

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2022.04.017

# 武威盆地儿马湖凹陷构造演化与热史模拟

雒春雨<sup>1,2</sup>, 宋立军<sup>1,2\*</sup>, 杨浩<sup>3</sup>, 史婵媛<sup>4</sup>, 张欢<sup>1,2</sup>

(1. 西安石油大学地球科学与工程学院, 陕西 西安 710065; 2. 陕西省油气成藏重点实验室, 陕西 西安 710065; 3. 中国冶金地质总局中南局, 湖北 武汉 430081; 4. 长庆油田分公司勘探开发研究院, 陕西 西安 710018)

**摘要:**儿马湖凹陷位于武威盆地北部凹陷西部的一个次级构造单元, 该凹陷石炭系煤系地层发育, 有一定油气勘探潜力。笔者利用平衡剖面技术和盆地成藏模拟技术, 对该地区的构造演化和热史进行了研究。研究揭示: ①儿马湖凹陷为一个受多条北东向正断层控制发育的复式断陷; ②该凹陷经历了 4 个阶段: 石炭纪—二叠纪裂陷阶段、三叠纪—早中侏罗世抬升剥蚀阶段、晚侏罗世—白垩纪二次裂陷阶段和古近纪—新近纪—第四纪拗陷阶段。③儿马湖凹陷石炭系烃源岩热演化程度较高, 二叠纪末期进入生油阶段, 三叠纪末期已经进入生气阶段, 现今整体处于高成熟—过成熟阶段。本研究对该凹陷、武威盆地及走廊盆地形成演化认识和油气勘探具有一定参考价值。

**关键词:**儿马湖凹陷; 平衡剖面; 构造特征; 构造演化; 热演化史模拟

中图分类号: P542.1 文献标志码: A 文章编号: 1009-6248(2022)04-0194-10

## Tectonic Evolution and Thermal History Simulation of Ermahu Sag, Wuwei Basin

LUO Chunyu<sup>1,2</sup>, SONG Lijun<sup>1,2,\*</sup>, YANG Hao<sup>3</sup>, SHI Chanyuan<sup>4</sup>, ZHANG Huan<sup>1,2</sup>

(1. School of Earth Science and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, Shaan Xi, China; 2. Shaanxi Provincial Key Laboratory of Oil and Gas Accumulation, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, ShaanXi, China; 3. Central South Bureau, General Administration of Metallurgy and Geology of China, Wuhan 430081, Hubei, China; 4. Research Institute of Exploration and Development, Changqing Oilfield Company, Xi'an 710018, ShaanXi, China)

**Abstract:** Ermahu depression is located in a secondary structural unit in the west of the northern depression of Wuwei Basin. The Carboniferous coal measure strata are developed in this depression, and there is a certain potential for CBM exploration. However, for a long time, the structural evolution process and the maturity history of organic matter in this depression have not been studied. In this paper, the structural evolution and thermal history of this area have been studied by using the balanced profile technique and reservoir forming simulation technique. The results show that: ① Erma Lake depression is a compound fault depression controlled by several NE trending normal faults; ② The depression experienced four stages: Carboniferous-Permian rifting stage, Triassic-Early-Middle Jurassic uplifting and denudation stage, Late Jurassic-Early Creta-

收稿日期: 2021-05-12; 修回日期: 2021-11-01; 网络发表日期: 2022-11-15; 责任编辑: 姜寒冰

基金项目: 西安石油大学研究生创新实践资助项目(YCS19112023)资助。

作者简介: 雒春雨(1996-), 女, 硕士研究生, 主要从事盆地分析研究。E-mail: 247378921@qq.com。

\* 通讯作者: 宋立军(1977-), 男, 博士, 教授, 主要从事盆地分析及模拟研究。E-mail: 8210954@qq.com。

ceous secondary rifting stage and Tertiary-Quaternary depression stage; ③ The thermal evolution of the Carboniferous source rocks in the Ermahu Sag is relatively high. The Carboniferous source rocks entered the stage of oil generation at the end of Permian, and entered the stage of gas generation at the end of Triassic, and are currently in the stage of high maturity-over-maturity.

**Keywords:** Ermahu depression; balance profile restoration; structural characteristics; tectonic evolution; simulation of thermal evolution history

儿马湖凹陷是武威盆地北部坳陷西侧的一个次级构造单元(图 1c),为一晚古生代—中生代复合断陷(图 1a)。武威盆地地处河西走廊盆地群东南部,位于阿拉善地块、祁连褶皱系两大构造单元交汇部位(图 1b),常被称为走廊过渡带(黄汲清等, 1979;陈文彬,2003)。自晚古生代以来,走廊过渡带受华力西期、印支期、燕山期和喜山期多期构造运动的影响,致武威盆地及其内儿马湖凹陷的构造特征

及其构造演化历史过程较为复杂。前人对儿马湖凹陷的研究大多集中于石炭系烃源岩地球化学特征(王博,2017;彭媛媛等,2017)及其资源潜力(陈飞等,2015)等方面,而对武威盆地尤其是其内儿马湖凹陷的构造特征、构造演化过程及烃源岩成熟度历史仍缺乏深入研究。笔者对武威盆地内儿马湖凹陷构造演化和烃源岩热史进行分析,以为认识武威盆地形成演化过程及油气勘探提供科学依据。

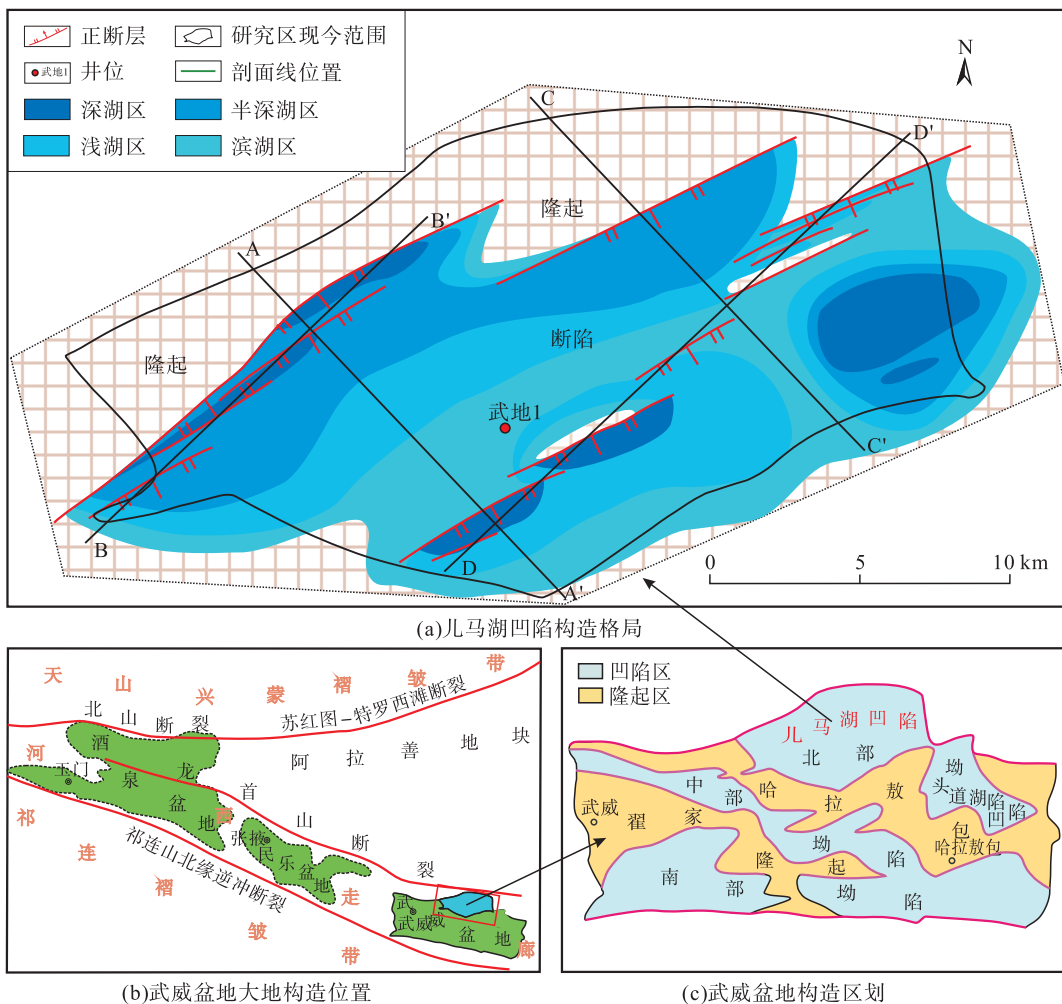


图 1 儿马湖凹陷构造单元及区域位置图

Fig. 1 Structural unit and regional location of Ermahu sag, Wuwei basin

## 1 区域构造沉积演化

儿马湖凹陷位于武威盆地北部凹陷的西部(图1c),与其他走廊盆地一样,为发育在前震旦系龙首山群中深变质结晶基底和加里东期—华力西期早期下古生界褶皱基底之上的复合断陷盆地。

加里东期早期,随着北祁连洋扩张,逐渐变为深海槽(左国超等,1987;裴先治等,1999),该期走廊地区发育了巨厚的大陆斜坡堆积;加里东期中期,随着北祁连洋盆向北俯冲消减,走廊地区进入弧后盆地演化阶段(王同和,1987);加里东期晚期—华力西期早期,北祁连及走廊地区进入挤压褶皱造山作用阶段(左国朝等,1997),致前泥盆系褶皱岩系和前震旦系龙首山群共同组成了走廊地区盆地的基底。

华力西晚期,走廊地区处于伸展构造环境,发育了一套石炭系滨浅海相含煤碎屑岩沉积;二叠纪,可能受到南祁连洋俯冲关闭影响,祁连造山带再次隆升,区域进入湖泊沼泽相碎屑岩沉积演化阶段,这一沉积过程部分地区可能持续至印支期早中期,而武威盆地则整体缺失三叠系(李儒峰等,2010;周世超等,2012;余婷,2013;杜治利等,2018)。印支期晚期—燕山期早中期,受松潘—甘孜洋闭合影响,伴随着北祁连造山带再次隆升造山,走廊地区也随之再次遭受强烈剥蚀,以致区域多缺失上三叠统一中下

侏罗统。燕山期晚期,北祁连造山带再次发生造山活动,而走廊地区则下陷形成陆内裂陷盆地,形成了一套上侏罗统一白垩系裂谷系河湖相碎屑岩沉积。进入喜马拉雅期,受印度板块碰撞导致的青藏高原由南向北挤压作用的影响,祁连造山带向北逆冲,致走廊地区在前陆盆地环境下沉积了一套巨厚的河流、湖泊相碎屑岩沉积(陈炳蔚等,1978)。

## 2 儿马湖凹陷构造特征及其形成演化

### 2.1 构造特征

儿马湖凹陷整体呈一南西—北东向展布断拗复合型断陷(图1a),下伏石炭系—二叠系含煤碎屑岩系和侏罗系—白垩系裂谷层系为一组北东走向正断层控制的裂陷层系,上覆古近纪—新近纪—第四系拗陷型山麓河流相粗碎屑岩沉积。剖面显示,该凹陷整体呈箕状半地堑或复式半地堑构造特征(图2a,图2c);控陷主断裂带由一系列雁列状展布正断层组成(图1a),具有多期活动的特征,其在不同位置具有不同的构造样式,如“堑垒式”(图2b)或“台阶式”(图2d)构造特征。

### 2.2 构造演化

运用平衡剖面技术,对儿马湖凹陷构造演化过程进行分析,儿马湖凹陷构造演化可分为以下4个阶段。

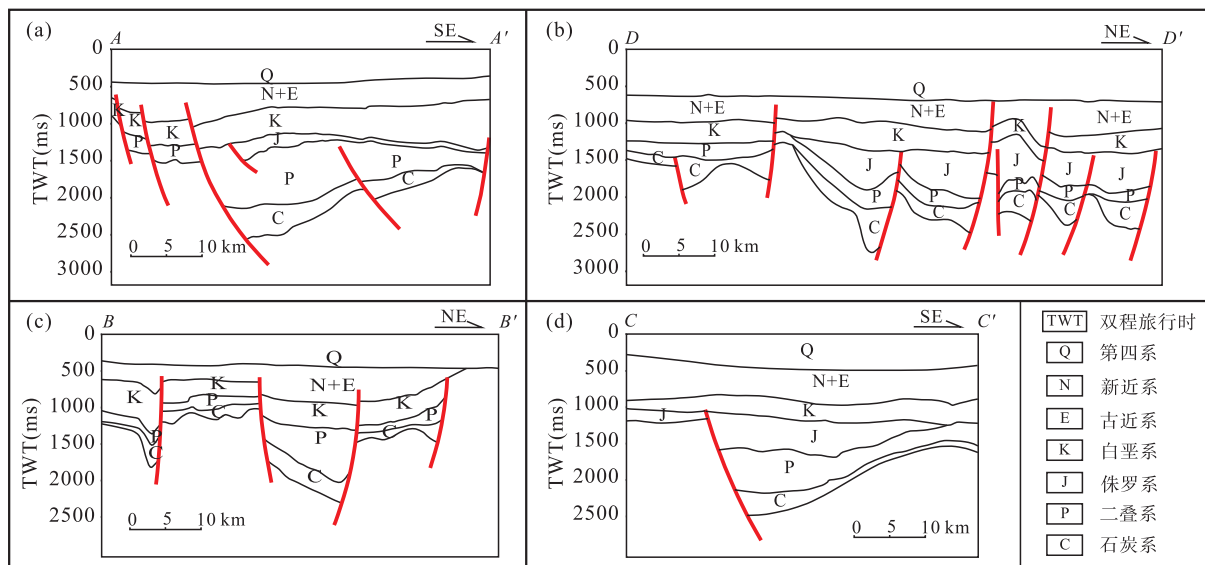


图2 儿马湖凹陷地震剖面解译图(剖面位置见图1a)

Fig. 2 Interpretation seismic section of Ermahu sag, Wuwei basin(See Fig. 1a for section location)

### 2.2.1 石炭—二叠纪裂陷阶段

华力西期晚期,阿拉善地块快速向北漂移,在石炭纪其以  $3.6^{\circ} \pm 4.2^{\circ}$  向北移动至二叠纪  $17.4 \pm 7.5^{\circ}$  (杨振宇等,2014)。这表明可能由于古亚洲洋快速向南俯冲后撤,引起阿拉善地块快速北移,并造成阿拉善地块处于离散的构造环境下。在这一离散伸展的构造背景下,阿拉善地块基底内北东向展布的基底断裂伸展活动造成儿马湖凹陷及邻区发生裂陷作用,形成了凹陷内北东向展布的两列箕状半地堑(图 3);其内先后发育了下石炭统滨海浅海相含煤碎屑岩系和二叠系海陆过渡相碎屑岩系。相比石炭纪,二叠纪凹陷内的断裂活动有所增强,沉积厚度明显增大,断陷中心迁移至凹陷西北部,统一的湖盆逐渐形成(图 4)。

### 2.2.2 三叠纪—早—中侏罗世抬升剥蚀阶段

三叠纪—侏罗纪,阿拉善地块继续快速向北漂移,在三叠纪其以  $21.6^{\circ} \pm 4.2^{\circ}$  (Liu et al., 2010) 向北移动至早白垩世  $30.3^{\circ}$  (孙知明等,2012)。这表

明由于羌塘板块向北运动的影响,造成松潘—甘孜洋闭合,阿拉善地块快速向北漂移,致祁连造山带及河西走廊地区处于整体挤压隆升剥蚀的构造背景下,使儿马湖凹陷及邻区三叠系—中下侏罗统整体缺失。

### 2.2.3 晚侏罗世—白垩纪二次裂陷阶段

晚侏罗世—早白垩世,受冈底斯地块与欧亚大陆斜向碰撞挤压影响,造成阿拉善地块继续向北漂移,并使祁连造山带及走廊地区处于北东—南西向挤压兼右旋走滑的构造背景下。在挤压右旋走滑伸展作用影响下,儿马湖凹陷内早期存在的北东向断裂再次伸展活动,其中凹陷东北部断陷活动强烈,其内充填的上侏罗统与下伏地层呈角度不整合接触(图 5)。早白垩世,在右旋走滑作用影响下,儿马湖凹陷内早期存在的北东向断裂继续走滑伸展,裂陷沉降幅度增大,沉积范围扩大,统一的湖盆形成(图 6)。随后凹陷进入抬升剥蚀阶段,上白垩统沉积多缺失。

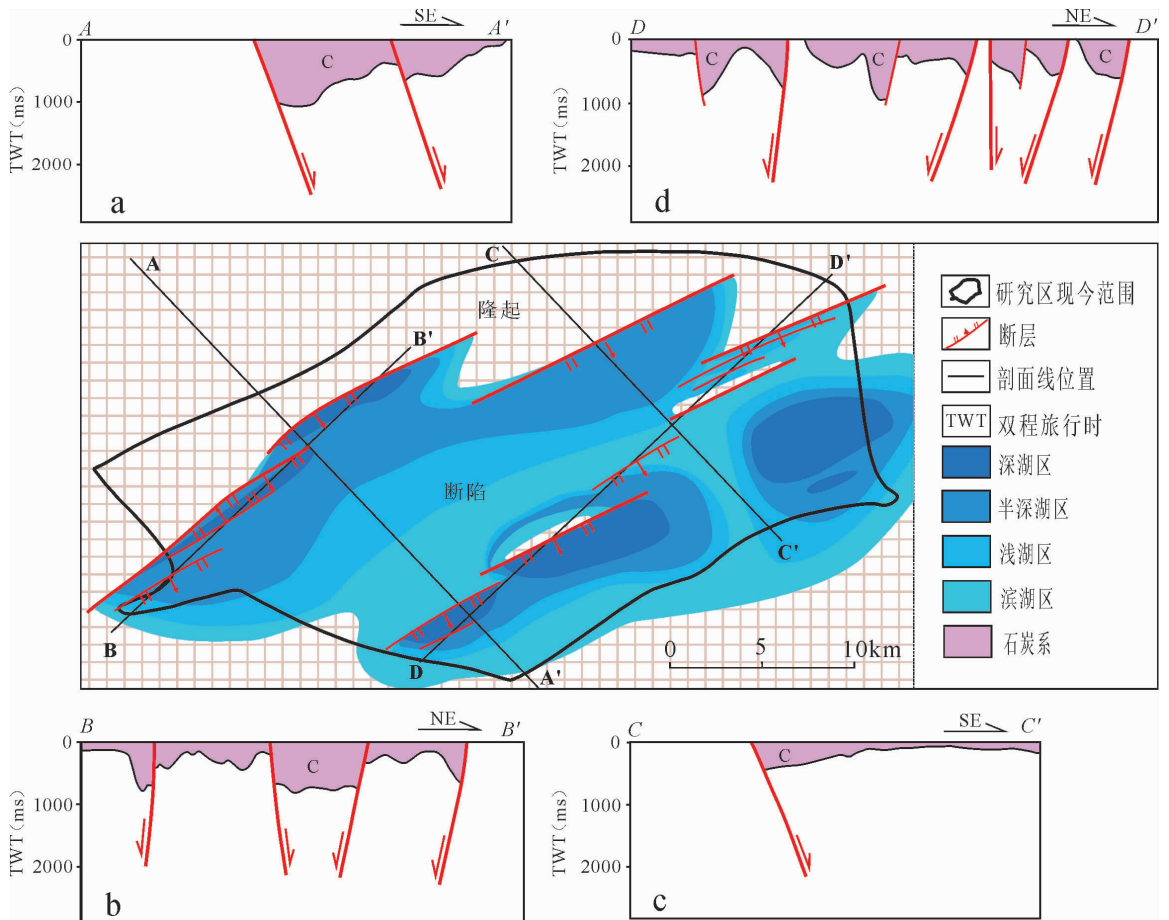


图 3 儿马湖凹陷石炭纪构造格局图

Fig. 3 Carboniferous structural framework of Ermahu sag, Wuwei basin

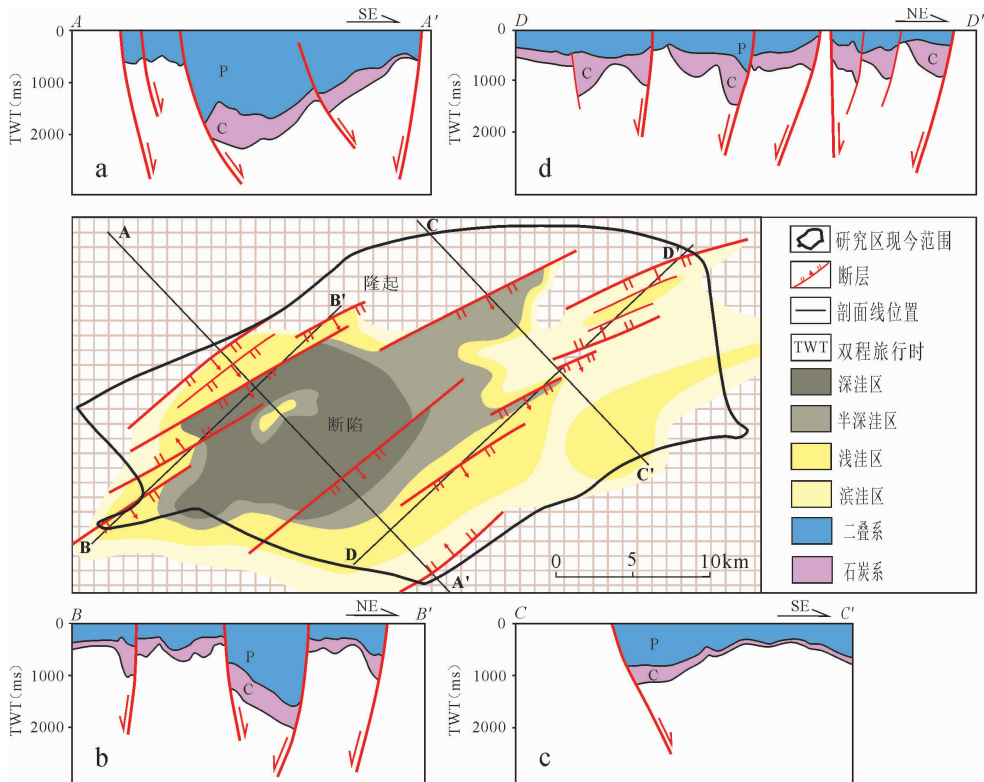


图 4 儿马湖凹陷二叠纪构造格局图

Fig. 4 Permian structural framework of Ermahu sag, Wuwei basin

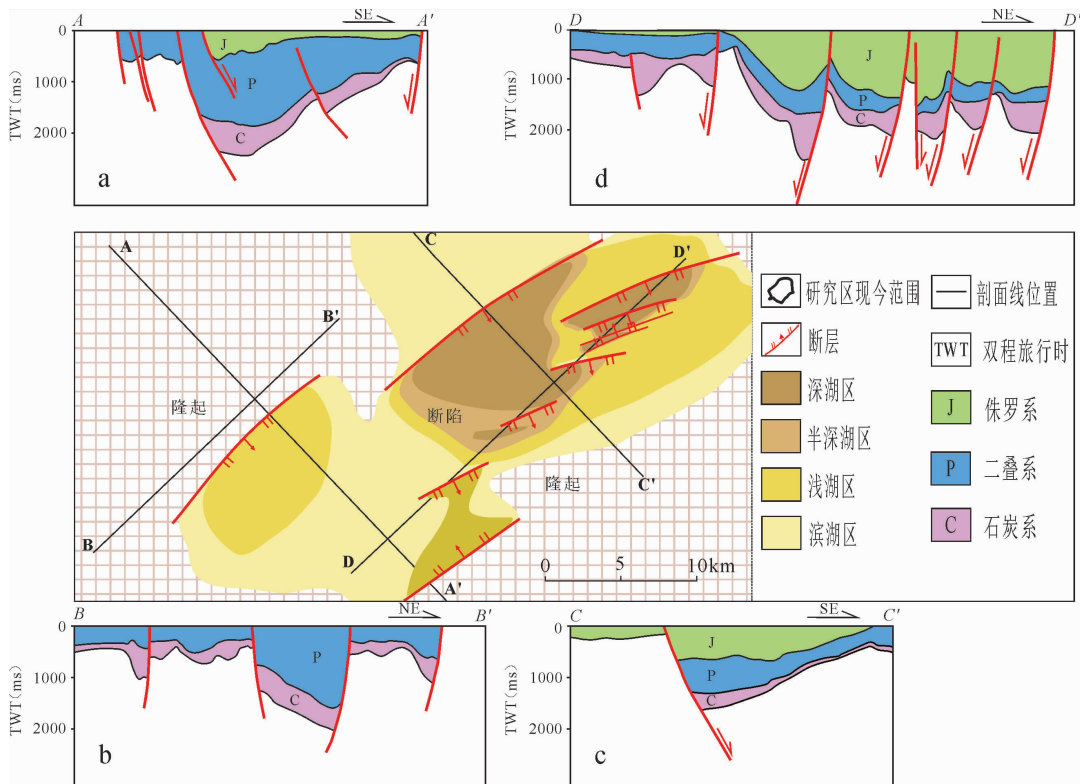


图 5 儿马湖凹陷晚侏罗世构造格局图

Fig. 5 Late Jurassic structural framework of Ermahu sag, Wuwei basin



图 6 儿马湖凹陷白垩纪构造格局图

Fig. 6 Early Cretaceous structural framework of Ermahu sag, Wuwei basin

2.2.4 古近纪—新近纪—第四纪拗陷阶段

古近纪—新近纪,进入喜马拉雅早期构造演化阶段。该时期受印度板块与欧亚板块强烈碰撞的影响,在区域处于强烈挤压兼有右旋走滑构造背景下,祁连山强烈隆升造山,造成处于山前拗陷部位的儿马湖凹陷强烈拗陷接受沉积,同时其内早期形成的东北向断裂再次右旋走滑伸展,但该期断裂活动较弱,对沉积的控制作用也明显减弱,表明该凹陷开始由裂陷向拗陷阶段转变(图 7)。

第四纪,进入喜马拉雅晚期构造阶段,该时期祁连造山带继续遭受挤压隆升,儿马湖凹陷继续拗陷接受山麓—河流湖泊相碎屑岩沉积。该时期断裂活动极弱,说明该阶段儿马湖凹陷彻底已进入拗陷阶段(图 8)。

3 儿马湖凹陷热演化史模拟

以钻井资料和地震解释成果资料为基础,并

在合理确定地层岩性参数、剥蚀厚度参数、古水深参数、古热流值参数等基础上,利用 PetroMod 盆地模拟软件对儿马湖凹陷进行了二维热演化史模拟。

3.1 模拟参数选取

盆地模拟边界参数的选取对于整个模拟过程及其结果的合理性和准确度有着至关重要的影响。武地 1 井位于儿马湖凹陷中部(图 1),该井钻遇石炭系烃源岩。烃源岩总有机碳含量(TOC%)达 5%~8%,干酪根类型为 II<sub>2</sub>-III 型,烃源岩演化程度高( $R_o = 1.5\% \sim 2.0\%$ ),并具有良好的油气显示(阎存凤, 2011;王博, 2017;杜治利等, 2018;胡峰等, 2019)。

以武地 1 井钻井资料及  $R_o$  资料为约束(图 9),在合理确定二维模拟热流值等关键边界参数基础上(表 1),对儿马湖凹陷进行了热史及烃源岩成熟度史模拟。

3.2 烃源岩评价标准

对烃源岩进行评价时有一个不可或缺的参数即

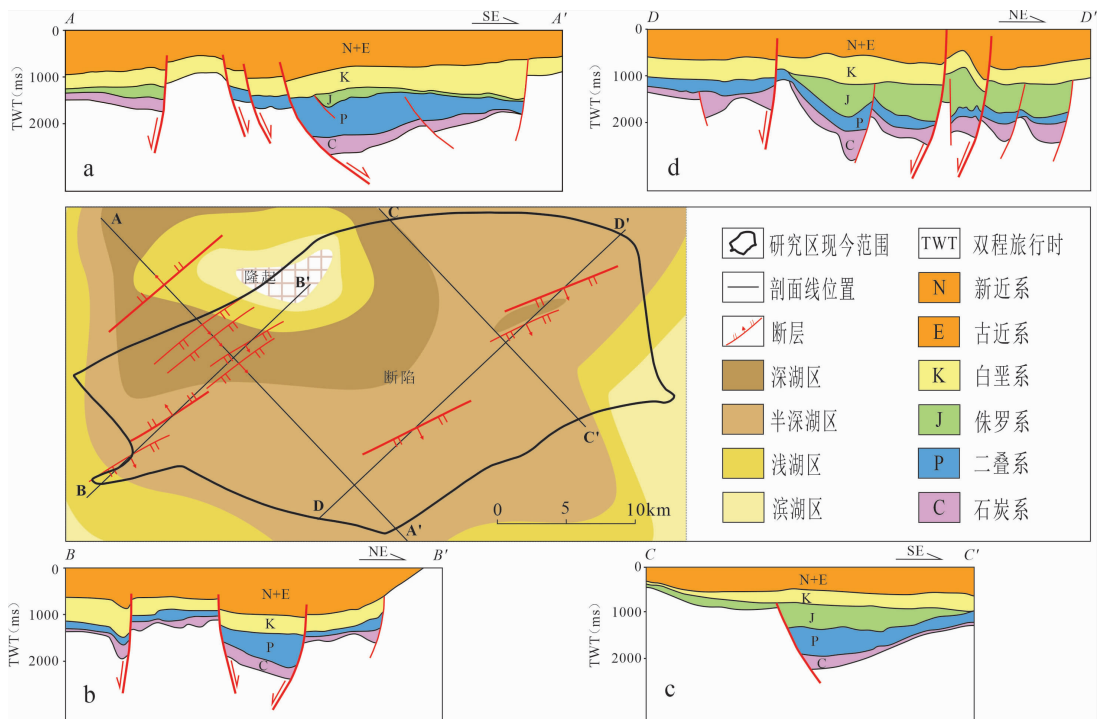


图 7 儿马湖凹陷第三纪构造格局图

Fig. 7 Tertiary structural framework of Ermahu sag, Wuwei basin

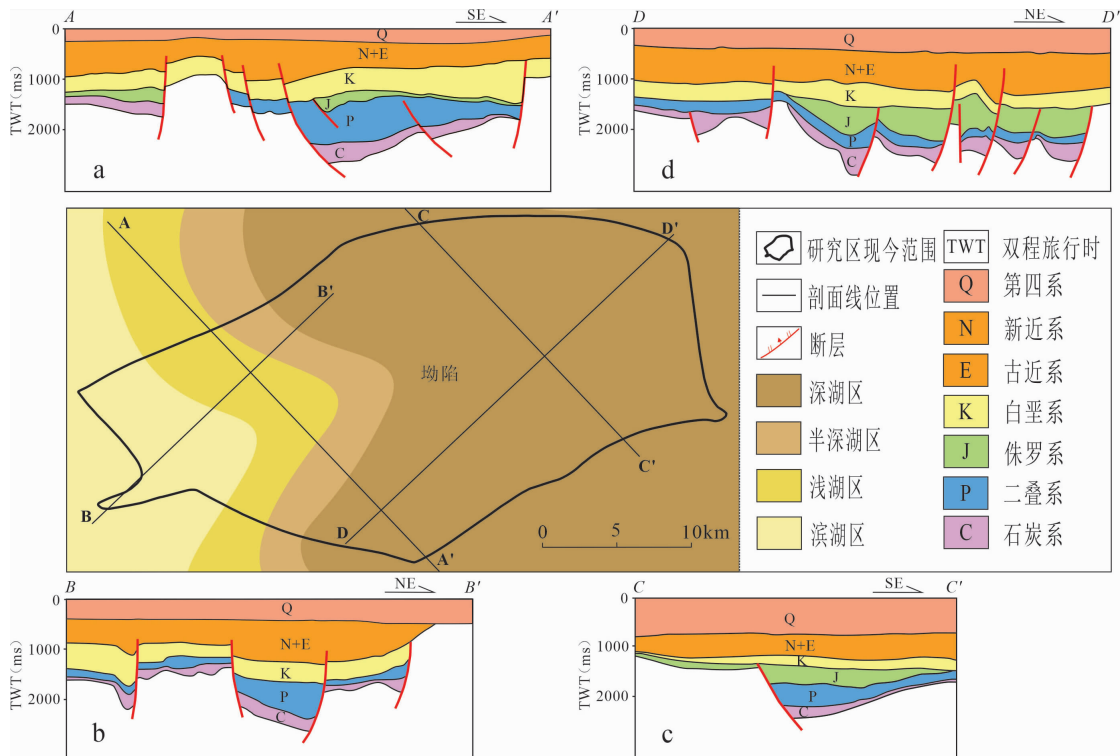


图 8 儿马湖凹陷第四纪构造格局图

Fig. 8 Quaternary structural framework of Ermahu sag, Wuwei basin

表 1 二维剖面模拟基础数据表  
Tab. 1 Basic data of 2D profile simulation

地质年代	地层顶界 年龄 (Ma)	构造事件	岩性比例 (%)	沉积相	古水深 (m)	古热流 (mW/m <sup>2</sup> )	古水温 (°C)
第四纪	0	沉积	砂岩(50)、泥(20)、砾岩(30)	冲洪积扇相	10	68	16.06
古近纪—新近纪	2.58	沉积	砂岩(40)、泥岩(40)、砂砾岩(20)	河流相	10	75	16.05
白垩纪	65.5	沉积	砂岩(40)、泥岩(40)、砾岩(20)	河流、湖泊相	10	85	22.69
侏罗纪	145.5	沉积	砂岩(16.2)、泥岩(45.7)、粉砂岩(27.1)、 煤(10)	滨浅海、湖泊相	125	125	21.26
三叠纪	199.6	剥蚀			0	95	20.3
二叠纪	251	沉积	砂岩(50%)、泥质砂岩(25%)、砾岩(25%)	河流三角洲相	10	100	19
石炭纪	299	沉积	砂岩(42.9)、泥岩(14.3)、煤(14.3)、含炭 质页岩(14.3)、页岩(14.2)	滨浅海—潟湖相	125	95	19.86

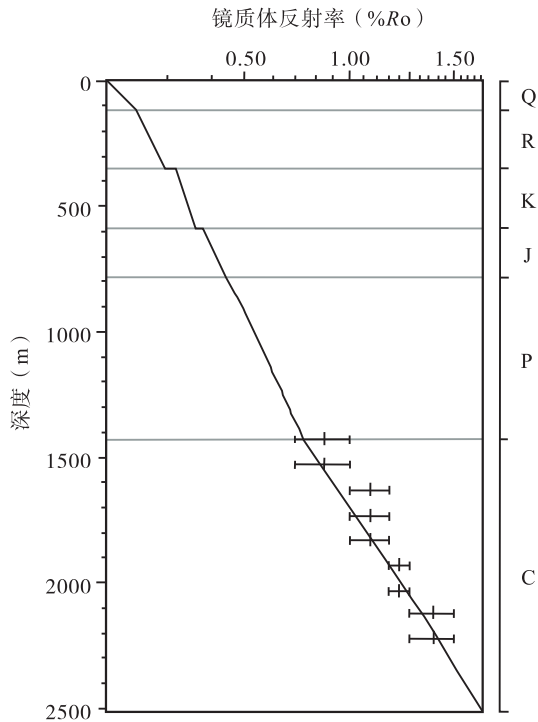


图 9 武威盆地儿马湖凹陷单井模拟与实测 Ro 对比图  
Fig. 9 Comparison of simulated and Easured Ro of single well in Ermahu Sag, Wuwei Basin

有机质成熟度。笔者对武威盆地儿马湖凹陷石炭系烃源岩进行热演化史模拟,将有机质成熟度根据数值大小的差异划分为 7 个阶段:①未成熟阶段: $Ro < 0.5\%$ 。②低成熟阶段: $0.5\% < Ro \leq 0.7\%$ 。③成熟阶段: $0.7\% < Ro \leq 1.0\%$ 。④高成熟阶段: $1.0\% < Ro \leq 1.2\%$ 。⑤生湿气阶段: $1.2\% < Ro \leq 2.0\%$ 。

⑥生干气阶段: $2.0\% < Ro \leq 4.0\%$ 。⑦过成熟阶段: $Ro > 4.0\%$ (陈小慧,2011)(表 2)。

表 2 烃源岩有机质成熟度划分标准(据陈小慧改,2011)  
Tab. 2 Classification standard of organic matter maturity of source rocks

生油岩演化阶段		Ro (%)	油气形成阶段	
未成熟		$< 0.5$	未熟油、生物气	
成熟	低	$0.5 \sim 0.7$	低熟油	生油窗
	中	$0.7 \sim 1.0$	生油高峰	
	高	$1.0 \sim 1.2$	高熟油	
生湿气阶段		$1.2 \sim 2.0$	湿气	
生干气阶段		$2.0 \sim 4.0$	干气	
过成熟阶段		$> 4.0$		

### 3.3 二维剖面热演化史模拟

近北西向展布的剖面 A-A' 位于武威盆地儿马湖凹陷中部(图 1a),该剖面石炭系有机质成熟度模拟结果显示(图 10):二叠纪末期,剖面中部裂陷槽内石炭系中下部烃源岩开始进入生烃门限(-1 350 m 埋深),底部烃源岩进入成熟阶段(-1 700 m 埋深);至三叠纪末期,随着埋藏深度的增加,温度升高,达到湿气阶段,形成湿气;进一步埋藏,达到干气阶段,形成干气,剖面东西两侧石炭系烃源岩则全部进入成熟阶段。自侏罗纪直—新近纪末期,尽管随着埋深不断加大,烃源岩热演化程度变化却不大;现今(0Ma)位于剖面中央裂陷内顶部位置的碳系烃源岩进入成熟阶段(-2 050 m 埋深),中上部位置的烃源



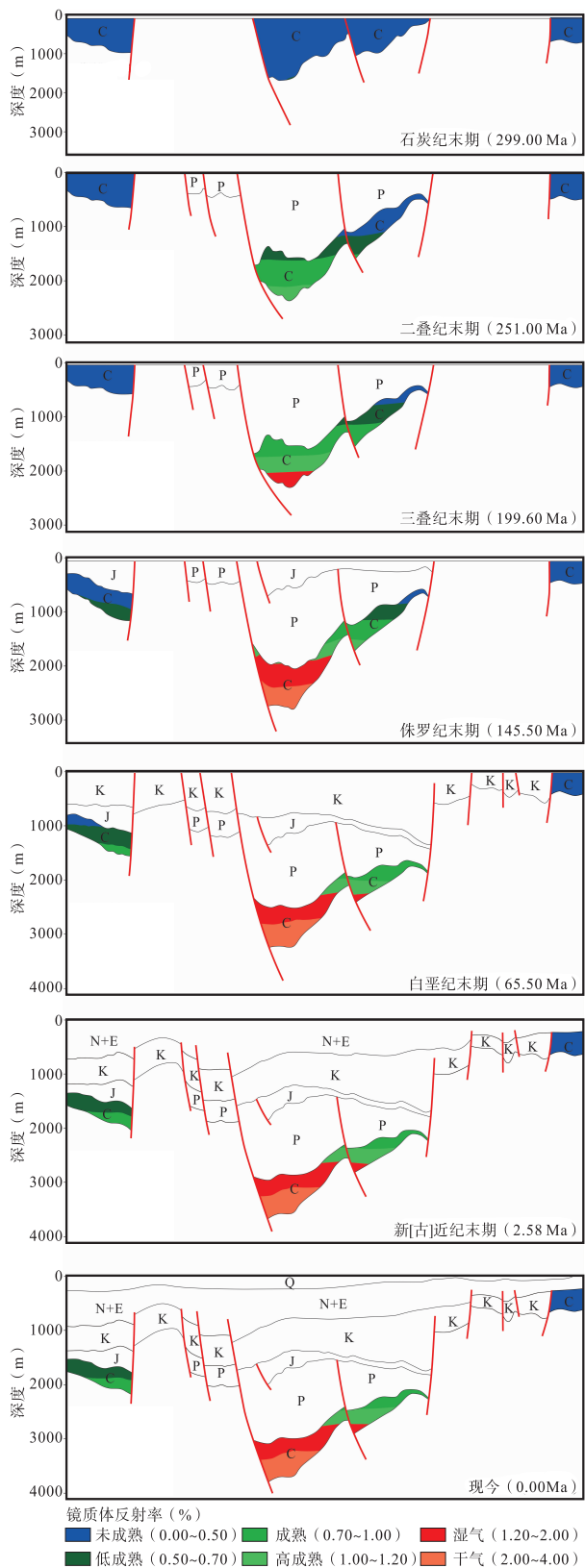


图 10 A-A' 剖面有机质成熟度史演化图

Fig. 10 Evolution diagram of organic matter maturity history in section A-A'

岩进入高成熟阶段(-2 250 m 埋深),中下部位置的烃源岩进入生湿气阶段(-2 700 m 埋深),底部位置的烃源岩进入生干气阶段(-3 200 m 埋深);剖面左侧裂隙内烃源岩以埋深 1 800 m 为界分别为低成熟和成熟阶段,而剖面右侧裂隙内烃源岩则全部处于未成熟阶段。

## 4 结论

利用平衡剖面技术和盆地成藏模拟技术,对儿马湖凹陷的构造特征及其构造演化和热演化历史进行了研究。研究揭示:①儿马湖凹陷为两列箕状半地堑组成,地堑具有多期裂谷垂向叠置特征。②儿马湖凹陷经历了石炭—二叠纪裂谷、三叠纪—早中侏罗世抬升剥蚀、晚侏罗世—白垩纪裂谷和第三纪—第四纪拗陷等 4 个阶段,其分别受华力西晚期运动、印支—燕山早期运动、燕山晚期运动和喜马拉雅运动影响。③剖面烃源岩热史模拟表明,儿马湖凹陷中部裂隙内石炭系含煤岩系于二叠纪末期进入生油阶段,三叠纪末期已经进入生气阶段,至今仍处于生气阶段,而两侧裂隙内烃源岩则处于成熟—高成熟阶段。

## 参考文献(References):

- 陈文彬. 河西走廊及邻近地区最新构造变形基本特征及构造成因分析[D]. 北京:中国地震局地质研究所,2003.
- CHEN Wenbin. Basic characteristics of latest tectonic deformation and analysis of tectonic genesis in Hexi Corridor and its adjacent areas [D]. Beijing: Institute of Geology, China Earthquake Administration, 2003.
- 杜治利,陈夷,田亚,等. 武威盆地北部拗陷致密气勘探前景[J]. 中国矿业,2018,27(S1):92-97.
- DU Zhili, CHEN Yi, TIAN Ya, et al. Exploration prospect of tight gas in northern depression of Wuwei Basin [J]. China Mining Industry, 2018,27(S1):92-97.
- 胡峰,龙思萍,王雪梅,等. 武威盆地儿马湖凹陷石炭系页岩气资源潜力及沉积相分析[J]. 复杂油气藏,2019,12(04):19-23.
- HU Feng, LONG Siping, WANG Xuemei, et al. Analysis of Carboniferous shale gas resource potential and sedimentary facies in Ermahu Sag, Wuwei Basin [J]. Complex Oil and Gas Reservoir, 2019,12(04):19-23.

- 龚全胜,刘明强,梁明宏,等.北山造山带大地构造相及构造演化[J].西北地质,2003,(01):11-17.
- GONG Quansheng, LIU Mingqiang, LIANG Minghong, et al. Tectonic facies and tectonic evolution of Beishan orogenic belt [J]. *Northwestern Geology*, 2003, (01): 11-17.
- 黄汲清.对中国大地构造特点的一些认识并着重讨论地槽褶皱带的多旋回发展问题[J].地质学报,1979,(02):99-111.
- HUANG Jiqing. Some understandings of China's geotectonic characteristics with emphasis on the multicycle development of geosynclinal fold belt [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1979, (02): 99-111.
- 裴先治,吴汉泉,左国朝.北祁连早古生代俯冲杂岩带的变形特征与构造演化[J].西安工程学院学报,1999,(01):11-14+19.
- PEI Xianzhi, WU Hanquan, ZUO Guochao. Deformation characteristics and tectonic evolution of Early Paleozoic subduction complex belt in North Qilian [J]. *Journal of Xi'an Institute of Technology*, 1999, (01): 11-14+19.
- 彭媛媛,康志宏,李伟奇,等.武威盆地石炭系泥页岩元素地球化学特征及意义[J].现代地质,2017,31(03):574-586.
- PENG Yuanyuan, KANG Zhihong, LI Weiqi, et al. Geochemical characteristics and significance of Carboniferous shale in Wuwei Basin [J]. *Modern Geology*, 2017, 31(03): 574-586.
- 何世平,周会武,任秉琛,等.甘肃内蒙古北山地区古生代地壳演化[J].西北地质,2005,(03):6-15.
- HE Shiping, ZHOU Huiwu, REN Bingchen, et al. Paleozoic crustal evolution in Beishan area of Inner Mongolia, Gansu Province [J]. *Northwest Geology*, 2005, (03): 6-15.
- 孙知明,李海兵,裴军令,等.阿尔金断裂走滑对青藏高原东北缘山脉形成的古地磁证据[J].岩石学报,2012,28(6):1928-1936.
- SUN Zhiming, LI Haibing, PEI Junling, et al. Paleomagnetic evidence of strike-slip of Altun fault on the formation of mountains in the northeastern margin of Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(6): 1928-1936.
- 王博.武威盆地石炭系烃源岩地球化学特征研究[D].西安石油大学,2017.
- WANG Bo. Geochemical characteristics of Carboniferous source rocks in Wuwei Basin[D]. Xi'an Shiyou University, 2017.
- 王同和.河西走廊拉分盆地的构造演化与油藏分布[J].石油与天然气地质,1987,(03):271-280.
- WANG Tonghe. Structural evolution and reservoir distribution of the pull-apart basin in Hexi Corridor [J]. *Petroleum and Natural Gas Geology*, 1987, (03): 271-280.
- 阎存凤,袁剑英.武威盆地石炭系沉积环境及含油气远景[J].天然气地球科学,2011,22(02):267-274.
- YAN Cunfeng, YUAN Jianying. Carboniferous sedimentary environment and petroleum prospect in Wuwei basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2011, 22(02): 267-274.
- 马晓军,梁积伟,李建星,等.鄂尔多斯盆地中西部中生代构造抬升及演化[J].西北地质,2019,52(04):127-136.
- MA Xiaojun, LIANG Jiwei, LI Jianxing, et al. Mesozoic and Cenozoic tectonic uplift and evolution in the central and western Ordos Basin [J]. *Northwestern Geology*, 2019, 52(04): 127-136.
- 杨振宇,袁伟,仝亚博,等.阿拉善地块前中生代构造归属的新认识[J].地球学报,2014,35(06):673-681.
- YANG Zhenyu, YUAN Wei, TONG Yabo, et al. Rebecca. New understanding of pre-Mesozoic tectonic attribution of Alashan block [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2014, 35(06): 673-681.
- 左国朝,吴汉泉.北祁连中段早古生代双向俯冲-碰撞造山模式剖析[J].地球科学进展,1997,(04):13-21.
- ZUO Guochao, WU Hanquan. Analysis of Early Paleozoic bidirectional subduction-collision orogeny model in the middle part of North Qilian Mountains [J]. *Advances in Geosciences*, 1997, (04): 13-21.
- 陈小慧.松辽盆地南部梨树断陷深层油气成因与成藏研究[D].荆州:长江大学,2011.
- CHEN Xiaohui. Study on deep oil and gas genesis and accumulation in Lishu fault depression in southern Songliao Basin [D]. Jinzhou: Yangtze University, 2011.
- LIU Jing, YANG Zhenyu, TONG Yabo, YUAN Wei, WANG Bin. Tectonic implications of early-middle Triassic palaeo-magnetic results from Hexi Corridor, North China[J]. *Geophysical Journal International*, 2010, 182(3): 1216-1228.