

doi: 10.12029/gc20180206

高红灿, 郑荣才, 肖斌, 刘云, 栾艳春, 刘虹利. 2018. 二连盆地白音查干凹陷下白垩统阿尔善组—都红木组地层对比之辨析[J]. 中国地质, 45(2): 286–303.

Gao Hongcan, Zheng Rongcai, Xiao Bin, Liu Yun, Luan Yanchun, Liu Hongli. 2018. Sequence stratigraphy of the Lower Cretaceous Aershan—Duhongmu Formation in Baiyinchagan Sag, Erlian Basin[J]. Geology in China, 45(2): 286–303(in Chinese with English abstract).

二连盆地白音查干凹陷 下白垩统阿尔善组—都红木组层序地层

高红灿¹ 郑荣才² 肖斌³ 刘云³ 栾艳春³ 刘虹利¹

(1.重庆科技学院石油与天然气工程学院,重庆 401331;2.成都理工大学“油气藏地质与开发工程”国家重点实验室,四川 成都 610059;3.中国石化 中原油田分公司 物探研究院,河南 濮阳 457001)

摘要:层序地层学是岩性-地层油气藏勘探研究的核心技术之一。为深入开展二连盆地白音查干凹陷岩性-地层油气藏勘探,在前人研究成果基础上,通过研究区 200 多口井的精细地层对比和 33 口井 759.42 m 岩心的详细观察及区域构造-沉积演化分析,综合运用构造、古生物、岩性、测井以及地震反射等 5 个方面的特征,对白音查干凹陷(主要是西部次凹)油气勘探的主要目的层下白垩统阿尔善组—都红木组的层序发育特征进行再认识,对层序界面的性质进行重新厘定。将白音查干凹陷下白垩统阿尔善组—都红木组划分为 2 个超长期层序(分别对应于阿尔善组—腾格尔组和都红木组)和 5 个长期层序(分别对应于阿尔善组一段、阿尔善组二段、腾格尔组、都红木组一段和都红木组二段~三段);提出白音查干凹陷下白垩统腾格尔组长期层序的底界面为一连续沉积的整合面,不能构成油气运移的良好通道,即在腾格尔组底部即使圈闭条件良好(如锡 40 井—锡 43 井区),但也会因缺乏良好的油气运移通道致使圈闭中供油不足而不能成藏。

关键词:二连盆地;白音查干凹陷;下白垩统;阿尔善组;腾格尔组;都红木组;层序地层

中图分类号:P539.2;P618.13 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2018)02-0286-18

Sequence stratigraphy of the Lower Cretaceous Aershan—Duhongmu Formation in Baiyinchagan Sag, Erlian Basin

GAO Hongcan¹, ZHENG Rongcai², XIAO Bin³, LIU Yun³, LUAN Yanchun³, LIU Hongli¹

(1. School of Petroleum Engineering, Chongqing University of Science & Technology, Chongqing 401331, China; 2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploration, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 3. Geophysical Research Institute of Zhongyuan Oilfield Company, SINOPEC, Puyang 457001, Henan, China)

Abstract: Sequence stratigraphy is a key technology for exploration of stratigraphic-lithological reservoirs. For the purpose of pushing forward the stratigraphic-lithological reservoirs exploration of Baiyinchagan Sag in Erlian Basin, on the basis of previous researches, and through delicate stratigraphical correlation of over 200 wells, detailed core description of 759.42 meters from 33 wells, and analysis of regional tectonic-sedimentary evolution, the authors recognized the sequence stratigraphic characteristics of

收稿日期:2016-06-12; 改稿日期:2017-01-11

基金项目:重庆市科委前沿与应用基础研究(一般)项目(cstc2014jcyjA90022)、重庆科技学院科研基金(CK2016B14)联合资助。

作者简介:高红灿,男,1969年生,副教授,主要从事沉积学和石油地质学研究;E-mail: gaohongcan@126.com。

the main target for petroleum exploration in Baiyinchagan Sag (i.e., the Lower Cretaceous Aershan–Duhongmu Formation) and redefined the sequence boundary properties according to various kinds of data such as tectonic geology, paleontology, petrology, logging and seismic reflection. The results show that the Lower Cretaceous Aershan–Duhongmu Formation of Baiyinchagan Sag can be divided into two super long–term sequences and five long–term sequences. The two super long–term sequences correspond to the Aershan–Tenggeer Formation and the Duhongmu Formation. The five long–term sequences correspond to the 1st member of Aershan Formation, the 2nd member of Aershan Formation, Tenggeer Formation, the 1st member of Duhongmu Formation and the 2nd to the 3rd member of Duhongmu Formation. Meanwhile, this paper indicates that the long–term sequence bottom boundary of Tenggeer Formation in Baiyinchagan Sag is a conformity surface, which can not form the favorable pathways for oil–gas migration. In another word, even if there are good trap conditions in bottom boundary of Tenggeer Formation of Baiyinchagan Sag, for example Xi40–Xi43 wellblock, there is no hydrocarbon accumulation due to lacking the favorable pathways of oil–gas migration and the associated insufficient hydrocarbon supply.

Key words: Erlian Basin; Baiyinchagan Sag; Lower Cretaceous; Aershan Formation; Tenggeer Formation; Duhongmu Formation; sequence stratigraphy

About the first author: GAO Hongcan, male, born in 1969, associate professor, mainly engages in the research on sedimentology and petroleum geology; E-mail: gaohongcan@126.com.

Fund support: Supported by Research Project of Frontier and Application Fundamental Science of the Chongqing Science & Technology Commission (No. cstc2014jcyjA90022) and Research Fund of Chongqing University of Science & Technology (No. CK2016B14)

1 引言

层序地层的概念自 Sloss (1963) 在对比与划分北美克拉通前寒武纪晚期至全新世地层单元时提出后, 20 世纪 70 年代以来, 在被动大陆边缘盆地油气勘探研究实践中不断得以发展完善, 先后建立了地震地层学和层序地层学的理论方法体系 (Vail et al, 1977; Vail, 1987; Haq et al, 1988; Jervey, 1988; Posamentier et al, 1988; Van Wagoner et al, 1990; Posamentier and Allen, 1993), 在油气勘探中发挥着重要作用。但与海相盆地相比, 陆相湖盆发育规模小、物源多、相变快、控制地层发育的因素复杂等特点 (徐怀大, 1991, 1997; 谢渊等, 2002) 决定了源于被动大陆边缘海盆的经典层序地层学理论并不完全适合陆相湖盆的层序地层学研究。Cross (1993) 提出的通过地层基准面分析实现高分辨率陆相层序地层格架构建的高分辨率层序地层学摆脱了经典层序地层学关于海平面变化控制层序形成这一思想对陆相层序地层研究的束缚, 在中国部分中、新生代陆相含油气盆地层序地层研究中得到较为成功的应用和发展 (杨勇强等, 2011; 刘翠等, 2015; 郑荣才等, 2015)。目前, 特别是随着油气勘探的不断深入, 较易找到的较大型构造油气藏大多已被发

现, 而隐蔽性强、成藏规律更复杂的岩性–地层油气藏成为高成熟探区油气增储上产的主体时, 作为岩性–地层油气藏勘探研究核心技术的层序地层学发挥着越来越重要的作用 (贾承造等, 2004, 2008)。

白音查干凹陷的油气勘探研究主要起始于中原油田获得其勘探权之后的 1993 年。2000 年之前, 白音查干凹陷的油气勘探主要是围绕井位部署而进行的区块评价, 而综合性的基础研究不多。有关白音查干凹陷层序地层的研究也较少, 只有张万选等^①对其西部次凹进行过层序地层的初步研究, 将下白垩统阿尔善组—都红木组划分为 5 个层序, 分别对应于阿尔善组一段 (简称阿一段)、阿尔善组二段 (简称阿二段)、腾格尔组、都红木组一段 (简称都一段)、都红木组二段 (简称都二段)—都红木组三段 (简称都三段), 认为各层序界面均为不整合面。在探明达尔其地区都一段和桑合地区腾格尔组 2 个小规模稀油油藏, 以及控制达尔其地区达 9 块都一段稠油油藏之后, 认为白音查干凹陷油气分布分散、油藏规模小、富集程度低而停止了勘探工作量的投入^②。为打破白音查干凹陷油气勘探的被动局面, 2000 年中国石化集团总公司下达了为期两年半的油气勘探“十五”重大科技攻关项目“白音查干凹陷石油地质综合研究”, 在构造、沉积、地球化学等

方面对白音查干凹陷开展了较系统的研究。以此为契机,白音查干凹陷的层序地层研究也得以开展(李金良,2002;张福顺等,2003;许书堂等,2004;李金良等,2007;闫玉英等,2008),其划分方案与之前的划分方案^①基本相同,也认为各层序界面均为不整合面,其划分层序的级别也仍主要为Vail(1977,1987)的经典Ⅲ级层序及体系域。

随着2006年白音查干凹陷锡林好来地区腾格尔组中、下部油藏的勘探成功,特别是锡26井腾格尔组-都一段缝洞型泥质白云岩岩性油藏的发现,拉开了白音查干凹陷岩性-地层油气藏勘探的序幕。至2012年,白音查干凹陷的油气勘探重点已转为地层-岩性油气藏(高红灿等,2015a)。基于层序地层学在地层-岩性油气藏勘探中的重要作用和指导意义,本文在前人研究成果基础上,对白音查干凹陷(主要是西部次凹)油气勘探的主要目的层下白垩统阿尔善组-都红木组的层序发育特征进行再认识,对层序界面的性质进行重新厘定,并进行超长期-长期层序地层的划分和等时地层格架的建立,为白音查干凹陷的构造-沉积演化、沉积充填序列和生储盖组合,以及油气运移和成藏等研究提供基础地质资料。

2 地质背景

早白垩世,由于库拉-太平洋板块向欧亚板块俯冲导致地下深部地幔物质快速向上运移而产生

的弧后区域性伸展作用,形成了位于地幔物质隆升中心、张开幅度较大的松辽裂谷盆地,以及不在地幔物质隆升中心、张开幅度较小的二连断陷盆地群(吴福元等,1995;肖安成等,2001)。白音查干凹陷位于二连断陷盆地西缘的川井坳陷西北部,是一个以下白垩统陆源沉积为主的中生代断陷盆地,长约127 km,宽12~33 km,呈NE-SW向的狭长梭形,面积约3200 km²。白音查干凹陷总体上具东西分区、南北分带的构造格局,以翁特-毛呼一带近南北向的毛呼低凸起构造转换带为界将凹陷分割为三部分——西部次凹、毛呼低凸起和东部次凹(图1)。东部次凹以双断槽式结构为主,面积约740 km²,发育较晚,沉积厚度薄,勘探程度也较低;西部次凹整体呈北断南超的单断箕状结构,面积约2200 km²,发育较早,沉积厚度大,是白音查干凹陷的主体。

白音查干凹陷的基底为下古生界变质岩,其沉积充填主要为下白垩统巴彦花群和厚度较小的上白垩统二连达布苏组,局部发育新生界,总沉积厚度大于5000 m。其中,下白垩统巴彦花群自下而上进一步划分为阿尔善组(阿一段、阿二段)、腾格尔组、都红木组(都一段、都二段、都三段)和赛汉塔拉组(图2)。

3 地层划分沿革

在各盆地的油气勘探开发中,其地层的划分与对比都普遍存在或多或少的分歧,所以,在对各盆地进行研究时,首先要了解其各研究阶段的地层划

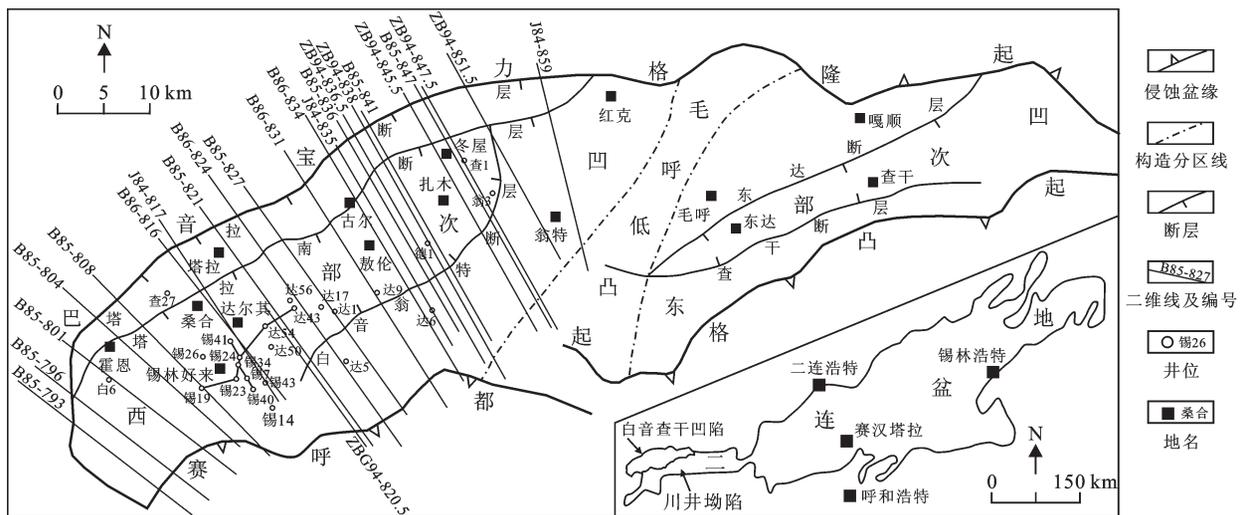


图1 白音查干凹陷早白垩世构造单元划分略图及其地理位置图

Fig.1 Sketch tectonic units division of the Early Cretaceous in Baiyinshagan Sag and its geographical location

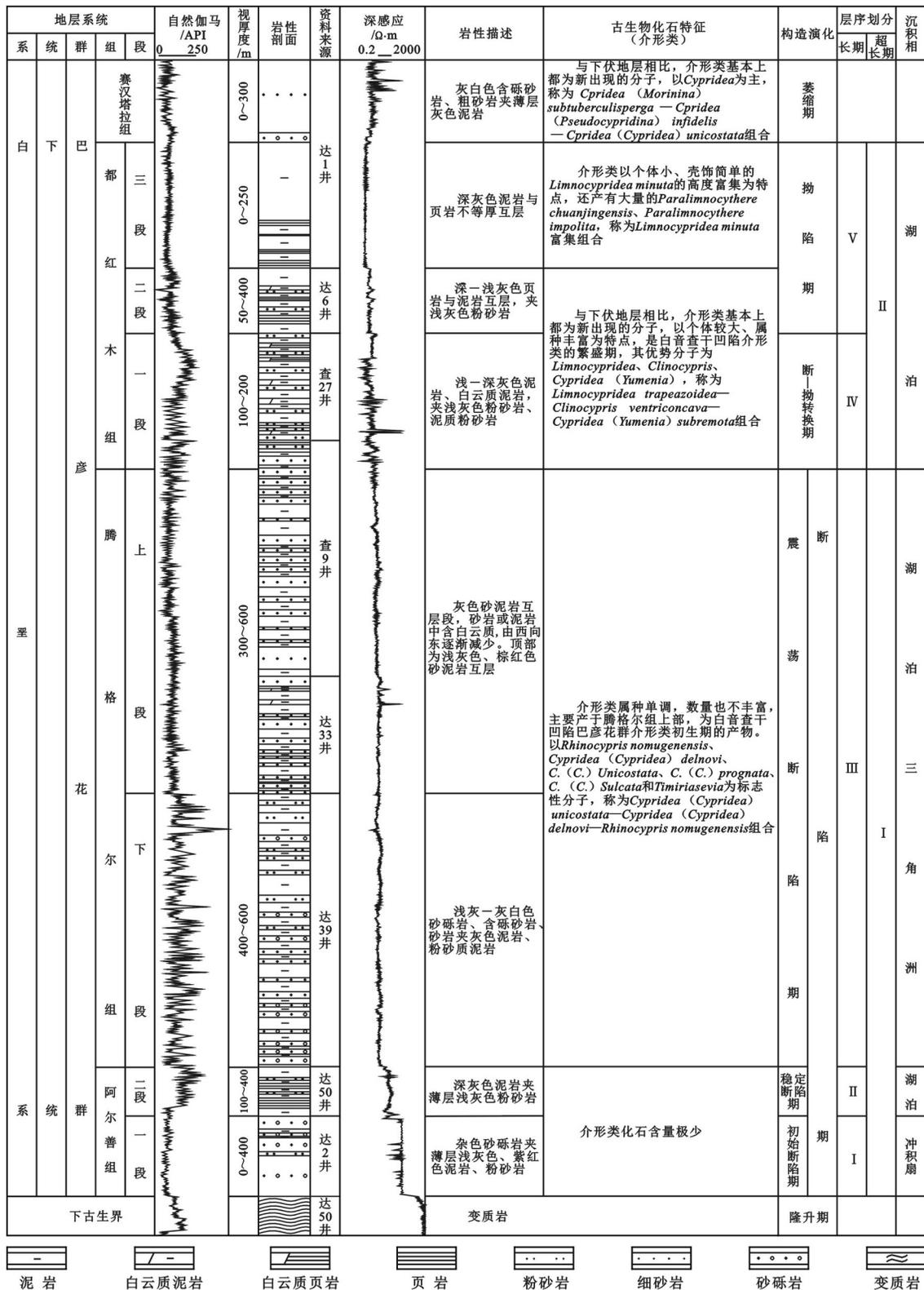


图2 白音查干凹陷下白垩统阿尔善组—都红木组层序地层综合柱状图

Fig.2 Synthetic histogram of sequence stratigraphy of Lower Cretaceous Aershan—Tenggeer Formation of Baiyinchagan Sag, Erlian Basin

表1 二连盆地和白音查干凹陷下白垩统划分对比

Table 1 Division correlation of Lower Cretaceous strata between Baiyinchagan Sag and Erlian Basin

二连盆地				白音查干凹陷													
科研分层 (蔡志国等,1990)	生产分层 ^①		标志层	分层方案一 ^{②④}		分层方案二 ^⑤		本文	标志层								
赛汉塔拉组	赛汉塔拉组	上段		赛汉塔拉组	赛汉塔拉组	赛汉塔拉组	赛汉塔拉组	赛汉塔拉组	灰白厚层砂砾岩段								
		中段	大煤段 ^⑥														
		下段	块状砂砾岩段 (蔡志国等,1990)														
都红木组	腾格尔组	二段	上段	都红木组	三段	都红木组	三段	都红木组	三段	泥岩细脖子段 ^⑥							
			中段							稳定泥岩段 (蔡志国等,1990) (泥岩细脖子段)	二段	二段	二段	页岩细脖子段 ^⑥			
			下段							灰白色厚层砾岩段 (蔡志国等,1990)	一段	一段	一段	梳状白云质泥岩段 ^⑥			
腾格尔组	一段	上段	暗色泥岩发育段 (蔡志国等,1990) (凹兜泥岩段) ^⑥	腾格尔组	上段	腾格尔组	上段	腾格尔组	上段	红层细脖子段 ^⑥							
			下段							特殊岩性段 (蔡志国等,1990)	下段	下段	下段	低阻砂泥岩互层段			
阿尔善组	阿尔善组	四段	驼峰含油段(砂包) ^⑥	阿尔善组	二段	阿尔善组	二段	阿尔善组	二段	白云质砂砾岩段 ^⑥							
			三段							灰绿色块状砾岩段 (蔡志国等,1990) (大砾岩段) ^⑥	阿尔善组	一段	阿尔善组	一段	阿尔善组	一段	高阻砂砾岩段 ^⑥
			二段							暗色泥岩、灰岩段 (蔡志国等,1990)							二段
下段	一段	杂色砂砾岩段 (蔡志国等,1990)	一段	一段	一段	一段	一段	一段	灰白、杂色砂砾岩段 ^⑥								
上侏罗统兴安岭群				下古生界变质基底													

分与对比方案,以避免在借鉴前人研究成果及开展实际生产和科研工作时,由于地层单位名称相同但所指地层不同或地层相同但地层单位名称不同而造成理解上的偏差及由此造成的困扰。

白音查干凹陷的地层研究也主要是从1993年中原油田获得其勘探权之后开始的。到目前为止,由蒋飞虎等分别于1995、1997、2002年进行过3次较系统的研究^{②④⑤},形成了两套地层划分方案(1995和1997年的地层划分方案^{②④}相同)(表1)。这两套地层划分方案的主要差别是下白垩统腾格尔组的顶、底界线划分不一致——不仅在白音查干凹陷内不一致,而且与二连盆地科研分层的腾格尔组(蔡志国等,1990)或生产分层的腾格尔组一段^⑥(简称腾一段)的顶、底界线也不一致(表1)。

关于白音查干凹陷腾格尔组的顶界划分,目前主要是依据地震剖面解释将其划分在“红层细脖子段”之底^⑥,与二连盆地科研分层的腾格尔组或生产分层的腾一段的顶界不一致(表1)。但同时蒋飞虎等^②又通过古生物和岩性等资料与二连盆地的对比,以及由地层倾角测井所反映出的“梳状白云质

泥岩段”与“红层细脖子段”之间存在一地层界线等来分析,认为将白音查干凹陷腾格尔组的顶界划分在“红层细脖子段”的顶界较合适。本文根据白音查干凹陷的构造演化、古生物和岩性等方面的特征所反映出的“红层细脖子段”顶界面为一不整合面(详见后面的论述),从层序地层的角度也建议将白音查干凹陷腾格尔组顶界划分在“红层细脖子段”的顶界(表1)。

关于白音查干凹陷腾格尔组的底界划分,目前主要是依据白音查干凹陷和二连盆地的构造-沉积演化特征,将其划分在相当于二连盆地科研分层的阿尔善组上段与中段之间或生产分层的阿尔善组三段(简称阿三段)与阿二段之间^⑥(表1),其中,白音查干凹陷中相当于二连盆地生产分层的阿尔善组四段(简称阿四段)与阿三段的岩性均为“高阻砂砾岩”不易区分,但与下伏的阿二段“泥岩发育段”的岩性差别明显,反映期间构造-沉积环境的较大变化,本文也采用这种地层划分方案(表1),具体将腾格尔组底部划分在目前白音查干凹陷生产上标注的腾格尔组第13#标志层之上的砂岩底部(高红

灿等,2015b,2017)。

4 层序地层特征

不同于受海平面变化控制的被动大陆边缘盆地层序的形成机制(Vail et al, 1977; Vail, 1987; Haq et al, 1988; Jervey, 1988; Posamentier et al, 1988; Van Wagoner et al, 1990; Posamentier and Allen, 1993),陆相断陷盆地层序的形成主要受构造沉降作用控制(解习农和李思田, 1993; 池英柳等, 1996; 解习农等, 1996; 冯有良等, 2000),层序地层划分的关键是不同级别层序界面的识别(李思田等, 1993; 郑荣才等, 2000, 2001)。构造演化阶段的区域构造应力场转换是形成陆相断陷盆地超长期层序的主控因素,构造幕的脉动性强弱变化是形成陆相断陷盆地长期层序的主控因素(郑荣才等, 2000)(表2)。

通过研究区200多口钻井的精细地层对比和33口井759.42 m岩心的详细观察,以及区域构造—沉积演化分析,综合运用构造、古生物、岩性、测井和地震等5个方面的特征,以郑荣才等(2000)的层序级次划分和命名原则为基础(表2),同时考虑界面性质、界面级次、层序结构和叠加样式等,将白音查干凹陷下白垩统阿尔善组—都红木组划分为2个超长期层序(分别对应于阿尔善组—腾格尔组和都红木组)和5个长期层序(分别对应于阿一段、阿二段、腾格尔组、都一段和都二段—都三段)(图2)。

4.1 超长期层序

4.1.1 构造特征

二连盆地白垩系包含着3个裂陷—构造反转旋回,分别为生产分层上的阿尔善组—腾一段、腾格尔组二段(简称腾二段)和赛汉塔拉组(梁宏斌等,

2010),对应于白音查干凹陷内的阿尔善组—腾格尔组、都红木组和赛汉塔拉组。即在早白垩世阿尔善组—都红木组沉积期,在白音查干凹陷内由构造应力场的反转而形成了3个超长期层序(构造层序)界面——阿尔善组底、都红木组底和赛汉塔拉组底。

(1)晚侏罗世末期,二连盆地的构造背景由早—中侏罗世的伸展断陷转变为挤压抬升,形成了二连盆地构造演化的第一次构造应力场反转,造成了二连盆地内普遍存在下白垩统角度不整合于下伏地层之上。该期构造应力场反转对整个内蒙古东部均普遍造成影响(内蒙古自治区地质矿产局, 1993; 朱坤玉, 1997)。该构造应力场反转的原因可能与西伯利亚和布列亚地块的碰撞俯冲及由此引起的蒙古—鄂霍茨克洋的闭合有关(肖安成等, 2001)。在白音查干凹陷内表现为侏罗系的缺失和阿尔善组直接以角度不整合覆盖于下古生界变质岩基底之上,形成了白音查干凹陷内的第一个超长期层序(构造层序)界面。

(2)在早白垩世晚期的腾一段(生产分层)沉积期与腾二段(生产分层)沉积期之间,二连盆地的构造演化又发生了第二次构造应力场反转——由伸展断陷转变为挤压抬升,该期构造应力场反转所产生的冲断作用导致腾一段(生产分层)褶皱抬升,而造成腾一段与腾二段(生产分层)的不整合接触,在邻区的海拉尔盆地和松辽盆地也均有响应(肖安成等, 2001)。其原因可能与由太平洋板块运动方向变化所导致的中国东部乃至日本及朝鲜地区产生区域性的左旋剪切走滑作用有关(Otoh, 1996),即太平洋板块中生代向欧亚板块汇聚的运动方向在110 Ma(早白垩世晚期)左右从NW向转变为正N

表2 层序划分方案和基本特征(据郑荣才等, 2000修改)

Table 2 Classification and basic characteristics of sequences stratigraphy(modified from Zheng Rongcai et al., 2000)

层序名称	时限范围 / Ma	层序定义	层序发育规模	主要控制因素	与 Vail 相当的层序地层单元对比	地层可对比范围
超长期	10~50	以盆地演化各阶段为单位的构造充填序列(或构造充填层序、构架层序)	数百米—千余米	构造演化阶段的应力场转换	不能完全对比	二连盆地范围内基本可对比
长期	1~5	一套具较大水深变化幅度的、彼此间具成因联系的地层所组成的区域性湖进—湖退沉积序列	百余米—数百米	构造幕的脉动性强弱变化	相当 III 级层序	二连盆地内各凹陷或同一凹陷内的相邻沉积体系中基本可对比

向(肖安成等,2001)。该期构造应力场反转在白音查干凹陷内表现为较大幅度的抬升,致使腾格尔组沉积末期红层普遍发育,造成腾格尔组与都红木组的不整合接触,形成了白音查干凹陷内的第二个超长期层序(构造层序)界面。

(3)对应于二连盆地腾二段(生产分层)与赛汉塔拉组沉积之间的第三次构造应力场反转,白音查干凹陷在早白垩世晚期的都红木组沉积之后整体挤压抬升,湖盆收缩,其北部控凹边界断层发生构造反转^①。一方面表现为凹陷边部抬升剥蚀,之后在局部地区沉积了少量上白垩统和新近系;另一方面表现为边界断层下降盘地层加厚与倾向方向相反,即下白垩统上部地层向北加厚而区域产状却为南倾。该期构造反转形成的赛汉塔拉组下部的“灰白色厚层砂砾岩段”(表1,图2),与下伏都红木组深灰色泥页岩细粒沉积形成鲜明的对比,造成赛汉塔拉组与都红木组的不整合接触,形成了白音查干凹陷内的第三个超长期层序(构造层序)界面。

对应于二连盆地及白音查干凹陷内的这三期构造应力场反转形成的阿尔善组底、都红木组底和赛汉塔拉组底的3个超长期层序界面,可将白音查干凹陷下白垩统阿尔善组—都红木组划分为2个超长期层序,分别对应于阿尔善组—腾格尔组和都红木组(图2)。

4.1.2 古生物特征

二连盆地白垩统巴彦花群介形类化石属种丰富,共12属86种,主要产于阿三段—腾格尔组(生产分层)(李宏容,1989)。白音查干凹陷下白垩统巴彦花群介形类化石也很丰富,共11属54种,主要产于都红木组,其次为腾格尔组,与二连盆地介形类化石发育的层位基本相当(蒋飞虎等,1996,2000)。

二连盆地的阿一段—阿二段(生产分层)(相当于白音查干凹陷的阿尔善组)不含介形类化石(李宏容,1989)。阿三段—腾一段(生产分层)(相当于白音查干凹陷的腾格尔组)介形类化石属种在巴彦花群中最多(共11属47种),且在二连盆地内广泛稳定分布,以 *Cypridea* 为主,富含 *Cypridea* (*Cypridea*) *badalahuensis*、*Timiriasevia polymorpha*、*Dryelba krystofovitschi* 等,称为 *Cypridea* (*Cypridea*) *badalahuensis*—*Timiriasevia polymorpha*—*Dryelba krystofovitschi* 组合(李宏容,1989)。自下而上可划

分为3个亚组合:阿三—阿四段(生产分层)(相当于白音查干凹陷腾格尔组下部)的 *Cypridea* (*Cypridea*) *badalahuensis*—*Djungarica saidovi* 亚组合代表该阶段介形类的初生期,腾一段(生产分层)下部(相当于白音查干凹陷腾格尔组中部)的 *Cypridea* (*Cypridea*) *badalahuensis*—*Timiriasevia polymorpha*—*Darwinula contracta* 亚组合代表该阶段介形类的发展期,腾一段(生产分层)上部(相当于白音查干凹陷腾格尔组上部)的 *Cypridea* (*Cypridea*) *masjacini giganta subsp. Nov.*—*Dryelba krystofovitschi* 亚组合代表该阶段介形类的繁盛期,各亚组合之间介形类具继承性和连续性(李宏容,1989)。

与二连盆地阿尔善组—腾一段(生产分层)沉积期介形类演化特征相似,白音查干凹陷阿尔善组介形类化石含量极少,仅在其上部零星发现适应性强的 *Limnocypridea minuta* 和 *Lycocypris infantilis*,化石分异度很低。白音查干凹陷腾格尔组介形类化石属种和数量远不及二连盆地主体丰富,共8属17种,主要产于腾格尔组上部,为白音查干凹陷巴彦花群介形类初生期的产物,以 *Rhinocypris nomugenensis*、*Cypridea* (*Cypridea*) *delnovi*、*Cypridea* (*Cypridea*) *unicostata*、*Cypridea* (*Cypridea*) *prognata*、*Cypridea* (*Cypridea*) *sulcata* 和 *Timiriasevia* 为标志性分子,称为 *Cypridea* (*Cypridea*) *unicostata*—*Cypridea* (*Cypridea*) *delnovi*—*Rhinocypris nomugenensis* 组合(蒋飞虎等,1996,2000)。其中所含的 *Cypridea* (*Cypridea*) *delnovi* 和 *Rhinocypris nomugenensis* 等介形类分子也是二连盆地主体腾一段(生产分层)上部 *Cypridea* (*Cypridea*) *masjacini giganta subsp. Nov.*—*Dryelba krystofovitschi* 亚组合的特征分子,两者层位相当(蒋飞虎等,1996)。

二连盆地都红木组(科研分层)介形类化石面貌与下伏腾格尔组(科研分层)介形类化石组合明显不同,为二连盆地巴彦花群介形类的一个新发展期。以发育 *Ilyocyprimorpha*、*Limnocypridea*、*Cypridea* 和 *Cypridea* (*Ullwellia*) 为主要特征,称为 *Limnocypridea grammii*—*Ilyocyprimorpha erlianensis*—*Cypridea* (*U.*) *copulenta* 组合(李宏容,1989)。其中绝大部分介形类属种为二连盆地都红木组(科研分层)中新出现的分子,在该组的9属43种中,仅有6属13种是由下伏地层延续上来的,其余30种均产

自都红木组,约占总种数的70%(李宏容,1989),特别是在下伏阿三段—腾一段(生产分层)*Cypridea* (*Cypridea*) *badalahuensis*—*Timiriasevia polymorpha*—*Dryelba krystofovitschi*组合(李宏容,1989)中很兴盛的 优势分子 *Cypridea* (*Cypridea*) *badalahuensis*、*C. (C.) masjacini*、*C. (C.) accommodata*、*Timiriasevia polymorpha* 和 *Djungarica saidovi* 已全部绝迹,*Dryelba* 也基本绝迹,*Mongolianella* 偶见。

与二连盆地都红木组(科研分层)沉积期介形类演化特征相似,白音查干凹陷都红木组介形类化石面貌与下伏腾格尔组相比也发生了明显的变化,代表介形类的发展进入了一个新的阶段。在其10属50种介形类化石(蒋飞虎等,2000)中,除12种从腾格尔组延续上来外,其余38种均为都红木组中新产生的,占总种数的76%。其介形类属种类型及数量从都一段(9属31种,其中从腾格尔组继承12种)开始发展,都二段(10属45种,其中从都一段继承29种)—都三段(6属17种,其中从都二段继承15种)达到繁盛。按介形类属种不同,白音查干凹陷都红木组介形类化石可划分为两个组合:都一段—都二段介形类化石个体较大、属种丰富,为白音查干凹陷介形类的繁盛期,其优势分子为 *Limnocypridea*、*Clinocypris* 和 *Cypridea (Yumenia)*, 称为 *Limnocypridea trapezoidea*—*Clinocypris ventriconcava*—*Cypridea (Yumenia) subremota* 组合。其中的 *Limnocypridea* 分子繁盛的情况与二连盆地主体都红木组(科研分层)下部 *Limnocypridea grammi* 富集情况相对应,特别是其主要分子 *Limnocypridea tapezoidea* 与二连盆地主体 *Limnocypridea grammi* 形态很接近(蒋飞虎等,1996);都三段以个体小、壳饰简单的 *Limnocypridea minuta* 的高度富集为特点,还产有大量的 *Paralimnocythere chuanjingensis* 和 *Paralimnocythere impolita*, 称为 *Limnocypridea minuta* 富集组合。其中的次要分子 *Cypridea (Cypridea) xisuensis*、*Rhinocypris jurassica spinosa* 和 *R. potanini* 均分布于二连盆地主体都红木组(科研分层)中, *Ilyocyprimorpha cf. erlianensis* 与二连盆地主体都红木组(科研分层)上部的富集分子 *Ilyocyprimorpha erlianensis* 可对比(蒋飞虎等,1996)。

二连盆地赛汉塔拉组介形类化石属种与下伏都红木组相比截然不同,除少数种(如 *Cypridea (Ullwellia) copulenta*) 从下伏地层都红木组(科研分层)延续上来外,基本上都为新出现的分子,以 *Cypridea* 为主,称为 *Cypridea (Morinina) subtuberculisperga* — *Cypridea (Pseudocypridina) infidelis* — *Cypridea (Cypridea) unicostata* 组合。

与二连盆地赛汉塔拉组沉积期介形类演化特征相似,在都红木组沉积末期,白音查干凹陷绝大多数介形类分子也基本绝灭而未进入赛汉塔拉组,赛汉塔拉组介形类仅见少量 *Limnocypridea* 和 *Cypridea* 等,分异度很低。

白音查干凹陷与二连盆地的介形类化石演化特征相似,发育层位基本相同,各化石组合基本可以对比。白音查干凹陷阿尔善组中介形类化石含量很少,进入腾格尔组后逐渐增多以致繁盛,至腾格尔组沉积末期,介形类发生了第一次大绝灭,都红木组中新出现的介形类分子大于70%,介形类发展进入了一个新阶段;至都红木组沉积末期,介形类又发生了第二次大绝灭,绝大部分介形类未进入赛汉塔拉组,赛汉塔拉组发育的介形类基本上都为新出现的分子。腾格尔组(二连盆地的科研分层)沉积末期和都红木组(二连盆地的科研分层)沉积末期介形类的两次大绝灭,反映了二连盆地及白音查干凹陷当时的沉积环境发生了巨大变化,也与前述二连盆地及白音查干凹陷白垩纪构造应力场反转(梁洪斌等,2010)相对应。所以,从古生物演化的角度也将白音查干凹陷下白垩统阿尔善组—都红木组划分为2个超长期层序(构造层序),分别对应于阿尔善组—腾格尔组和都红木组(图2)。

4.2 长期层序

4.2.1 构造特征

白音查干凹陷发育有3条主控断层——塔拉断层、塔拉南断层和白音—翁特断层(图1),对凹陷的形成演化、沉积—沉降中心的迁移等起主要控制作用。其中,控制凹陷发育的Ⅰ级断层塔拉断层的垂直活动量最大,为几百至2000多米(图3),而控制凹陷内构造带发育的Ⅱ级断层塔拉南断层和白音—翁特断层的垂直活动量较小,分别为几十至400多米和多小于200 m[●](图4,图5)。东部次凹内发育的断层大多为Ⅲ级和Ⅳ级,对凹陷的构造和沉积控制

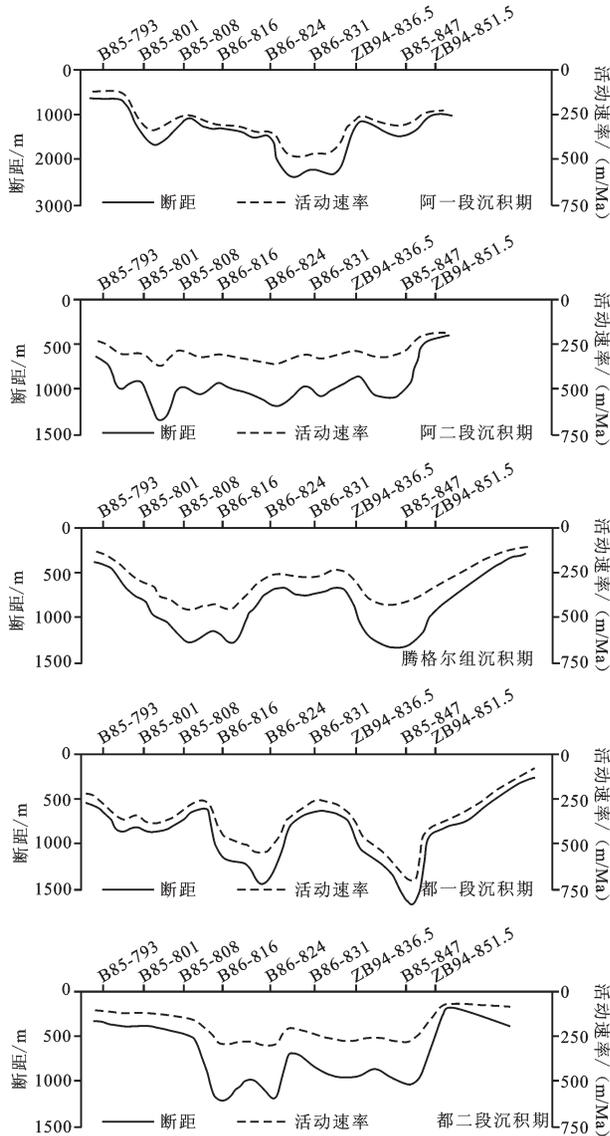


图3 早白垩世不同时期塔拉断层垂直断距及其生长速率[●] (二维地震测线位置见图1)

Fig. 3 The vertical fault throw and its growth rate of Tala Fault at different stages of Lower Cretaceous in Baiyinchagan Sag, Erlian Basin (2D seismic line location shown in Fig. 1)

不明显。根据地质平衡剖面分析[●],白音查干凹陷的断陷活动主要发生在都红木组沉积之前,可分为阿一段沉积期、阿二段沉积期和腾格尔组沉积期3个幕式断陷构造旋回。腾格尔组沉积之后白音查干凹陷的构造演化开始由断陷向拗陷转换,其中都一段沉积期为断—拗转换构造旋回,而都二段—都三段沉积期主要为拗陷构造旋回。都红木组沉积之后,白音查干凹陷便进入了萎缩抬升阶段。

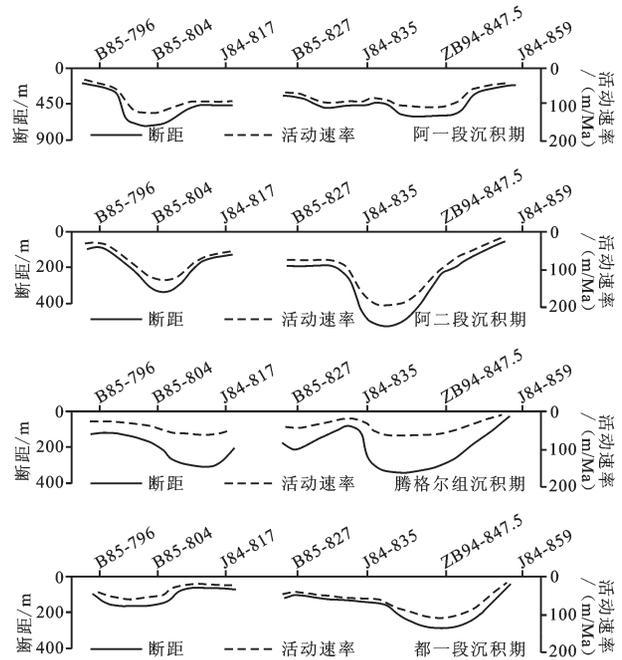


图4 早白垩世不同时期塔拉南断层垂直断距及其生长速率[●](二维地震测线位置见图1)

Fig. 4 The vertical fault throw and its growth rate of Talanan Fault at different stages of Lower Cretaceous in Baiyinchagan Sag, Erlian Basin (2D seismic line location shown in Fig. 1)

(1)初始断陷期(阿一段沉积期):该期白音查干凹陷北部边界的塔拉断层与西部次凹北部的塔拉南断层开始发育并强烈活动,顺断层延伸方向差异沉降明显,在西部次凹形成了以桑合、古尔东横向凸起分割的3个次洼——霍恩次洼、呼热—敖伦次洼和冬屋次洼,其中,呼热—敖伦次洼沉降幅度最大(大于2000 m),霍恩和冬屋次洼沉降幅度较小(1000~1500 m)[●](图3,图4)。次洼中主要充填了厚度近400 m的杂色砂砾岩,说明当时白音查干凹陷尚未形成汇水盆地。东部次凹的东达断层和查干断层该期也相继发育,形成了与走向一致的狭长断槽,并充填了一套厚度远小于西部次凹的砂泥岩沉积。相应于该期断层的垂向活动,白音查干凹陷也开始发生水平伸展,其不同部位的总水平断距生长速率变化为0.23~0.54 km/Ma,平均为0.37 km/Ma[●](图6)。

(2)稳定断陷期(阿二段沉积期):该期是白音查干凹陷的主裂陷期与扩张期。塔拉断层及塔拉南断层活动强度及顺断层延伸方向差异沉降作用均较阿一段沉积期减弱,冬屋次洼向西扩展并与呼

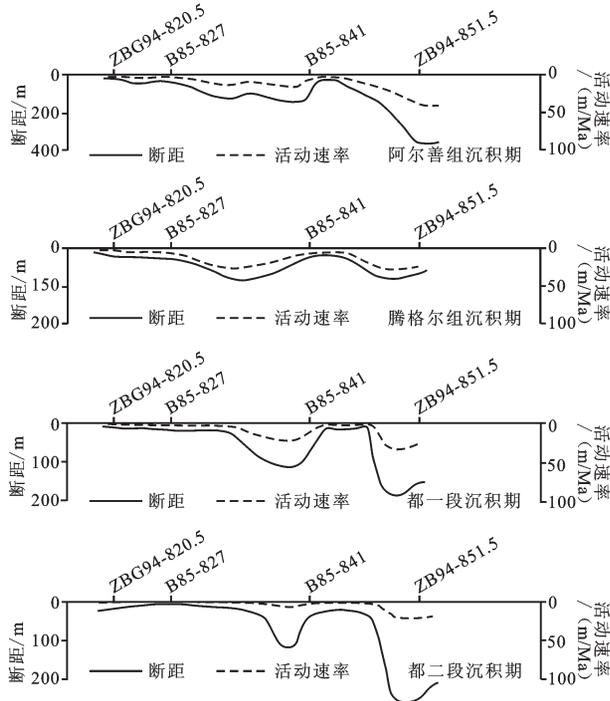


图5 早白垩世不同时期白音—翁特断层垂直断距及其生长速率^①(二维地震测线位置见图1)

Fig.5 The vertical fault throw and its growth rate of Baiyin-Wengte Fault at different stages of Lower Cretaceous in Baiyinchagan Sag, Erlian Basin (2D seismic line location shown in Fig. 1)

热—敖伦次洼基本连为一体,其间的古尔东横向凸起收缩明显(图3,图4)。该期白音查干凹陷南坡的白音—翁特断层虽有活动,但其活动速率及垂直下降幅度比塔拉断层小得多,一般在100~300 m的范围内,多数地区小于100 m^①(图5),对凹陷的构造格局影响不大。东部次凹的断层于阿二段沉积期再次活动,但总体沉积特征仍是充填夷平,阿二段沉积后,东部次凹断裂活动趋于平静,断槽已基本夷平,并由断槽沉积型转化为湖盆沉积型。该期凹陷的总水平断距生长速率也不断增大,但不同部位的差别较大,其变化范围为0.26~0.79 km/Ma,平均为0.47 km/Ma^①(图6)。

(3)震荡断陷期(腾格尔组沉积期):该期白音查干凹陷曾发生回返抬升,断陷活动强度在有所减弱后逐渐加强。该时期塔拉断层的活动有两个突出特点:一是断层的活动量相对于阿二段沉积期有所减弱,除霍恩—桑合、冬屋地区维持较高的沉降幅度(超过1000 m)外,大多数地区断层的活动量在

600~700 m^①(图3);二是顺断层延伸方向的差异性活动增强,断层活动量曲线表现为大起大落。呼热—古尔地区向上抬升使阿尔善组沉积期形成的呼热—敖伦次洼转变为横向凸起,霍恩次洼和冬屋次洼则继承性扩展(图3)。该期白音查干凹陷的总水平断距生长速率进一步扩大,但不同部位的差别较之前变小,其变化范围为0.27~0.65 km/Ma,平均为0.50 km/Ma^①(图6)。

(4)断—拗转换期(都一段沉积期):该期白音查干凹陷也呈现出两个明显的特点:一是塔拉断层的垂向活动仍较强烈,垂直下降幅度为500~1400 m,顺断层延伸方向的差异沉降也十分突出,形成该期的次洼分布格局与腾格尔组有明显的不同——3个次洼分别分布于霍恩、桑合—呼热和冬屋地区,冬屋次洼最大,霍恩次洼最小(图3);二是白音查干凹陷的总水平断距生长速率不仅在西部次凹各处的差异性较之前明显减小而趋于一致,而且其在白音查干凹陷各构造旋回中也较小(变化范围为0.28~0.51 km/Ma,平均为0.41 km/Ma^①)(图6),说明白音查干凹陷的构造演化已开始从断陷向拗陷转换。

(5)拗陷期(都二段—都三段沉积期):该期断裂活动相对较弱并逐渐停止,东西次凹连成一体,白音查干凹陷的构造演化进入了拗陷阶段,以稳定厚层泥岩沉积为主,成为覆盖全区的良好区域性盖层。在西部次凹,南坡有少量断层仍有继承性活动,但活动强度变弱,以稳定泥页岩沉积为主;北坡的断层基本停止活动,桑合等构造停止发育。相应于该期白音查干凹陷的构造演化由断陷逐渐转化为拗陷,其水平伸展作用也基本停止^①。都红木组沉积之后,白音查干凹陷便进入了萎缩挤压抬升期,全区面貌发生较大改观。

对应于构造演化的5个幕式构造旋回,白音查干凹陷下白垩统阿尔善组—都红木组可划分出5个长期旋回层序(相当于Vail的Ⅲ级层序),分别对应于阿一段、阿二段、腾格尔组、都一段和都二段—都三段(图2)。

4.2.2 岩性特征

阿一段沉积期是白音查干凹陷的构造初始断陷期,凹陷内主要发育杂色砂砾岩(图7a)、灰白色—浅灰色含砾砂岩、砂砾岩,夹薄层浅灰色泥岩、粉砂岩和紫红色泥岩等,主要为陆上氧化环境下冲积扇

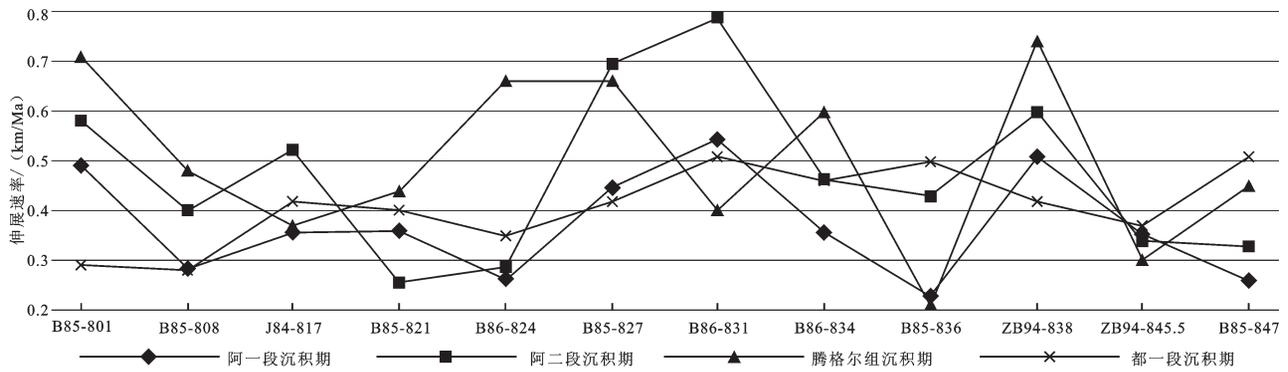


图6 白音查干凹陷早白垩世不同时期总水平断距生长速率(二维地震测线位置见图1)

Fig.6 Growth rate of the total horizontal fault throw at different stages of Lower Cretaceous in Baiyinchagan Sag, Erlian Basin (2D seismic line location shown in Fig. 1)

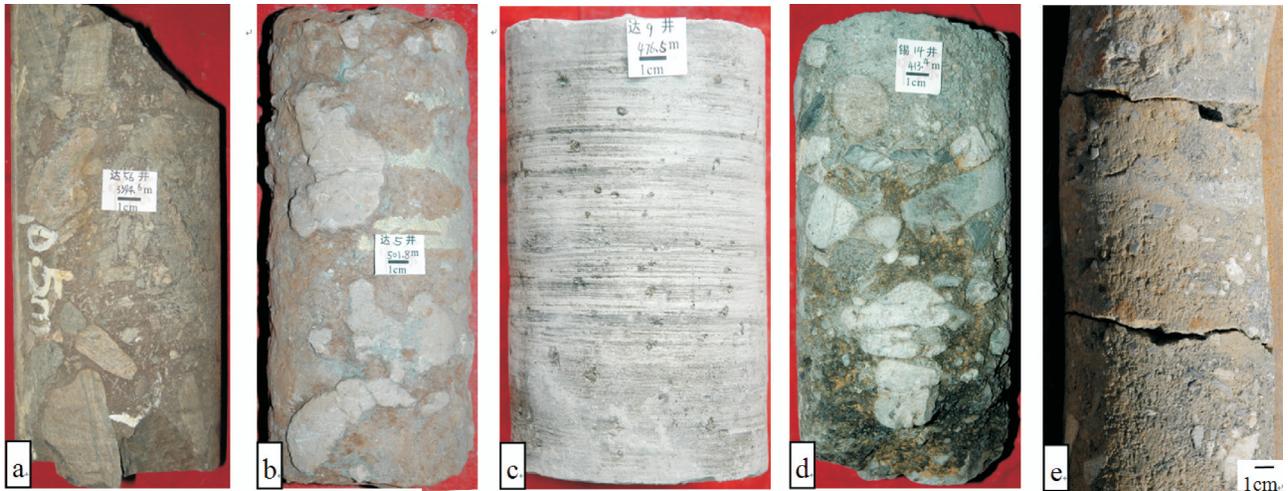


图7 白音查干凹陷下白垩统岩性特征

a—杂色砂砾岩,达56井,3394.6 m,阿一段;b—暗棕红色泥岩中发育的不规则状钙质结核,达5井,501.8 m,腾格尔组顶部;c—灰色泥页岩中的黄铁矿集合体,达9井,476.5 m,都一段;d—灰色砂砾岩(含原油),锡14井,413.4 m,都一段;e—灰色砂砾岩,锡40井,1230.3 m,腾格尔组底部

Fig.7 Lithologic features of Lower Cretaceous in Baiyinchagan Sag, Erlian Basin

a – Mottled sandstone and conglomerate, Well Da56, 3394.6 m, the 1st member of Aershan Formation; b– Irregularly shaped calcareous concretions from dark brownish red mudstone, Well Da5, 501.8 m, the top of Lower Cretaceous Tenggeer Formation; c– Pyrite accumulations from grey mudstone and shale, Well Da9, 476.5 m, the 1st member of Duhongmu Formation; d– gray sandstone and conglomerate (including crude oil), Well Xi14, 413.4 m, the 1st member of Duhongmu Formation; e– Gray sandstone and conglomerate, Well Xi40, 1230.3 m, the bottom of Lower Cretaceous Tenggeer Formation

快速堆积的产物,说明当时凹陷尚未形成汇水盆地,大面积均处于暴露剥蚀的水上氧化环境。

阿二段沉积期是白音查干凹陷的构造稳定断陷期,白音查干凹陷发育规模逐渐扩大,开始形成汇水盆地并逐渐向凹陷南、北斜坡超覆,水域面积也逐渐扩大。白音查干凹陷内主要沉积暗色泥页岩,形成了凹陷内的第一套烃源岩层。代表受构造断陷作用的影响,凹陷内的沉积环境由阿一段沉积期以陆上暴露的氧化环境为主转变为阿二段沉积期较稳定的半深湖—深湖还原环境。

腾格尔组沉积期是白音查干凹陷的构造震荡断陷期,其基本沉积特征为下粗上细,下灰上红,自下而上发育3个沉积单元:底部为灰—灰白色砂砾岩、含砾砂岩、砂岩、粉砂岩与灰色泥岩、粉砂质泥岩等呈互层,与下伏阿二段暗色泥页岩呈突变接触,表明腾格尔组沉积初期构造运动使白音查干凹陷发生一定幅度的抬升,造成阿二段沉积期较稳定的半深湖—深湖环境变为腾格尔组沉积期较动荡的湖泊三角洲浅水环境;向上腾格尔组变为暗色砂岩、含砾砂泥岩互层段,砂岩或泥岩中含有白云质;最上部含暗棕红色砂

泥岩互层,整体上从凹陷西部向东部红层含量逐渐增多,暗棕红色泥岩中发育有较多不规则状的钙质结核(图7b),反映当时沉积环境为暴露于地表的氧化环境,也反映腾格尔组沉积末期白音查干凹陷为较干旱的气候环境,与由孢粉化石资料所得出的白音查干凹陷腾格尔组沉积期为干旱热带—亚热带型气候(李寿军,2009)相一致。

都红木组沉积期是白音查干凹陷的断拗转折期—拗陷期,其沉积环境由腾格尔组沉积期的湖泊三角洲浅水沉积为主转变为半深湖—深湖的深水沉积为主,白音查干凹陷东、西次凹连为一体,都红木组以暗色泥岩广泛发育为基本特征,形成了白音查干凹陷较稳定的区域性盖层。都一段俗称“梳状白云质泥岩段”(表2),以浅—深灰色泥岩、白云质泥岩、灰黄色泥质白云岩为主,夹浅灰色粉砂岩、泥质粉砂岩和粉砂质泥岩等,其中,泥岩中含黄铁矿(图7c),白云质含量由西向东逐渐减少。在凹陷边缘,都一段底部发育灰色含砾泥岩(图7d),与下伏腾格尔组顶部的红色砂泥岩地层呈突变接触。不仅反映出白音查干凹陷的沉积环境由腾格尔组沉积末期的氧化环境变为都一段沉积期的还原环境,而且也指示都红木组与腾格尔组的分界面为不整合面,油气正是经由该不整合面从凹陷内部向边缘运移,在凹陷南部斜坡带形成了都一段底部规模较大的砂砾岩稠油油藏。

都二段—都三段岩性相似,以暗色泥页岩发育为特征。都二段主要为深—浅灰色页岩与泥岩的等厚或不等厚互层,偶夹浅灰色粉砂岩、泥质粉砂岩,俗称“页岩细脖子段”(表2);都三段主要为厚层灰色泥岩,有时夹浅灰色粉砂质泥岩、粉砂岩、砂岩等,俗称“泥岩细脖子段”(表2)。

都红木组各段虽均以泥页岩等细粒沉积为主,但都一段泥质白云岩发育,而都二段—都三段不发育。近年来的研究表明(郭强等,2012,2014;钟大康等,2015),白音查干凹陷腾格尔组—都一段发育的泥质白云岩为深部热液经由地下深大断裂进入盆地而形成的热水沉积白云岩,与前述白音查干凹陷都二段沉积之前以裂隙为主,而都一段沉积之后以拗陷为主的构造背景相对应。此外,热水沉积白云岩呈现出异常高的自然伽马值($GR=700\sim 1100API$),为正常泥质岩的2~4倍(郭强等,2014),

具异常高的自然伽马的环境对介形类动物的发展可能产生不利的影响^⑥,致使白音查干凹陷都一段介形类化石的属种和数量均不丰富,而都二段—都三段介形类化石则十分丰富(为白音查干凹陷介形类化石最富集的层位)。地层中介形类化石的丰度大致能反映其沉积期介形类动物群的丰度,而沉积期介形类动物群的丰度主要受当时沉积环境所控制,所以,从古生物的角度也进一步印证了白音查干凹陷都一段与都二段—都三段由沉积环境的较大差别造成其岩性的较大差别。

赛汉塔拉组下部以厚层—块状灰白色砾状砂岩、含砾砂岩、粗砂岩为主,夹薄层灰色泥岩或含砾泥岩,俗称“灰白色厚层砂砾岩段”(表2),与下伏的都三段暗色泥岩细粒沉积呈突变接触,反映了都红木组沉积末期受构造运动影响沉积环境的较大变化。

白音查干凹陷阿尔善组—都红木组中各组段岩性变化明显,均呈突变接触,与该沉积阶段白音查干凹陷的5个幕式构造演化阶段也相对应,反映了受构造运动的影响,白音查干凹陷阿尔善组—都红木组各组段的沉积环境的较大变化。据此可将白音查干凹陷阿尔善组—都红木组划分为5个长期层序,分别对应于阿一段、阿二段、腾格尔组、都一段和都二段—都三段(图2)。

4.2.3 地震反射特征

根据地震反射层特征及过井剖面层位标定,在白音查干凹陷下白垩统阿尔善组—都红木组可划分出7个地震反射界面(图8),即 T_8 、 T_8 、 T_7 、 T_6 、 T_5 、 T_4 和 T_3 ,分别对应于下古生界基底、阿一段、阿二段、腾格尔组、都一段、都二段和都三段的顶界面。

T_8 地震反射界面相当于白音查干凹陷下古生界基底顶界面的反射,其内部具杂乱地震反射特征。在拗陷南部斜坡带地震剖面上, T_8 表现为2个相位、低频、连续性较好的反射,在凹陷中部及北部陡坡带基底反射不清。该地震反射界面为一区域性角度不整合面,在全凹陷内基本可追踪对比。 T_8 地震反射界面相当于阿一段顶界面,其内部具中—高频、弱连续的地震反射特征,主要与其岩性以砂砾岩为主、成层性较差且埋藏深度较大有关。在地震剖面上 T_8 多表现为单相位、中—弱振幅、连续性相对较差的反射,在全凹陷内基本可追踪对比。 T_7 地震反射界面相当于阿二段顶界面,其内部具中频、

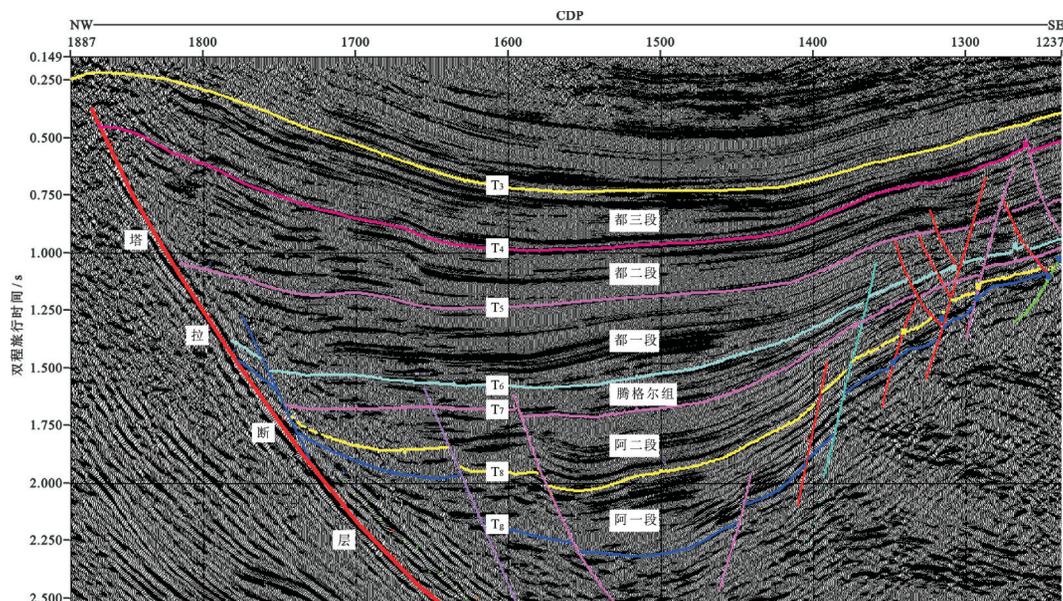


图8 白音查干凹陷西部次凹阿尔善组—都红木组地震层序解释剖面(Inline 2653)

Fig.8 Seismic profile showing the seismic sequences within Lower Cretaceous Aershan—Duhongmu Formation in western subsag of Baiyinchagan Sag, Erlian Basin (Inline 2653)

连续—弱连续的地震反射特征。在地震剖面上 T_7 表现为多相位、中频、强振幅、连续性较好的反射,在全凹陷内可追踪对比。 T_6 地震反射界面相当于腾格尔组顶界面,其内部具中频、连续—弱连续的地震反射特征。在地震剖面上 T_6 表现为单相位、中振幅、连续性较好的反射,为一区域性不整合面,在全凹陷内可追踪对比。 T_5 地震反射界面相当于都一段顶界面,其内部具中频、弱连续、弱反射的地震反射特征。在地震剖面上 T_5 表现为1~2个强相位组合、强振幅、连续性好,在全凹陷内极易追踪对比。 T_4 地震反射界面相当于都二段顶界面,其内部具中低频、连续、弱反射的地震反射特征。在地震剖面上 T_4 表现为3~4个强相位组合、低频、连续性好的反射,在全凹陷内可较易追踪对比。 T_3 地震反射界面相当于都红木组顶界面,其内部具中低频、连续—较连续的地震反射特征。在地震剖面上 T_3 表现为2~3个强相位组合、低频、连续性好的反射。该地震反射界面层为一区域性角度不整合面,在全凹陷内可较易追踪对比。

以上各地震反射界面特征明显,在白音查干凹陷内基本可追踪对比,其中 T_9 、 T_8 、 T_7 、 T_6 、 T_5 和 T_3 与白音查干凹陷阿尔善组—都红木组沉积期由5个幕式构造运动所形成的6个长期层序界面及其岩性突变面

相对应,可划分为5个长期层序,分别对应于阿一段、阿二段、腾格尔组、都一段和都二段—都三段。

5 讨论——腾格尔组长期层序底界面性质

从前述构造、古生物、岩性、地震反射等方面的特征,可明显判断出白音查干凹陷下白垩统阿尔善组—都红木组所发育的5个长期层序所对应的6个层序界面中的阿一段底、阿二段底、都一段底、赛汉塔拉组底的4个层序界面为不整合面,而都二段底的层序界面为整合面。关于腾格尔组底的层序界面性质,前人均认为是不整合面,但通过本文进一步研究认为该界面为一整合面,即腾格尔组与阿尔善组为连续沉积、整合接触。

从地层沉积特征方面分析,阿二段沉积期,白音查干凹陷处于构造稳定断陷期,凹陷内水体较深,阿二段主要为非常稳定的暗色泥页岩沉积,而凹陷边缘,特别是南部缓坡带的大部分地区均处于暴露地表的剥蚀夷平状态。至阿二段沉积末期,水域已扩展至凹陷边缘,特别是凹陷南部缓坡带已被水淹没,普遍沉积有厚度不大的阿二段暗色泥页岩。腾格尔组沉积期,白音查干凹陷处于构造震荡断陷期,水体变浅,腾格尔组沉积呈现出明显的下

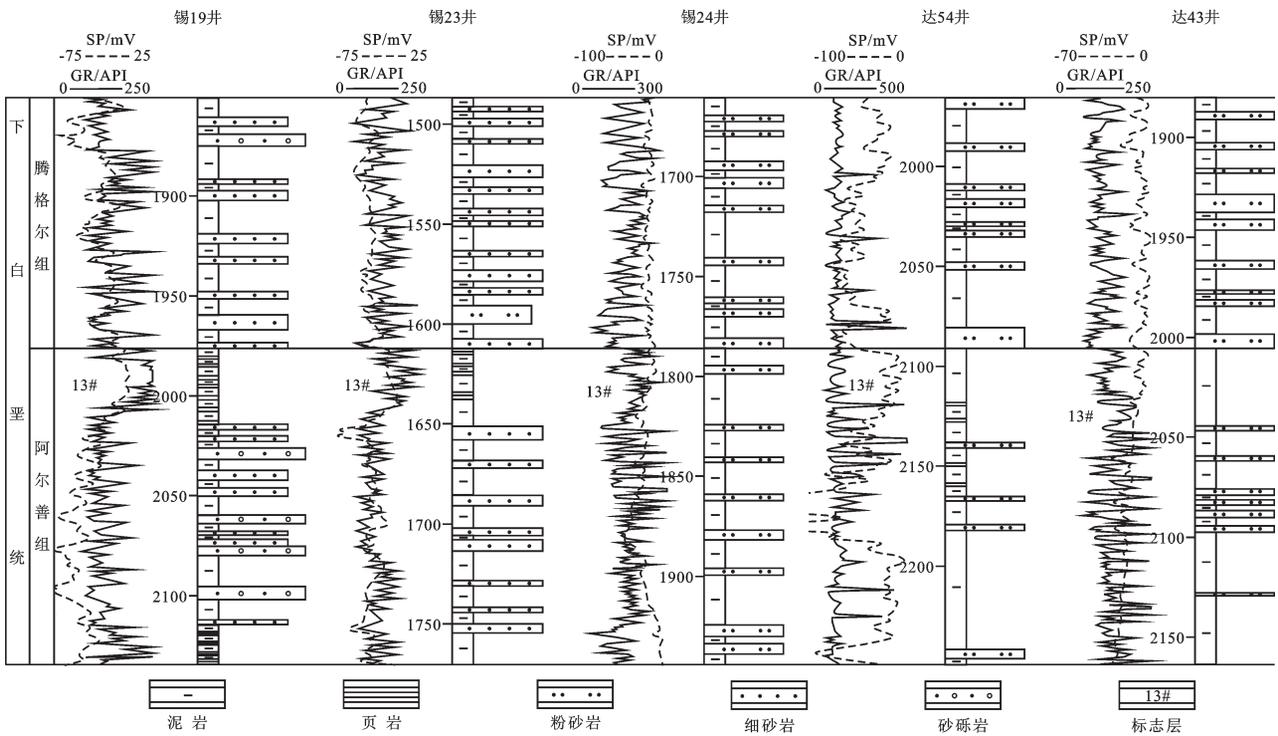


图9 白音查干凹陷下白垩统腾格尔组与阿尔善组分界处地层对比(对比剖面位置见图1)

Fig. 9 The stratigraphic boundary correlation between Lower Cretaceous Aershan Formation and Tenggeer Formation of Baiyinchagan Sag, Erlian Basin (section location shown in Fig. 1)

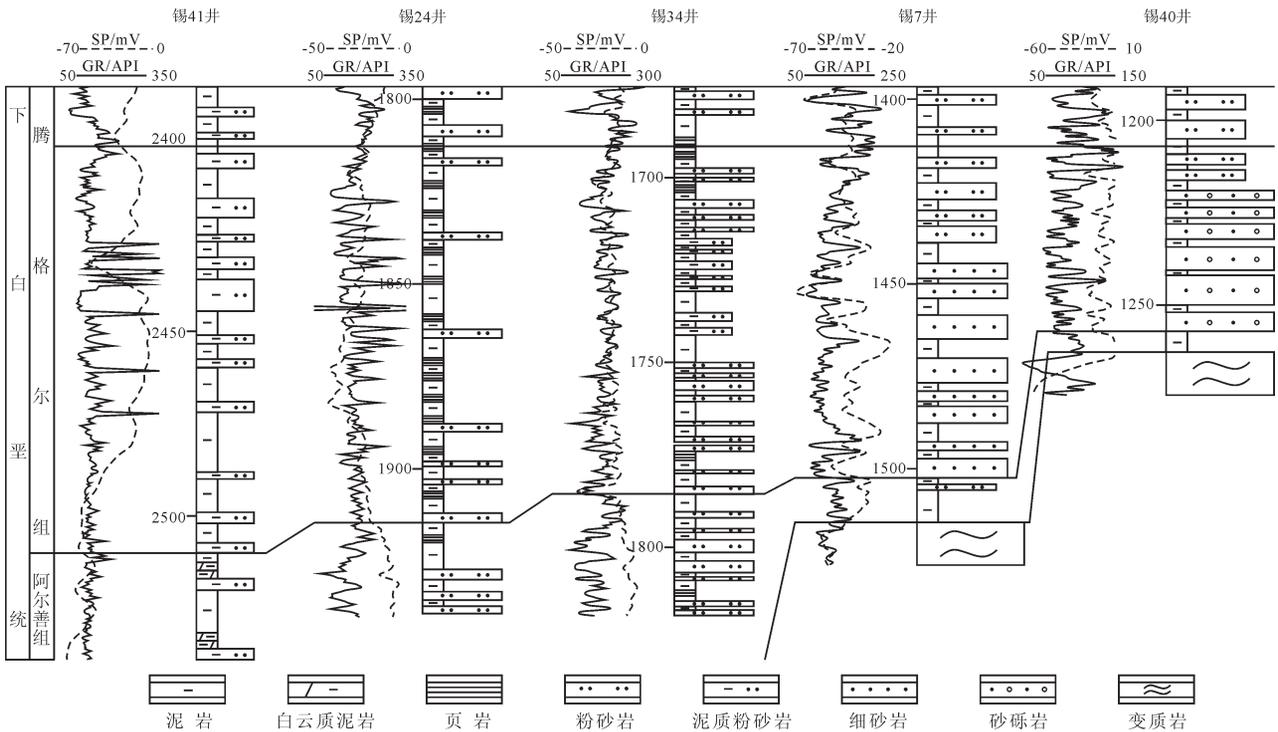


图10 白音查干凹陷下白垩统腾格尔组与阿尔善组分界处地层对比(对比剖面位置见图1)

Fig. 10 The stratigraphic boundary correlation between Lower Cretaceous Aershan Formation and Tenggeer Formation of Baiyinchagan Sag, Erlian Basin (section location shown in Fig. 1)

部砂岩发育而上部泥岩发育的下粗上细特点,与下伏阿二段暗色泥页岩的分界较明显。凹陷内腾格尔组与阿尔善组分界面之下的阿二段顶部为稳定的砂泥岩薄互层沉积,其GR测井曲线表现为连续5~6个起伏较大的尖刀状,在凹陷内稳定发育,具有很好的可对比性(图9),反映其沉积环境较稳定,也表明阿尔善组与腾格尔组为连续无间断的沉积。在凹陷边缘南部缓坡带局部地区(如锡40井—锡43井区),虽然腾格尔组底部发育有含砾砂岩、砂砾岩以及泥质砂砾岩等粗碎屑沉积(图7e),但其下仍均发育有厚度不大的阿二段暗色泥页岩(图10),而不是粗碎屑沉积直接覆盖在下古生界变质基底之上,而且粗碎屑沉积均呈灰色,研究认为其主要为水下弱还原—还原条件下形成的水下扇沉积(高红灿等,2015a),反映即使是在凹陷边缘,腾格尔组与阿尔善组分界处的沉积均处于较深的水下环境,也表明腾格尔组与阿尔善组为连续沉积,即白音查干凹陷腾格尔组与阿尔善组为整合接触。由此也说明腾格尔组与阿尔善组的分界面不能构成油气运移的良好通道,在生产上也解释了在腾格尔组底部,即使圈闭条件良好,如锡40井—锡43井区腾格

尔组底部的砾质滩坝岩性圈闭(高红灿等,2015a),但也会因缺乏良好的油气运移通道致使圈闭中供油不足而不能成藏的现象。

此外,地层倾角测井能够反映地层产状的变化,可识别一些较高级别的层序地层界线。白音查干凹陷腾格尔组与阿尔善组分界面上下的地层倾角测井所反映出的地层产状基本一致(图11),也指示其地层应为较稳定的连续沉积,即腾格尔组与阿尔善组为整合接触。

6 结 论

(1)白音查干凹陷下白垩统阿尔善组—都红木组可划分为2个超长期层序(分别对应于阿尔善组—腾格尔组和都红木组)和5个长期层序(分别对应于阿一段、阿二段、腾格尔组、都一段和都二段—都三段),其长期层序界面所对应的阿一段底界面、阿二段底界面、都一段底界面、赛汉塔拉组底界面为不整合面,都二段底界面为整合面。

(2)白音查干凹陷下白垩统腾格尔组长期层序的底界面为一连续沉积的整合面而不是不整合面,不能构成油气运移的良好通道,所以,在腾格尔组

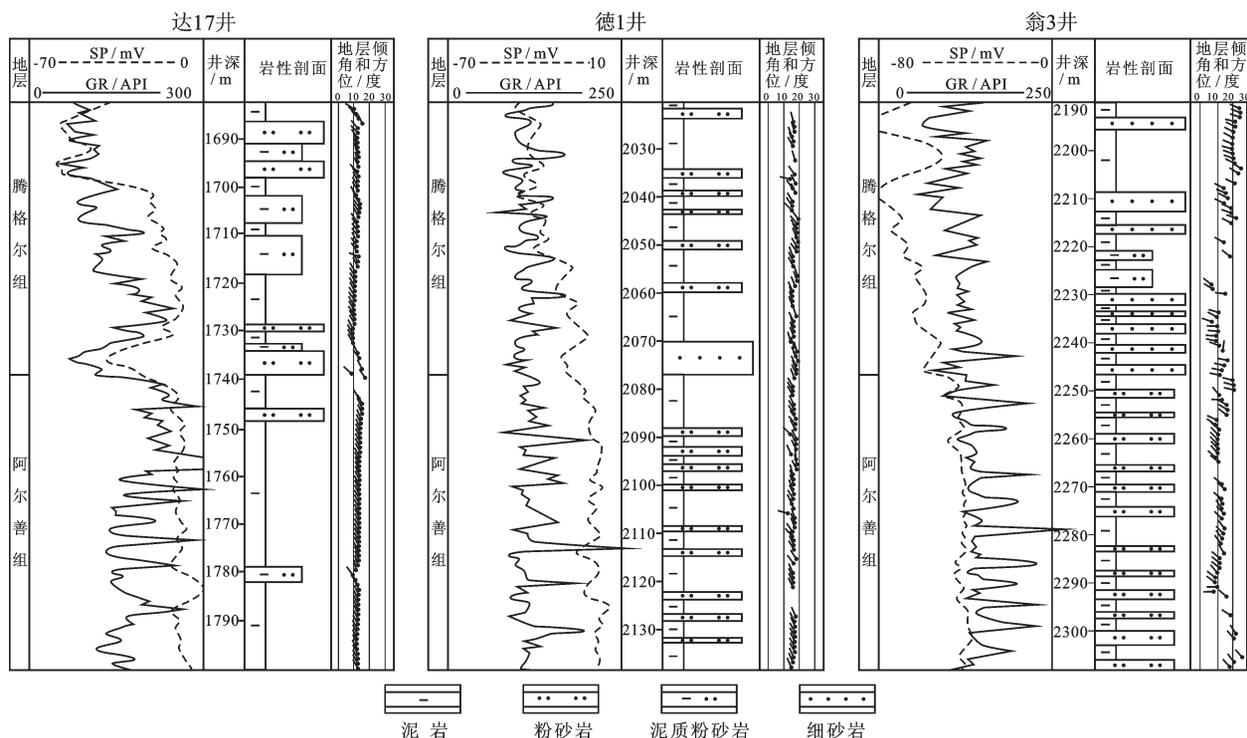


图11 白音查干凹陷下白垩统腾格尔组与阿尔善组分界面处地层倾角测井

Fig. 11 The dip logging of the Lower Cretaceous Aershan Formation and Tenggeer Formation of Baiyinchagan Sag, Erlian Basin

底部即使圈闭条件良好(如锡40井—锡43井区),但也会因缺乏良好的油气运移通道致使圈闭中供油不足而不能成藏。

注释

- ①张万选,池英柳,唐连文. 1995. 二连盆地白音查干凹陷西部洼陷层序地层学研究[R]. 中国石化中原油田勘探开发研究院.
- ②张亚敏,张放东,司淑平. 2005. 白音查干凹陷西部油气精细勘探及目标评价[R]. 中国石化中原油田勘探开发研究院.
- ③蒋飞虎,林桂芳,杨静. 1995. 白音查干凹陷地层划分与对比[R]. 中国石化中原油田勘探开发研究院.
- ④蒋飞虎,范迎风,杨静. 1997. 白音查干凹陷、二连盆地地层对比研究[R]. 中国石化中原油田勘探开发研究院.
- ⑤蒋飞虎,杨静,张放东. 2002. 白音查干凹陷地层研究[R]. 中国石化中原油田勘探开发研究院.
- ⑥陶明华. 1994. 二连、赤峰盆地地层对比研究[R]. 中国石化华北油田勘探开发研究院.
- ⑦库国正,邓已寻,张放东. 2002. 白音查干凹陷构造及发育演化特征研究[R]. 中国石化中原油田勘探开发研究院.

References

- Cai Zhiguo, Li Hongrong, Tang Shengceng, Zhang Wenchao, Zhao Bingyue. 1990. Cretaceous of Erlian Basin[C] // Ye Dequan, Zhong Xiaochun (eds.). Cretaceous in Oil and Gas Bearing Areas of Northern China. Beijing: Petroleum Industry Press, 146–184 (in Chinese with English abstract).
- Chi Yingliu, Zhang Wanxuan, Zhang Houfu, Sun Hongjun. 1996. Genesis of stratigraphic sequence in continental rift basins[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 17(3):19–26 (in Chinese with English abstract).
- Cross T A, Baker M R, Chapin M A, Clark M S, Gardner M H, Hanson M S, Lessenger M A, Little L D, McDonough K–J, Sonnenfeld M D, Valasek D W, Williams M R, Witter D N. 1993. Applications of high-resolution sequence stratigraphy to reservoir analysis[C] // Eschard R, Doligez B (eds.). *Subsurface Reservoir Characterization from Outcrop Observation*. Paris: Technip, 51:11–33.
- Feng Youliang, Li Sitian, Xie Xinong. 2000. Dynamics of sequence generation and sequence stratigraphic model in continental rift–subsidence basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 7(3):119–132 (in Chinese with English abstract).
- Gao Hongcan, Xiao Bin, Zheng Rongcai, Liu Yun, Tan Xianfeng, Shang Yazhen, Zhang Bin. 2015a. Sedimentary characteristics of gravelly beach–bar in the Early Cretaceous Tenggeer Formation of Baiyinchagan Sag, Erlian Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 36(4):612–620 (in Chinese with English abstract).
- Gao Hongcan, Tan Xianfeng, Kuang Hao. Sequence stratigraphy of the Early Cretaceous Tenggeer Formation of Baiyinchagan sag, Erlian Basin[C] // China National Conference of Sedimentology, 2015b, 107 (in Chinese).
- Gao Hongcan, Zheng Rongcai, Xiao Bin, Liu Yun, Zheng Ling, Luan Yanchun, Liu Hongli. 2017. Slump-turbidite sedimentary characteristics of the Lower Cretaceous Tenggeer Formation in Baiyinchagan sag of Erlian Basin: A case study of Well Da 49[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 38(7):777–792 (in Chinese with English abstract).
- Guo Qiang, Zhong Dakang, Zhang Fangdong, Liu Xingang, Fan Lingxiao, Li Junjun. 2012. Origin of the Lower Cretaceous lacustrine dolostones in Baiyinchagan sag of Erlian Basin, Inner Mongolia[J]. *Journal of Palaeogeography*, 14(1):59–68 (in Chinese with English abstract).
- Guo Qiang, Li Ziyang, Qin Mingkuan, Zhong Dakang, Zhang Fangdong, Jia Cui, Wu Jun. 2014. Discussion of hydrothermal sedimentary sequence in Baiyinchagan Sag of Erlian Basin, Inner Mongolia[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 32(5):809–815 (in Chinese with English abstract).
- Haq B U, Hardenbol J, Vail P R. Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change[J]. *SEPM Special Publication*, 1988, 42:71–108.
- Inner Mongolia Bureau of Geology and Mineral Resources. 1993. Regional geology of Inner Mongolia Autonomous Region, People's Republic of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–656 (in Chinese with English abstract).
- Jervey M T. 1988. Quantitative geological modeling of siliciclastic rock sequences and their seismic expression[J]. *SEPM Special Publication*, 42:47–69.
- Jia Chengzao, Zhao Wenzhi, Zou Caineng, Li Ming, Chi Yingliu, Yao Fengchang, Zheng Xiaodong, Liu Xiao, Yin Jifeng. 2004. Two key technologies about exploration of stratigraphic/lithological reservoirs[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 31(3):3–9 (in Chinese with English abstract).
- Jia Chengzao, Zhao Zhengzhang, Du Jinhu, Zhao Wenzhi, Zou Caineng, Hu Suyun. 2008. PetroChina key exploration domains: Geological cognition, core technology, exploration effect and exploration direction[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 35(4):385–396 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Feihu, Liu Xiaoli, Yang Jing. 1996. Ostracoda assemblages and sedimentary environments of the Lower Cretaceous in Baiyinchagan sag[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 23(2):38–42 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Feihu, Yang Jing, Wang Haihong, Wang Cuiying. 2000. Early Cretaceous ostracods from the Baiyinchagan depression of west Inner Mongolia and their paleoecological features[J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 17(3):265–285 (in Chinese with English abstract).
- Li Hongrong. mesozoic ostracoda fauna from Erlian basin, Inner Mongolia[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1989, 1–34 (in Chinese with English abstract).
- Li Jinliang. 2002. Analysis of Sequence Stratigraphy and Favorable Zone Prediction of Baiyinchagan Depression[D]. Beijing: China

- University of Geosciences, 1–71 (in Chinese with English abstract).
- Li Jinliang, Fan Tailiang, Zhang Yueqiao. 2007. Sequence stratigraphy of the Baiyan Qagan subbasin in the Eren basin and applications for petroleum exploration[J]. *Journal of Geomechanics*, 13(1):60–69 (in Chinese with English abstract).
- Li Shoujun. 2009. Discussion on palaeoecology and palaeoclimate of Baiyinchagan depression[J]. *Fault–block Oil & Field*, 16(3):21–23 (in Chinese with English abstract).
- Li Sitian, Yang Shigong, Lin Changsong. 1992. On the chronostratigraphic framework and basic building blocks of sedimentary basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 10(4):11–22 (in Chinese with English abstract).
- Liang Hongbin, Wu Chonglong, Li Linbo, Mao Xiaoping, Bai Shengping. 2010. Unifying division of sequence stratigraphy unit and framework sequence stratigraphy of Erlian basin[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 35(1):97–106 (in Chinese with English abstract).
- Liu Jiang, Zheng Rongcai, Wang Haihong, Hou Changbing, Wang Changyong. 2015. High resolution sequence analysis and sand body prediction of Chang 9 oil set in Hongjingzi area, Ordos Basin[J]. *Geology in China*, 42(2): 710–719(in Chinese with English abstract).
- Otoh S. 1996. Mesozoic inversive wrench tectonics in far east Asia: examples from Korea and Japan[C] // Yin A, Harrison T M (eds.). *The Tectonic Evolution of Asia*. Cambridge: Cambridge University Press, 401–419.
- Posamentier H W, Jervey M T, Vail P R. 1988. Eustatic controls on clastic deposition I – conceptual framework[J]. *SEPM Special Publication*, 42:110–124.
- Posamentier H W, Allen G P. 1993. Variability of the sequence stratigraphic model: effects of local basin factors[J]. *Sedimentary Geology*, 86:91–109.
- Sloss L L. 1963. Sequences in the cratonic interior of North America[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 74(2):93–114.
- Vail P R, Mitchum Jr R M, Thompson S. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level: part 3. Relative changes of sea level from coastal onlap: Section 2. Application of seismic reflection configuration to stratigraphic interpretation[J]. *AAPG Memoir*, 26:63–81.
- Vail P R. 1987. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy: Part 1. Seismic stratigraphy interpretation procedure[J]. *AAPG Studies in Geology*, 27(1):1–10.
- Van Wagoner J C, Mitchum R M Jr, Campion K M, Rahmanian V D. 1990. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, core, and outcrops: concepts for high– resolution correlation of time and facies[J]. *AAPG Methods in Exploration Series*, 7:55.
- Wu Fuyuan, Ye Mao, Zhang Shihong. 1995. Geodynamic model of the Mazhouli_Suifenhe geoscience transect[J]. *Earth Science — Journal of China University of Geosciences*, 20(5):535–539 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Ancheng, Yang Shufeng, Chen Hanlin. 2001. Geodynamic background on formation of Erlian basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 22(2):137–140 (in Chinese with English abstract).
- Xie Xinong, Li Sitian. 1993. Characteristics of sequence stratigraphic analysis in terrestrial basin[J]. *Geological Science and Technology Information*, 12(1):22–26 (in Chinese with English abstract).
- Xie Xinong, Ren Jianye, jiao Yangquan, Ge Ligang. 1996. Tectonism and sequence patterns of down– faulted basins[J]. *Geological Review*, 42(3):239–244 (in Chinese with English abstract).
- Xie Yuan, Liu Jiaduo, Wang jian, Luo Jianning, Li Chunyu, Wang Shenglang, Wang Hai, Li Minghui. 2002. Current advances and future aspects of continental sequence stratigraphy[J]. *Oil & Gas Geology and Tethyan Geology*, 22(2):8–17 (in Chinese with English abstract).
- Xu Huaida. 1991. Problems in analysis of faulted basins of China based on sequence stratigraphic theory[J]. *Oil & Gas Geology*, 12(1):52–57 (in Chinese with English abstract).
- Xu Huaida. 1997. Some problems in study of continental sequence stratigraphy[J]. *Oil & Gas Geology*, 18(2):83–89 (in Chinese with English abstract).
- Xu Shutang, Ma Weimin, Wang Deren, Jin Guangxing, Li Jidong, Yang Yu’ e. 2004. Sequence strata of Lower Cretaceous in Baiyinchagan depression, Erlian basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 22(4):644–650 (in Chinese with English abstract).
- Yan Yuying, Zhao Xijun, Cai Junxing. 2008. Sequence stratigraphy of high resolution of Sanghe area, Baiyinchagan depression[J]. *Fault–block Oil & Field*, 15(6):9–12 (in Chinese with English abstract).
- Yang Yongqiang, Qiu longwei, Nan jinhao. 2011. Sequence stratigraphy characteristics and sedimentary model of Lower Es4 on the south slope of Dongying Depression[J]. *Geology in China*, 38(1): 33–42 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Fushun, Fan Tailiang, Wang Shenglang, Sun Yipu, Ku Guozheng. 2003. The sequence stratigraphic framework and the filling style of Baiyinchagan depression[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 24(2):137–142 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Rongcai, Wu Chaorong, Ye Maocai. 2000. Reseach thinking of high–resolution sequence stratigraphy about a terrigenous basin[J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 27(3):241–244 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Rongcai, Peng Jun, Wu Chaorong. 2001. Grade division of base–level cycles of terrigenous basin and its implications[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 19(2):249–255 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Rongcai, Li Guohui, Chang Hailiang, Li Shilin, Wang Xiaojuan, Wang Changyong. 2015. Sedimentary sequence and paleogeographic characteristics of the Upper Triassic Xujiahe Formation in eastern Sichuan basin[J]. *Geology in China*, 42(4): 1024–1036 (in Chinese with English abstract).

- Zhong Dakang, Jiang Zhenchang, Guo Qiang, Sun Haitao, Yang Zhe. 2015. Discovery of hydrothermal dolostones in Baiyinchagan sag of Erlian Basin, Inner Mongolia, and its geologic and mineral significance[J]. *Oil & Gas Geology*, 36(4):587-596 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Kunyu. 1997. Nappe tectonics in Sertengshan-Daqingshan, Inner Mongolia[J]. *Inner Mongolia Geology*, (1):41-47 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 蔡志国, 李宏容, 唐升层, 张文朝, 赵炳岳. 1990. 二连盆地白垩系[C]//叶得泉, 钟筱春. 中国北方含油气区白垩系. 北京:石油工业出版社, 146-184.
- 池英柳, 张万选, 张厚福, 孙红军. 1996. 陆相断陷盆地层序成因初探[J]. *石油学报*, 17(3):19-26.
- 冯有良, 李思田, 解习农. 2000. 陆相断陷盆地层序形成动力学及层序地层模式[J]. *地质学报*, 7(3):119-132.
- 高红灿, 肖斌, 郑荣才, 刘云, 谭先锋, 尚雅珍, 张彬. 2015a. 白音查干凹陷下白垩统腾格尔组砾质滩坝沉积特征[J]. *石油与天然气地质*, 36(4):612-620.
- 高红灿, 谭先锋, 况昊. 2015b. 二连盆地白音查干凹陷下白垩统腾格尔组层序地层[C]//2015年全国沉积学大会沉积学与非常规资源论文摘要集. 武汉:长江大学, 中国地质大学(武汉), 107.
- 高红灿, 郑荣才, 肖斌, 刘云, 郑玲, 栾艳春, 刘虹利. 2017. 二连盆地白音查干凹陷下白垩统腾格尔组滑塌-浊流沉积特征——以达49井为例[J]. *石油学报*, 38(7):777-792.
- 郭强, 钟大康, 张放东, 刘新刚, 范凌霄, 李君军. 2012. 内蒙古二连盆地白音查干凹陷下白垩统湖相白云岩成因[J]. *古地理学报*, 14(1):59-68.
- 郭强, 李子颖, 秦明宽, 钟大康, 张放东, 贾翠, 郭军. 2014. 内蒙古二连盆地白音查干凹陷热水沉积序列探讨[J]. *沉积学报*, 32(5):809-815.
- 贾承造, 赵文智, 邹才能, 李明, 池英柳, 姚逢昌, 郑晓东, 刘晓, 殷积峰. 2004. 岩性地层油气藏勘探研究的两项核心技术[J]. *石油勘探与开发*, 31(3):3-9.
- 贾承造, 赵政璋, 杜金虎, 赵文智, 邹才能, 胡素云. 2008. 中国石油重点勘探领域——地质认识、核心技术、勘探成效及勘探方向[J]. *石油勘探与开发*, 35(4):385-396.
- 蒋飞虎, 刘晓丽, 杨静. 1996. 白音查干凹陷早白垩世介形类组合特征与沉积环境[J]. *石油勘探与开发*, 23(2):38-42.
- 蒋飞虎, 杨静, 王海宏, 王翠英. 2000. 内蒙古二连盆地白音查干凹陷早白垩世介形类及其古生态[J]. *微体古生物学报*, 17(3):265-285.
- 李宏容. 1989. 内蒙古二连盆地中生代介形类[M]. 北京:石油工业出版社, 1-34.
- 李金良. 2002. 白音查干凹陷层序地层研究与有利区带预测[D]. 中国地质大学(北京), 1-71.
- 李金良, 樊太亮, 张岳桥. 2007. 二连盆地白音查干凹陷层序地层及其油气勘探意义[J]. *地质力学学报*, 13(1):60-69.
- 李寿军. 2009. 白音查干凹陷古生态及古气候探讨[J]. *断块油气田*, 16(3):21-23.
- 李思田, 杨士恭, 林畅松. 1992. 论沉积盆地的等时地层格架和基本建造单元[J]. *沉积学报*, 10(4):11-22.
- 梁宏斌, 吴冲龙, 李林波, 毛小平, 白生平. 2010. 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*, 35(1):97-106.
- 刘翠, 郑荣才, 王海红, 侯长冰, 王昌勇. 2015. 鄂尔多斯盆地红井子地区长9油层组层序分析与砂体预测[J]. *中国地质*, 42(2):710-719.
- 内蒙古自治区地质矿产局. 1993. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1-656.
- 吴福元, 叶茂, 张世红. 1995. 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*, 20(5):535-539.
- 肖安成, 杨树锋, 陈汉林. 2001. 二连盆地形成的地球动力学背景[J]. *石油与天然气地质*, 22(2):137-140.
- 解习农, 李思田. 1993. 陆相盆地层序地层研究特点[J]. *地质科技情报*, 12(1):22-26.
- 解习农, 任建业, 焦养泉, 葛立刚. 1996. 断陷盆地构造作用与层序样式[J]. *地质论评*, 42(3):239-244.
- 谢渊, 刘家铎, 王剑, 罗建宁, 李春玉, 王生朗, 汪海, 李明辉. 2002. 陆相层序地层学研究进展与挑战[J]. *沉积与特提斯地质*, 22(2):8-17.
- 徐怀大. 1991. 层序地层学理论用于我国断陷盆地分析中的问题[J]. *石油与天然气地质*, 12(1):52-57.
- 徐怀大. 1997. 陆相层序地层学研究中的某些问题[J]. *石油与天然气地质*, 18(2):83-89.
- 许书堂, 马维民, 王德仁, 靳广兴, 李继东, 杨玉娥. 2004. 二连盆地白音查干凹陷下白垩统层序地层研究[J]. *沉积学报*, 22(4):644-650.
- 闫育英, 赵希军, 蔡军星. 2008. 白音查干凹陷桑合地区高分辨率层序地层研究[J]. *断块油气田*, 15(6):9-12.
- 杨勇强, 邱隆伟, 南金浩. 2011. 东营凹陷沙河街组四段下亚段层序地层特征与沉积模式[J]. *中国地质*, 38(1):33-42.
- 张福顺, 樊太亮, 王生朗, 孙宜朴, 库国正. 2003. 白音查干凹陷层序地层格架及充填样式[J]. *地球学报*, 24(2):137-142.
- 郑荣才, 吴朝容, 叶茂才. 2000. 浅谈陆相盆地高分辨率层序地层研究思路[J]. *成都理工学院学报*, 27(3):241-244.
- 郑荣才, 彭军, 吴朝容. 2001. 陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义[J]. *沉积学报*, 19(2):249-255.
- 郑荣才, 李国辉, 常海亮, 李世临, 王小娟, 王昌勇. 2015. 四川盆地东部上三叠统须家河组层序-岩相古地理特征[J]. *中国地质*, 42(4):1024-1036.
- 钟大康, 姜振昌, 郭强, 孙海涛, 杨喆. 2015. 内蒙古二连盆地白音查干凹陷热水沉积白云岩的发现及其地质与矿产意义[J]. *石油与天然气地质*, 36(4):587-596.
- 朱坤玉. 1997. 内蒙古色尔腾山—大青山地区推覆构造[J]. *内蒙古地质*, (1):41-47.