川井坳陷发生斜向裂陷作用。

(3)二连盆地下白垩统的含油气性与复式断陷结构、裂陷作用方式密切相关。正向裂陷作用形成以串联式、串联斜列式复合为主的复式断陷,有利于发育具有深洼槽的断陷湖盆,为烃源岩发育创造了条件。斜向裂陷作用形成的以斜列式、并联式复合为主的复式断陷,有利于发育具有宽缓斜坡、台地的断陷湖盆,也可以发育斜坡相烃源岩。隆起上零星散布的断陷多是在刚性基底上发育的,边界断层陡倾且位移量大的断陷利于形成发育烃源岩的深陷湖盆。

参考文献(References):

- [1] Ma Xingyuan, Liu Hefu, Wang Weixiang, *et al.* Meso-Cenozoic taphrogeny and extensional tectonics in eastern China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1983, 57(1): 22-321. [马杏垣, 刘和甫, 王维襄. 中国东部中生代裂陷作用及伸展构造[J]. *地质学报*, 1983, 57(1): 22-321.]
- [2] 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. [刘和甫, 梁慧社, 李晓青, 等. 中国东部中生代裂陷盆地与伸展山岭耦合机制[J]. *地质前缘*, 2000, 7(4): 477-486.]
- [3] Withjack M O, Jamison W R. Deformation produced by oblique rifting[J]. *Tectonophysics*, 1986, 126(2-4): 99-124.
- [4] McClay K R, White M. Analogue models of orthogonal and oblique rifting[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 1995, 12(2): 137-151.

- [5] McClay K R, Dooley T, Whitehouse P, *et al.* 4-D evolution of rift systems: Insights from scaled physical models[J]. *AAPG Bulletin*, 2002, 86(6): 935-959.
- [6] Mortimer E, Paton D A, Scholz C A, *et al.* Orthogonal to oblique rifting: Effect of rift basin orientation in the evolution of the north basin, Malawi Rift, East Africa[J]. *Basin Research*, 2007, 19(3): 393-407.
- [7] Jackson J A. Active normal faulting and crustal extension [C]// Coward M P, Dewey J F, Hancock P L. *Continental Extensional Tectonics*. London: Geological Society of London Special Publication, 1987: 3-17.
- [8] Schlische R W. Half-graben basin filling models: New constraints on continental extensional basin development[J]. *Basin Research*, 1991, 3(3): 123-141.
- [9] 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. [任建业, 李思田, 焦贵浩. 二连断陷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.]
- [10] Li Xiaoqing, Qiu Dongzhou, Liu Hefu, *et al.* Prospectivity for oil and gas in sedimentary basins superposed on are like folded belts in Mongolia[J]. *Earth Science Frontiers*, 2006, 13(6): 72-81. [李晓清, 丘东洲, 刘和甫, 等. 蒙古弧形褶皱带上叠沉积盆地油气远景[J]. *地质前缘*, 2006, 13(6): 72-81.]
- [11] Liang Hongbin, Wu Chonglong, Li Linbo, *et al.* Unifying division of sequence stratigraphy unit and framework sequence stratigraphy of Erlian Basin[J]. *Earth Science: Journal of China University of Geosciences*, 2010, 35(2): 97-106. [梁宏斌, 吴冲龙, 李林波, 等. 二连盆地层序地层单元统一划分及格架层序地层学[J]. *地球科学: 中国地质大学学报*, 2010, 35(1): 97-106.]
- [12] Liang Guanzhong, Tan Jiancai, Wei Li, *et al.* Sedimentary characteristics of nearshore subaqueous fans of the Lower Cretaceous in Abei Sag of Erlian Basin, Inner Mongolia[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2013, 15(1): 31-42. [梁官忠, 谭建财, 魏莉, 等. 内蒙古二连盆地阿北凹陷下白垩统近岸水下扇沉积特征[J]. *古地理学报*, 2013, 15(1): 31-42.]
- [13] China National Petroleum Corporation. SY/ T 5978-1994 Division of Tectonic Units in Oil and Gas Basin[S]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995: 1-3. [中国石油天然气总公司. SY/ T 5978-1994 含油气盆地构造单元划分[S]. 北京: 石油工业出版社, 1995: 1-3.]
- [14] Pan Guitang, Xiao Qinghui, Lu Songnian, *et al.* Subdivision of tectonic units in China[J]. *Geology in China*, 2009, 36(1): 1-28. [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.]
- [15] Bureau of Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia Autonomous Region. Regional Geology of the Inner Mongolia Autonomous Region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991: 1-275. [内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991: 1-275.]
- [16] Meng Qi'an, Zhu Dengfeng, Chen Junliang, *et al.* Styles of

- complex faulted sags in rifted basins and its significance for petroleum geology: An example from Hailar-Tamsag Early Cretaceous Basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 2012, 19(5): 76-85. [蒙启安, 朱德丰, 陈均亮, 等. 陆内裂陷盆地的复式断陷结构类型及其油气地质意义: 以海塔盆地早白垩世盆地为例[J]. *地学前缘*, 2012, 19(5): 76-85.]
- [17] Zhao Xianzheng, Jin Fengming, Wang Quan, *et al.* Theory of hydrocarbon accumulation in troughs within continental faulted basins and its application: A case study in Jizhong Depression and Erlian Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32(1): 18-24. [赵贤正, 金凤鸣, 王权, 等. 陆相断陷盆地洼槽聚油理论及其应用——以渤海湾盆地冀中坳陷和二连盆地为例[J]. *石油学报*, 2011, 32(1): 18-24.]
- [18] Ding Xiujian, Liu Guangdi, Lu Xuejun, *et al.* The impact on organic matter preservation by the degree of oxidation and reduction and sedimentation rates of Erlian Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2014, 25(3): 810-817. [丁修建, 柳广弟, 卢学军, 等. 二连盆地氧化-还原程度和沉积速率对有机质保存的影响[J]. *天然气地球科学*, 2014, 25(6): 810-817.]
- [19] 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. [易士威, 李正文, 焦贵浩, 等. 二连盆地凹陷结构与成藏模式[J]. *石油勘探与开发*, 1998, 25(2): 8-14.]
- [20] Zhang Wenchao, Zhu Yuheng, Jiang Donghua, *et al.* The law of oil controlled by subsags and prospect of petroleum exploration in Erlian Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1997, 18(4): 25-31. [张文朝, 祝玉衡, 姜冬华, 等. 二连盆地“洼槽”控油规律与油气勘探前景[J]. *石油学报*, 1997, 18(4): 25-31.]
- [21] Gawthorpe R L, Fraser A J, Collier R E L. Sequence stratigraphy in active extensional basins: Implications for the interpretation of ancient basin fills[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 1994, 11(6): 642-658.
- [22] Qi Jiafu, Yang Qiao. Structural styles of extensional basins and their main controlling factors of dynamics[J]. *Oil and Gas Geology*, 2007, 28(5): 634-640. [漆家福, 杨桥. 伸展盆地的结构形态及其主控动力学因素[J]. *石油与天然气地质*, 2007, 28(5): 634-640.]
- [23] Cowie P A, Gupta S, Dawers N H. Implications of fault array evolution for synrift depocentre development: Insights from a numerical fault growth model[J]. *Basin Research*, 2000, 12(3/4): 241-261.

The Structural Types and Petroleum Geological Significance of Early Cretaceous Complex Faulted Sag in Erlian Basin

ZHAO Xian-zheng^{1,2}, JIN Feng-ming¹, QI Jia-fu², WANG Quan¹,
YANG Ming-hui², SHI Yuan-peng¹, DONG Xiong-ying¹
(1. *PetroChina, Huabei Oilfield Company, Renqiu 062552, China*;
2. *China University of Petroleum(Beijing), Beijing 102249, China*)

Abstract: Erlian Basin could be divided into 5 depressions and 4 uplifts based on the distribution of Lower Cretaceous that filled in the faulted-sag in the styles of graben and/or half-graben controlled by NE-NNE striking normal faults. By the configuration of major faults, the complex faulted sag could be categorized into 4 families which are named respectively as serial, parallel, diagonal and interlaced. Each family includes 4 compounded patterns: (1) two or more half-grabens synthetic linked, (2) two or more half-grabens convergent linked, (3) graben and half-graben linked, (4) two or more grabens linked. The distribution of Early Cretaceous faulted-sag was controlled by Hercynian basement soft zone and the depressions extended in different direction. The hydrocarbon-bearing features of Lower Cretaceous have close relationship to both pattern of complex faulted-sags and the mode of rifting. The orthogonal rifting zone consisting of serial, diagonal faulted-sags in small angle with sag axle is beneficial to develop a narrow and deep faulted-lake, and hydrocarbon source rock is found within deep sub-sags. The oblique rifting zone consisting of parallel, diagonal faulted-sag in high angle with sag axle is beneficial to develop a wide faulted-lake, and source rock is found within the slope of faulted-lake. Most of the faulted-sags scattered over the uplift superimposed on the rigid basement, in that steep boundary fault with big displacement will be more favorable to the development of source rock growth in deep lake.

Key words: Complex faulted sag; Structural style; Hydrocarbon-rich sag; Lower Cretaceous; Erlian Basin