

DOI: 10.16108/j.issn1006-7493.2020028

引用格式: 杨德相, 屈争辉, 陈树光, 李壮福, 吴健平, 王建广, 武函. 2020. 河套盆地吉兰泰凹陷中生代构造层划分及意义 [J]. 高校地质学报, 26(6): 691-703

河套盆地吉兰泰凹陷中生代构造层划分及意义

杨德相¹, 屈争辉^{2, 3*}, 陈树光¹, 李壮福^{2, 3}, 吴健平¹, 王建广¹, 武函¹

1. 中国石油华北油田公司勘探开发研究院, 任丘 062550;
2. 中国矿业大学煤层气资源与成藏过程教育部重点实验室, 徐州 221008;
3. 中国矿业大学资源与地球科学学院, 徐州 221116

摘要: 2017年河套盆地临河坳陷油气勘探取得重要发现, 基于区域中生代以来大地构造演化系统梳理, 以钻井与地震对照、研究区与邻近盆地类比为研究方法, 划分河套盆地临河坳陷南部吉兰泰凹陷中生代构造层, 并绘制其分布范围, 探讨其赋存特征与意义。结果表明: 研究区中生界除三叠系外发育齐全, 厚度巨大, 且白垩系自上而下可细分为 K_1^I 、 K_1^{II} 和 K_1^{III} 三个构造层; 除 K_1^I 构造层全区广覆式发育外, 其它构造层呈楔状—缓楔状, 长轴沿主控断裂NNE向延伸; 研究区自中生代以来盆地性质经历了早中侏罗世断陷、早白垩世早期断陷、早白垩世中期断拗转换和早白垩世晚期拗陷的演化过程; F_3 和 F_7 断层之间的 K_1^{II} 和 K_1^{III} 构造层、 F_7 断层东部的J构造层均具有良好的油气勘探前景。

关键词: 吉兰泰凹陷; 中生代; 构造层; 划分与对比; 赋存与意义

中图分类号: P548 文献标识码: A 文章编号: 1006-7493(2020)06-691-13

Determination of Mesozoic Tectostratigraphic Units and Its Significance in Jilantai Sag, Hetao Basin

YANG Dexiang¹, QU Zhenghui^{2,3*}, CHEN Shuguang¹, LI Zhuangfu^{2,3}, WU Jianping¹,
WANG Jianguang¹, WU Han¹

1. Exploration and Development Research Institute of Huabei Oilfield Company, China National Petroleum Corporation, Renqiu 062550, China;
2. Key Laboratory of Coalbed Methane Resources and Reservoir Formation Process, Ministry of Education, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China;
3. School of Resources and Geosciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China

Abstract: Significant discoveries of petroleum exploration have been achieved in 2017 in the Linhe Depression, Hetao Basin. Based on a literature review of the tectonic evolution of the study area since the Mesozoic, combined methods of well-seismic comparison and basin analogy, the Mesozoic tectostratigraphic units of Jilantai Sag have been determined, and their occurrence and significance have also been studied. The results show that, except for the Triassic, the Mesozoic strata were well developed in the study area. Particularly, the Cretaceous strata can be further divided into three tectostratigraphic units, i.e., K_1^I , K_1^{II} and K_1^{III} . The K_1^I is characterized by a broad sedimentation unit covering the whole study area, while the other tectostratigraphic units are wedge-shaped with major axes aligning along the NNE main faults. The Mesozoic basin type of the Jilantai Sag have experienced rift stage during the Early-Middle Jurassic, rift stage during the early Early Cretaceous, transitional stage from rift to depression during the middle Early Cretaceous, depression stage during the late

收稿日期: 2020-05-14; 修回日期: 2020-07-12

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司科技课题“河套盆地新区新领域勘探潜力与高效勘探关键技术研究”(2019D-0815)资助

作者简介: 杨德相, 男, 1966年生, 教授级高工, 主要从事石油地质研究与管理; E-mail: yjy_ydx@petrochina.com.cn

*通讯作者: 屈争辉, 男, 1981年生, 博士、副教授, 主要从事煤及油气地质研究; E-mail: quzhenghui@cumt.edu.cn

Early Cretaceous; The strata of the K_1^{II} and K_1^{III} tectostratigraphic units located between the faults F_3 and F_7 , and the J tectostratigraphic unit located in the east of fault F_7 show great potential of petroleum exploration.

Key words: Jilantai Sag; Mesozoic; tectostratigraphic unit; division and correlation; occurrence and significance

Corresponding author: QU Zhenghui, Associate Professor; E-mail: quzhenghui@cumt.edu.cn

河套盆地位于内蒙古自治区阴山之南,伊盟隆起之北,是发育在华北板块西北缘前寒武纪变质基底之上的中、新生代拗陷-断陷盆地(图1a)(赵重远等,1984;郭忠铭和于忠平,1990;赵孟为,1988;付锁堂等,2018),盆地面积约40000 km²,可划分为“两隆三拗”5个二级构造单元,位于西部的临河拗陷是最大的负向构造单元(张以明等,2018)。针对河套盆地的勘探工作可以分为三个阶段(张以明等,2018):1979~1987年(石油普查),共钻探7口井,未获得工业性油气流;2004~2017年(油气探索阶段),完钻生物气井2口,探井3口,采集二维地震2680 km,未获工业性突破,但认识到盆地西部的临河拗陷面积大,白垩系和古近系发育暗色泥岩,具有一定的生烃潜力,是盆地的重点勘探区域(付锁堂等,2018);2017年至今(油气勘探快速发现阶段),在临河拗陷开展高精度重磁3676 km²、时频电磁69 km、重点目标二维地震265 km,完钻5口井,在古近系、白垩系、太古宇3套含油层系中均见到了良好的油气显示,其中3口井获工业油流,实现了油气勘探的重要发现,展示了该区广阔的勘探前景(张以明等,2018)。然而,前人对河套盆地基础地质特征,尤其是地层划分和对比的研究,明显跟不上油气勘探开发的节奏,在一定程度上限制了该区油气产业发展。

有关河套盆地地层的研究,主要集中于20世纪80年代和90年代初,之后的20年是空白期,直到2014年才又有零星文献报道;内容上以新生代的地层发育特征(张兴景,1983;王磊和李小龙,2014;胡立,2017)、古生物化石及其古生态(袁笑奇等,1992;傅智雁等,1994)为主,对中生代地层涉及较少,蔡友贤(1988a, b)基于钻井及野外剖面的古生物化石鉴定,仅探讨了河套盆地中生代晚白垩世地层划分,并进一步分析了白垩纪的古气候、古环境和油气勘探远景(蔡友贤,

1990)。2017年以来,随着油气勘探取得重要发现,研究区中生代地层研究得以重视,且对于地层的划分更加注重钻井古生物鉴定与地震剖面的结合,但研究对象仅限于下白垩统(王飞,2018;孙六一等,2018),王飞等(2019)虽关注到吉兰泰凹陷白垩系之下发育断陷沉积的侏罗系,并绘制了其展布范围,但限于资料掌握程度,作者对该区中生代地层的划分还有待商榷。

综上所述,河套盆地临河拗陷南部的吉兰泰凹陷不同程度发育除三叠系外的中生代地层,具有良好的勘探潜力,但前人对其认知明显不足。本文拟在系统梳理中生代以来区域大地构造演化的基础上,以钻井与地震对照分析、研究区与邻近盆地类比分析为研究方法,划分吉兰泰凹陷中生代构造层,绘制其分布范围,探讨其赋存特征与意义,为研究区油气资源高效勘探开发提供基础地质理论支撑。

1 研究区地质概况

临河拗陷为河套盆地西部面积最大的二级构造单元,走向北东,东北方向长约320 km,西北方向宽约70 km,面积为22400 km²。拗陷位于华北地块西北边缘与阿拉善地块的衍接过渡地带,北与西北侧分别以阴山和狼山为界与中亚造山带相邻,东南侧以贺兰山—桌子山为界与鄂尔多斯盆地相邻,西南侧与巴彦浩特盆地相邻,并以该盆地为界与秦岭—大别造山带相望(图1a, b;王永超,2017;张以明等,2018)。

1.1 区域构造演化

临河拗陷大地构造位置独特,中生代以来,其构造演化受到多期构造事件制约,包括海西期古亚洲洋沿索伦缝合带闭合、印支期古秦岭洋沿勉略缝合带闭合、燕山晚期古太平洋板块向欧亚板块俯冲及喜马拉雅期新特提斯洋闭合等大地构造事件的依次影响。

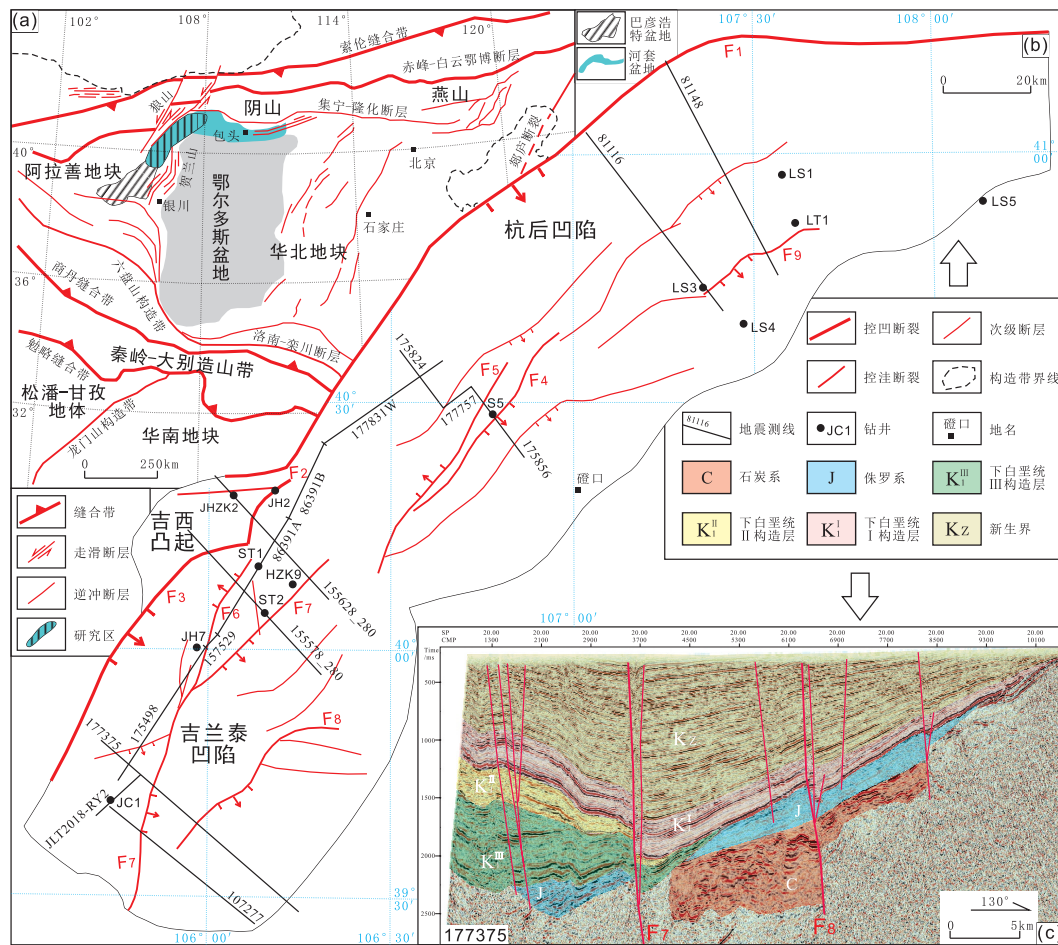


图1 研究区大地构造位置、构造纲要及剖面图 (图a据王永超, 2017)

Fig. 1 Structural outline and a cross section of the study area and its geotectonic location

海西期, 伴随着古亚洲洋板块向华北地块之下俯冲和古亚洲洋的关闭, 华北地块以北先后经历了早石炭世末—早二叠世安第斯型大陆边缘演化阶段和二叠纪末—三叠纪初碰撞造山阶段(王永超, 2017), 碰撞造山过程中, 华北地块北缘与内蒙古大部分地区遭受强烈抬升剥蚀, 剥蚀量高达 15.7~18.7 km (Zhang et al., 2006; 张拴宏等, 2007)。而此时的阿拉善—华北地块南部的祁连海和华北海连成一片(张金山, 1982; 刘智, 2013), 两地块间的贺兰山—桌子山处于拗拉槽再活动阶段(林畅松等, 1995)。那么, 夹持于古亚洲洋碰撞带与贺兰山拗拉槽之间的研究区地势西北高东南低, 其东南部临近拗拉槽的地区应有石炭系—二叠系沉积。

印支期, 扬子地块沿勉略缝合带于中—晚三叠世与华北—阿拉善地块发生陆—陆碰撞(张国伟等, 2004), 夹持于中亚造山带与秦岭造山带之间

的坚硬的阿拉善地块在南北向挤压应力作用下向东挤出(杨圣彬等, 2008), 地块西部临河拗陷和巴彦浩特盆地隆升, 缺失三叠系(郭忠铭和于忠平, 1990; 彭治超, 2018)。

燕山期(早中侏罗世), 古亚洲洋碰撞造山后洋壳俯冲板片拆离并下沉, 引发软流圈地幔上涌(Zhang et al., 2009, 2012), 导致华北—阿拉善地块西北缘受到伸展应力作用, 力应是由北向南逐渐传递的, 靠近北部的石拐盆地和银额盆地表现为早中侏罗世断陷沉积, 而偏南的巴彦浩特盆地仅沉积了中侏罗统(王永超, 2017; 彭治超, 2018)。

燕山期(中晚侏罗世), 随着北部的西伯利亚板块、东部的古太平洋板块、南部的华南地块和西南部的羌塘—拉萨地块陆续向东亚大陆俯冲汇聚, 形成“东亚多向汇聚构造体系”(董树文等, 2000, 2007, 2008), 此时的华南北缘主要受控于蒙古—鄂霍茨克洋盆关闭的远程效应(Zhang et al.,

2006)。古地磁研究表明,蒙古—鄂霍茨克洋盆自二叠纪末期便处于“剪刀式”自西向东缓慢关闭状态(Kravchinsky et al., 2002),中侏罗世晚期(170~160 Ma),关闭至外贝加尔西部地区(Zorin, 1999),华北地块北缘相应发育了一系列近东西向延伸的褶皱—逆冲构造及其伴生的前陆盆地系(王永超, 2017)。而地处阿拉善—华北地块西北缘呈NNE向延伸的临河拗陷与巴彦浩特盆地,受到NS向挤压应力作用,继承中侏罗世盆地性质,继续发育断陷沉积。

燕山期(晚侏罗世160~145 Ma),蒙古—鄂霍茨克洋盆关闭至外贝加尔东部地区(Kravchinsky et al., 2002; Zorin, 1999),华北地区遭受的SN向挤压开始趋于减弱,相反,古太平洋板块向东亚大陆之下持续俯冲作用开始主导区域地质变形,“东亚多向汇聚构造体系”发展至高潮阶段(王永超, 2017)。这种以古太平洋板块NWW向俯冲推挤为主导的多向汇聚体系,挤压着阿拉善—华北地块边缘及内部可压缩变形的空间,呈NNE向延伸的狼山—巴彦乌拉山构造带再次挤压隆升,贺兰山—桌子山拗拉槽则一改拗陷的历史,首次褶皱隆升形成贺兰山的雏形(马静辉和何登发, 2019),结束了河套盆地临河拗陷与鄂尔多斯期的盆地地势相通的古地理格局。夹持其间的临河拗陷和巴彦浩特盆地北部地区相应隆升,沉积终止,已沉积地层受到不同程度剥蚀。

燕山期(白垩世),早期,古太平洋板块俯冲后撤(Dmitrienko et al., 2016; 索艳慧等, 2017)致“东亚多向汇聚构造体系”东部改为自由边界,造就了阿拉善—华北地块西北及以北地区发育一系列早白垩世断陷盆地,如巴彦浩特、河套、银额、二连等;100 Ma(± 10 Ma)中国大陆东部完成了由古太平洋构造体制向今太平洋构造体制转换的过程,导致晚白垩世—古新世区域抬升、构造反转和地层广泛缺失,波及范围极广,东滨太平洋,西达中亚(刘池洋等, 2006)。受其影响,早白垩世晚期临河拗陷和巴彦浩特盆地沉积开始由断陷向拗陷过渡,至晚白垩世时沉积终止。

喜马拉雅期,受印度板块与欧亚板块碰撞挤压(45 Ma以来)和太平洋板块运动方向由NNW转变为NWW(45 Ma)的共同作用,鄂尔多斯地

块向东南相对拉开,形成河套地堑系及相应的始新世至中新世的断陷沉积;上新世至第四纪,地堑系在继续剪切拉张的同时,基底因受到前期巨厚沉积物的重力负荷而整体沉降,沉积了上新统和第四系(郭忠铭和于忠平, 1990)。期间,狼山山前控拗断裂向拗陷内部迁移,沉积范围相应萎缩。这一点可以从渐新统一中新统呈条带状分布于狼山边缘,第四系局限于拗陷内部得以证实。

1.2 巴彦浩特盆地中生代地层特征

巴彦浩特盆地呈NE向延伸,以其东北部查哈尔隆起与临河拗陷相隔,相近的大地构造位置及晚古生代以来的构造演化过程,使其中生代地层与临河拗陷具强可比性。在基础地质资料欠缺的情况下,有必要通过与巴彦浩特盆地的类比辅助临河拗陷中生代地层对比与划分。

横跨巴彦浩特盆地东部拗陷的NW向地震剖面L20很好展示了盆地中生代地层赋存特征(图2),基底为残留的厚度巨大且变形强烈的上古生界石炭系(西部拗陷为太古宇),与中生界呈明显的角度不整合接触,代表了海西运动与印支运动期间的挤压隆升;侏罗系(中上侏罗统)为不均匀的断陷沉积,是对古亚洲洋碰撞造山后洋壳俯冲板片拆离并下沉和蒙古—鄂霍茨克洋盆关闭的响应,而盆地东部普遍缺失上侏罗统(彭治超, 2018)则是晚侏罗世以来“东亚多向汇聚构造体系”达到高潮致使狼山和贺兰山褶皱隆升的结果;白垩系(下白垩统)自上而下明显分为三个构造层 K_1^I 、 K_1^{II} 和 K_1^{III} ,早期 K_1^{III} 继承了侏罗纪断陷性质,且沉积范围更广,晚期 K_1^I 具整体沉降的特点,厚度比较稳定(彭治超, 2018),分别是对早白垩世早期古太平洋板块俯冲后撤和早白垩世晚期古今太平洋构造体制转换的响应,而 K_1^{II} 则是由伸展断陷到挤压拗陷转换过渡的产物,与 K_1^{III} 共同起到了盆地填平补齐的效果,为后期 K_1^I 广覆式近等厚沉积奠定了基础;中生界缺失晚白垩世沉积,其上被巨厚新生界覆盖。

L20地震剖面同样展示了巴彦浩特盆地晚古生代—新生代地层的变形特征,表现为上古生界和中生界具不同程度的褶皱变形,变形程度由老地层到新地层逐渐减弱,反映了晚古生代以来印支运动、早燕山运动和晚燕山运动等三期挤压隆升

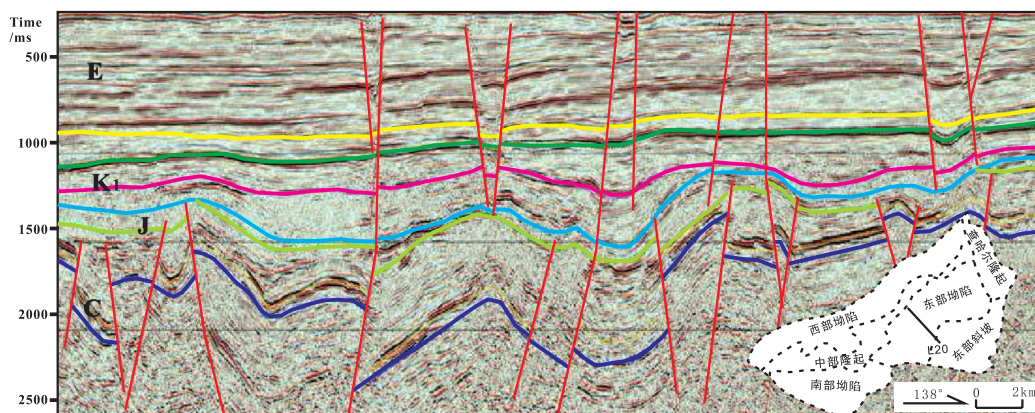


图2 巴彦浩特盆地锡林凹陷L20测线剖面图(据彭治超, 2018)

Fig. 2 L20 seismic profile in Xilin Sag, Bayanhaote Basin

叠加影响;而新生界产状平缓则与新生代以来无明显挤压作用相应。

1.3 研究区地质概况

临河坳陷总体表现为受狼山和巴彦乌拉山山前断裂(F_1 和 F_3)控制的中、新生代单断式拗断叠合特征,发育地层主体为新生代断陷沉积,相比而言中生代主要发育广覆式且厚度向山前略有增厚的下白垩统(相当于 K_1^I 构造层)(图1b, c),代表了早白垩世晚期初始挤压隆升背景的弱拗陷沉积,往往直接覆盖在前寒武纪变质岩基底之上。然而,位于临河坳陷南部的吉兰泰凹陷, K_1^I 构造层之下还发育了除变质岩基底之外的四个构造层(图1c),且各构造层赋存与变形特征和巴彦浩特盆地L20测线展示的构造层极为吻合,自下而上分别为:位于177375测线中部厚度巨大且褶皱变形强烈的红色区域、几何形态为楔状且测线东部缺失的蓝色区域、位于测线西部呈楔状且范围较蓝色区域向西扩展的绿色区域和同样位于测线西部且向山前略厚的黄色区域,分别与L20测线中的C、J、 K_1^{III} 和 K_1^{II} 相对应。

以 K_1^I 构造层底为参照绘制的临河坳陷构造纲要图(图1b)反映了坳陷现今构造格局,为受狼山与巴彦乌拉山山前一级断裂(F_1 和 F_3)控制的半地堑,两山衔接处发育吉西凸起,将坳陷分为北部的杭后凹陷和南部的吉兰泰凹陷。

2 研究区中生代构造层划分与对比

首先,选择具古生物化石鉴定资料的典型钻

井及过井地震剖面进行井震标定(表1,图3,4);然后,以古生物鉴定确定的地质年代为基准,结合录井及测井反映的岩性序列、地震剖面反映的地层岩性组合及接触关系,并类比巴彦浩特盆地中生代地层发育特征,确定典型钻井及过井剖面的地层划分;接下来,总结所划分各中生代构造层地震相标志并进行全区对比分析。本次研究将研究区中生代构造层划分出侏罗纪和白垩纪两个时代,其中白垩系主要发育下白垩统,自上而下细分为 K_1^I 、 K_1^{II} 和 K_1^{III} 三个构造层,仅北部杭后凹陷部分钻井古生物化石鉴定出上白垩统,且过井地震剖面未见与下白垩统的不整合接触关系,故暂将其划入 K_1^I 构造层以便分析。此外,在中生代基底划出了晚古生代石炭系构造层。

2.1 古生物化石鉴定结果

本次研究共涉及5口钻井的古生物化石鉴定结果,除JC1井的数据引自王飞等(2019)外,其余数据(表1)源自华北油田勘探开发研究院实验中心^①。其中,ST2井1525~1555 m井深的岩屑样品中的*Cristopher bransoni* Peck–*Mesochara voluta* (Peck) Grambas 轮藻组合,在柴达木盆地犬牙沟群、红水沟组和下干柴沟组,甘肃下沟组,西宁-民和盆地河口组,银额盆地银根组和苏红图组,吉林长岭登娄库组,延吉铜佛寺组,松辽盆地泉头组和青山口组等下白垩统都有类以发现,故判定其时代为早白垩世;760~1390 m井深岩屑样品中的*Nitellopsis* (*Tectochara*) *globule*–*Chaites producta* 轮藻亚组合指示时代为始新世—渐新世。JHZK2井16~200 m井深岩屑

① 华北油田勘探开发研究院实验中心古生物鉴定报告。

表1 典型钻井古生物化石组合及鉴定结果^①

Table 1 Fossil assemblages and ages of typical wells

钻井	样品类型及深度/m	古生物化石组合	时代	钻井	样品类型及深度/m	古生物化石组合	时代
ST2	岩屑(760~1390)	<i>Nitellopsis (Tectochara) globule</i> <i>Chaites producta</i>	E ₂ -E ₃		岩芯(3335~3338)	<i>Crofitettaescheri</i>	
	岩屑(1525~1555)	<i>Cristopher bransoni</i> Peck <i>Mesochara voluta (Peck)</i> <i>Grambas</i>	K ₁		岩屑(3531~3741)	<i>Gyrogona qianjiangica</i> <i>Obtusochara jianglin gensis</i>	E ₂ -E ₃
	岩屑(3931~4980)	<i>Chenopodipollis</i> <i>Nitrariadites</i> <i>Triatriopollenites</i>	E ₃	S5	岩屑(3712~3741)	<i>Cypris extensio</i> <i>Leucocythere senior</i> <i>Eacypris lenghuensis</i>	
LS3	岩屑(4994~5035)	<i>Ulmipollenites minor</i> <i>Celtispollenites</i> <i>Triatriopollenites</i> <i>Quercoidites microhenrici</i>	E ₂		岩芯(3856~3860)	<i>Clypeator zongjianggensis</i>	K ₁
	岩屑(5030~5180)	<i>Proteacidites</i> <i>Callistopollis</i> <i>Beaupreaidites</i>	K ₂		岩屑(3856~4046)	<i>Cypridea (Cypridea) prognata</i> <i>Cypridea subtuberculisperga</i> <i>Mongolianella mundula</i>	
	岩屑(5180~5501)	<i>Classopollis</i> <i>Cicatricosisporites</i> <i>Hsuisporites</i>	K ₁	JHZK2	岩屑(16~200)	<i>Euaclistochara mundula</i> <i>Aclistochara usitata</i> <i>Aclistochara subquadrularis</i> <i>Mesochara sp. 3</i> <i>Fusochara lagenalis</i>	K ₁

注：① 华北油田勘探开发研究院实验中心古生物鉴定报告

岩品中的 *Euaclistochara mundula*-*Aclistochara usitata*-*Aclistochara subquadrularis*-*Mesochara sp. 3*-*Fusochara lagenalis* 轮藻组合，在冀中地区下白垩统丰台组、塔里木盆地地下白垩统卡普沙良群都有类似发现，故判定其时代为早白垩世。LS3 井 5180~5501 m 井深岩屑样品的 *Classopollis*-*Cicatricosisporites*-*Hsuisporites* 孢粉组合和 5030~5180 m 井深的岩屑样品的 *Proteacidites*-*Callistopollis*-*Beaupreaidites* 孢粉组合，分别反映了早白垩世和晚白垩世；4994~5035 m 井深岩屑样品的 *Ulmipollenites minor*-*Celtispollenites*-*Triatriopollenites*-*Quercoidites microhenrici* 孢粉组合和 3931~4980 m 井深岩屑样品的 *Chenopodipollis*-*Nitrariadites*-*Triatriopollenites* 孢粉组合，分别指示了始新世和渐新世。S5 井 3856~4046 m 井深岩屑样品的 *Cypridea (Cypridea) prognata*-*Cypridea subtuberculisperga*-*Mongolianella mundula* 介形虫组合和 3856~3860 m 井深岩芯样品的 *Clypeator zongjianggensis* 反映了早白垩世；3712~3741 m 井深岩屑样品的 *Cypris extension*-*Leucocythere senior*-*Eacypris lenghuensis* 介形虫组合和 *Gyrogona qianjiangica*-*Obtusochara jianglin gensis* 轮藻组合，及 3335~3338 m 井深岩芯样品的 *Crofitettaescheri*

反映时代为始新世—渐新世。

2.2 中生代构造层界面确定

除中生界顶面的上下地层产状多无明显差异外，其它界面的上下地层或岩体间均为角度不整合接触，故中生界顶面的确定以钻井古生物化石鉴定结果为主，辅以岩性序列和地层不整合接触关系；其它界面的确定则以不整合接触界面识别为主，辅以古生物鉴定结果和岩性序列。

2.2.1 古生界顶面

图 3 中 ST2 井 760~1390 m 井深古生物化石鉴定时代为始新世—渐新世，1525~1555 m 井深古生物化石鉴定时代为早白垩世，其间 1390~1525 m 井深岩性为中细砂岩与泥岩构成的一个正粒序，其下部浅紫红色中细砂岩厚度达 40 m，对应 GR 与 SP 曲线均表现为箱状，代表了河道沉积环境，反映了一次新的沉积充填过程的开始，其底界 1524 m 处应为中生界之顶。将该界面对应到 155578_280 地震剖面，界面下部以两个强振幅平行连续相与空白相组合为特征，明显区别于上部，反映了上下地层分别形成于不同的沉积充填过程，当属不同的构造层。

图 4 中的 81148 地震剖面，位于坳陷北部，其靠近狼山一侧可见上下两套地层间呈现角度不

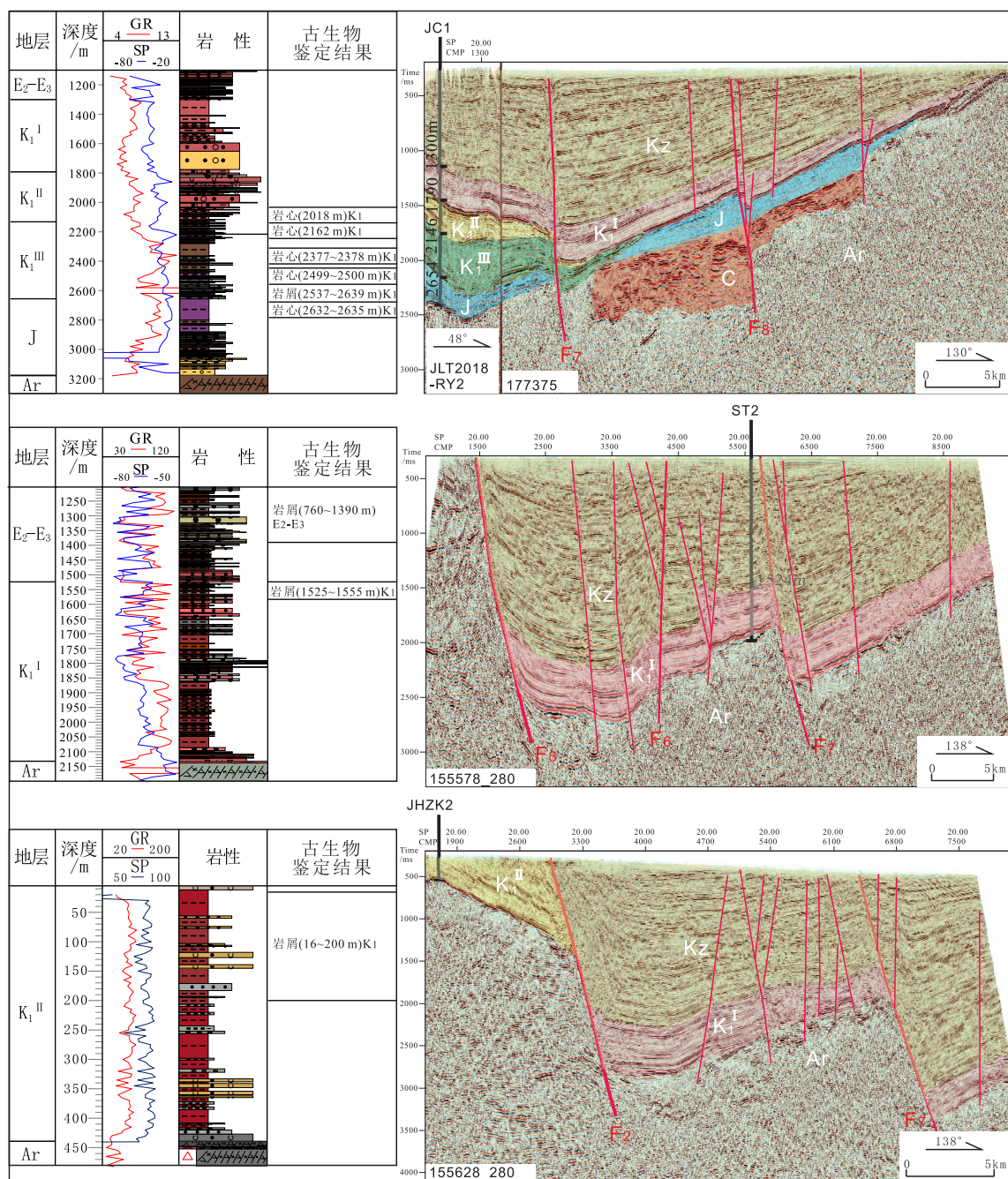


图3 研究区南部典型地震剖面及其与钻井对比图 (古生物鉴定结果参照表1)

Fig. 3 Comparison of typical seismic profiles and the wells in the south Linhe Depression (See Table 1 for paleontologic results)

整合接触关系, 尽管没有钻井约束, 但不整合面之下地震相特征与 155578_280 地震剖面相同, 亦表现为两个强振幅平行连续相与空白相组合, 故判定该不整合界面即为中生界顶面。

图 4 中 S5 井古生物化石鉴定结果为始新一渐新世的井深在 3531~3741 m, 古生物化石鉴定为早白垩世的井深在 3856~4046 m; LS3 井鉴定结果为

始新一渐新世的井深在 3931~5035 m, 为早白垩世的井深在 5180~5501 m。两井的中生界顶界应分别在 3741~3856 m 和 5035~5180 m, 相较基于地震相特征的划分结果明显下移, 其原因在于两个钻井分别钻遇断层带, 一方面断层为正断层性质, 导致上盘界线下移; 另一方面断裂作用导致附近地层碎裂, 地层错乱, 致使钻井与地震的划分出现偏差,

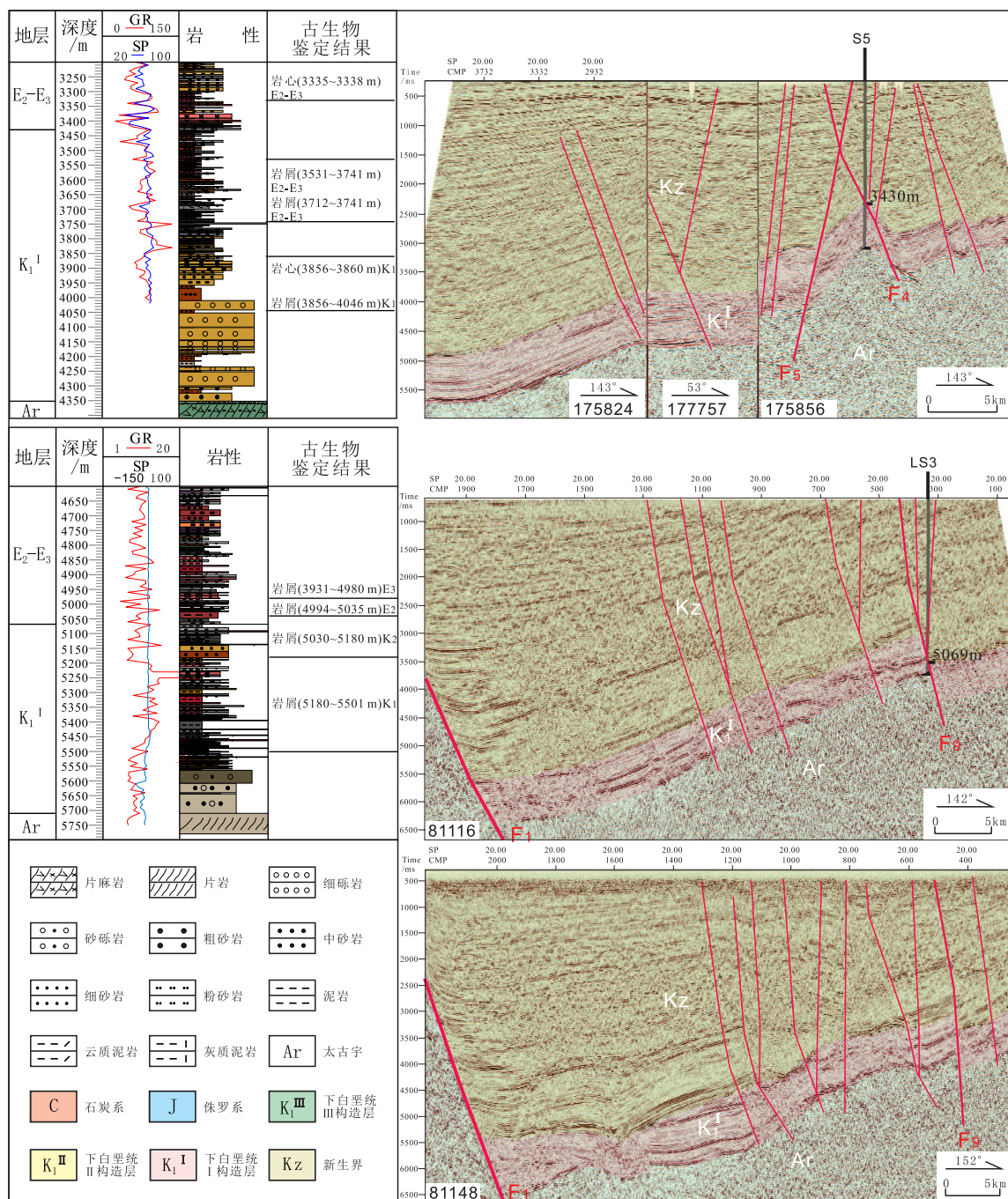


图4 研究区北部典型地震剖面及其与钻井对比图(古生物鉴定结果参照表1)

Fig. 4 Comparison of typical seismic profiles and the wells in the north Linhe Depression (See Table 1 for paleontologic results)

此时应以地震为准划分。

2.2.2 K_1^I 构造层底界与其它界面

K_1^I 构造层底界被多个钻井揭露, ST2、S5 和 LS3 三个钻井表现为砂岩或砂砾岩直接覆与太古宇变质岩之上, 地震剖面上表现为强振幅、强连续、平行相反射层, 可对比性强(图3, 4)。JC1 井亦钻遇基底(图3), 基底之上至井深 2654 m 处易

被错误当作下白垩统与 ST2 的相应层段进行对比(王飞等, 2019), 其原因在于没有考虑新的地震剖面资料, 本次研究通过 JLT2018-RY2 与 177375 联合剖面 and JC1 井的对照分析发现(图3), JC1 井深 1790 m 处才是 K_1^I 构造层的底界, 覆于 K_1^{II} 、 K_1^{III} 、J 和 Ar 等构造层之上。反映了 K_1^I 构造层沉积期间, 拗陷广覆式沉积特点。

其它界面主要见于拗陷南部地震剖面, 以 177375 地震剖面 (图 1c) 最为典型, 结合 JLT2018-RY2 和 177375 联合地震剖面与 JC1 井的井震标定、JC1 井古生物化石鉴定结果、巴彦浩特盆地 L20 地震剖面地层解释结果及晚古生代以来区域构造演化过程, 能够很好予以确定。

图 1c 中可见 K_1^I 构造层底界之下, 自上而下发育四个构造层, 分别对应于图中的黄、绿、蓝和红色区域, 且上覆构造层对下伏构造层具明显削截关系, 反映了各构造层之间的角度不整合接触。通过 JLT2018-RY2 与 177375 联合地震剖面将黄色、绿色和蓝色区域底界面对应到 JC1 钻井, 分别对应于井深 2146 m、2654 m 和 3180 m, 对比古生物化石鉴定结果, 岩芯或岩屑古生物鉴定结果为早白垩世的井深为 2018~2635 m, 说明黄色和绿色区域与覆于其上的粉红区域均属于下白垩统, 且自下而上表现出由断陷沉积向拗陷沉积过渡转换的特征, 与巴彦浩特盆地地下白垩统三段相类似, 故将黄色和绿色区域分别划分为 K_1^{II} 和 K_1^{III} 构造层, 其底界即为对应构造层的底。

K_1^{III} 构造层底界之下的蓝色和红色区域 (图 3), 虽然没有古生物鉴定结果标定, 但根据其发育位置、几何轮廓和变形特点, 亦可进行判别。蓝色区域分成不连续的两块, 分别位于 177375 地震剖面的中部和西部, 东部缺失, 几何轮廓呈楔形, 反映了不均匀断陷沉积; 红色区域位于剖面中部, 厚度大变形强。两套地层与巴彦浩特盆地相应地层相类以, 应分别属于侏罗系和晚古生代的石炭系。

2.3 晚古生代—中生代地层地震相特征

基于以上中生代地层划分结果, 总结晚古生代—中生代地层地震相特征 (图 5), 以开展各地层的地震解释, 并圈定其分布范围, 探讨其赋存特征。

(1) C 构造层地震相特征

几何轮廓不规则的强振幅波状弱连续平行相, 与基底之间无强反射层隔开, 但可以通过地震相差异加以区分, 基底往往表现为乱岗状; 与上伏构造层之间亦无明显强反射界面, 但可以从上下同相轴间产状的差异加以判别。

(2) J 构造层地震相特征

几何轮廓呈楔状的弱振幅板状或缓波状中等—

强连续平行相, 同相轴的变形特征自西北向东南呈规律变化, 西北靠近山前呈缓波状, 向东南远离山前则表现为板状平行, 反映其变形的力源来自西北狼山—巴彦乌拉山的挤压升降。该构造层与下伏变质岩基底、上覆 K_1^{III} 构造层之间往往具强反射层, 利于平面追踪; 与 C 构造层之间则没有强反射层相隔, 可依据上下地震相差异进行追踪。

(3) K_1^{III} 构造层地震相特征

几何轮廓呈楔状的两个自下而上强振幅缓波状强—中连续平行相叠加弱振幅缓波状中连续平行相组合, 以强反射层与下伏 J 构造层隔开, 与上覆地层以强反射层或削截界面区分。

(4) K_1^{II} 构造层地震相特征

几何轮廓呈缓楔状的中振幅缓波状强连续平行相, 与下伏构造层以强反射界面或削截界面隔开, 与上覆构造层以强反射界面隔开。

(5) K_1^I 构造层地震相特征

几何轮廓呈微缓楔状的两个自下而上强振幅强连续平行相叠加空白相组合, 其下以强反岩界面与下伏构造层或岩体相隔, 其上以较强反射层或削截不整合界面相隔。

3 吉兰泰拗陷中生代构造层赋存特征及意义

除 K_1^I 构造层全区广覆式发育外, 其余中生界主要分布于吉兰泰凹陷, 基于中生代各构造层地震相特征, 对吉兰泰凹陷的地震剖面进行解释, 并绘制除 K_1^I 构造层之外的晚古生代—中生代各构造层分布范围图 (图 5)。其结果与前人的研究成果存在一定差异, 接下来将在对比前人成果的基础上, 阐述吉兰泰凹陷中生代地层赋存特征及意义。

3.1 与前人成果对比

王飞等 (2019) 根据地震相特征将地震剖面 C (本文 155628 剖面的平行邻近剖面) 和 B (本文 177375 剖面的平行邻近剖面) 中的楔形沉积体定为下白垩统固三段 (分别相当于本文中的 K_1^{II} 和 J 构造层), 将剖面 B 楔形体之下的强变形地层定为侏罗系 (王飞等, 2019) (相当于本文中的 C 构造层), 有待商榷。其原因是缺少新的关键地震剖面的分析, 如过 JC1 且能联络 177375 主测线的 JLT2018-RY2 地震剖面, 从而对 JC1 井的地层划分

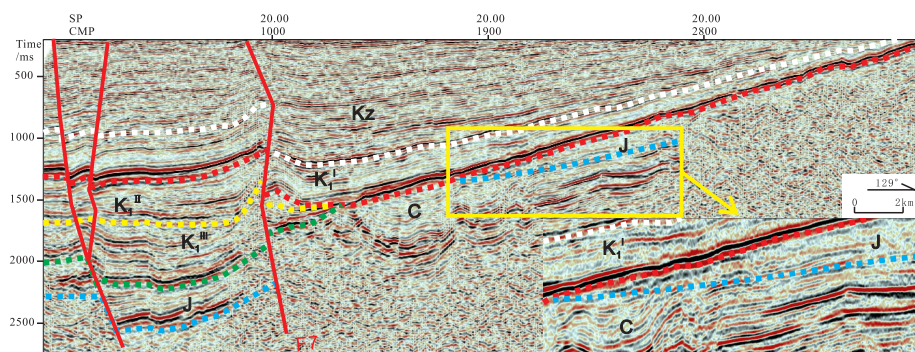


图5 吉兰泰凹陷107277测线剖面图
Fig. 5 107277 seismic profile in the Jilantai Sag

产生误判,且忽略了构造层间的削截关系所致。

至于覆于吉西凸起变质基底之上的楔形体,如王飞等(2019)所述,被固二段(相当于本文中的 K_1^I 构造层)底的强反射界面披覆,临近的JHZK2钻井16~200 m井段岩屑样品古生物化石鉴定结果为早白垩世(图3),过井剖面155628_280显示,该楔形体与盆内 K_1^I 之下各构造层之间无叠置关系,不能直接判断其地层归属。根据古生物鉴定结果和覆于 K_1^I 构造层之下的特征,可以判定其属于 K_1^{II} 或 K_1^{III} ,考虑到其楔形较缓,且直接覆于 K_1^I 之下,定为 K_1^{II} 构造层更为合适。

3.2 赋存特征

吉兰泰凹陷中生代地层基底为前寒武变质岩或残留的C构造层,其中C构造层位于吉兰泰凹陷南部 F_7 断层以东,并沿该断层呈现NNE向展布(图6a)。 F_8 断层切入该套构造层之中,且两侧厚度差异显著(图3)。尽管 F_7 和 F_8 断层为中新生代活动断层,但对C构造层具明显控制作用,说明其为中新生代再活动的老断层。

形成于不均匀断陷背景的J构造层,整体呈NNE向延伸,被 F_7 断层分割为东西两块(图6b),分别向东和向西增厚构成楔形体,其中位于东部的J构造层向东过 F_8 断层后,厚度突然减薄(图1c)。可见,J构造层的赋存同样受到 F_7 和 F_8 断层的影响。此外,J构造层东西分散发育的特征,与巴彦浩特盆地侏罗系在西部拗陷带和东部拗陷带最为发育,中部隆起带发育差且靠近查哈尔隆起缺失的分布格局吻合,且巴彦浩特盆地东北部和吉兰泰凹陷均夹持于巴彦乌拉山和贺兰山—桌子山之间,进一步印证了两者的对比参照的可靠性。

同样形成于伸展背景的 K_1^{III} 构造层主要分布于 F_3 和 F_7 断层之间,呈现NNE向延伸(图6c),横剖面表现为由东向西厚度增加的楔形(图1c)。其分布主要位于西部,范围较西部的J构造层广,西部延伸至 F_3 断层东部跨过 F_7 断层,说明该套地层沉积期,断陷主要发育于巴彦乌拉山山前。

形成于断陷向拗陷过渡背景的 K_1^{II} 构造层,基本上延续了 K_1^{III} 构造层的分布范围和剖面形态(图6d),只不过楔形变缓,厚度减薄。不同的是,吉西凸起之上亦有发育,剖面形态仍表现为向西增厚的缓楔形。考虑到 K_1^I 构造层全区广覆式发育的特点,说明白垩纪以来构造活动具由断陷向拗陷转变,活动强度渐弱的特点。

此外,尽管临河拗陷内北部杭后凹陷内未见明显的J、 K_1^{II} 和 K_1^{III} 构造层与南部相连通(图7),但1:20万地质图三道桥幅、临河县幅和乌拉特后旗幅见有 $J_{1-2}sh$ (石拐群)、 $K_1ls^{1,2}$ (李三沟组一岩段与二岩段)和 K_1g (固阳组)发育于临河拗陷北部边缘的狼山山前,呈NNE向窄条带状展布。目前对于这几套地层形成的构造背景尚不清楚,且无与临河拗陷南部吉兰泰凹陷同时代构造层直接对比相连通的证据,但从其时代归属及相同的大地构造背景而言,应可与南部各构造层相应。故此,吉兰泰凹陷 K_1^I 构造层之下的各中生代构造层,应是可以向北部延伸的,只不过分布更为局限,主要分布于杭后凹陷西北缘。

3.3 意义

本文主要划分临河拗陷南部吉兰泰凹陷中生代构造层并研究其赋存特征,其意义在于对中生代盆地性质演化与油气勘探方向的启示。

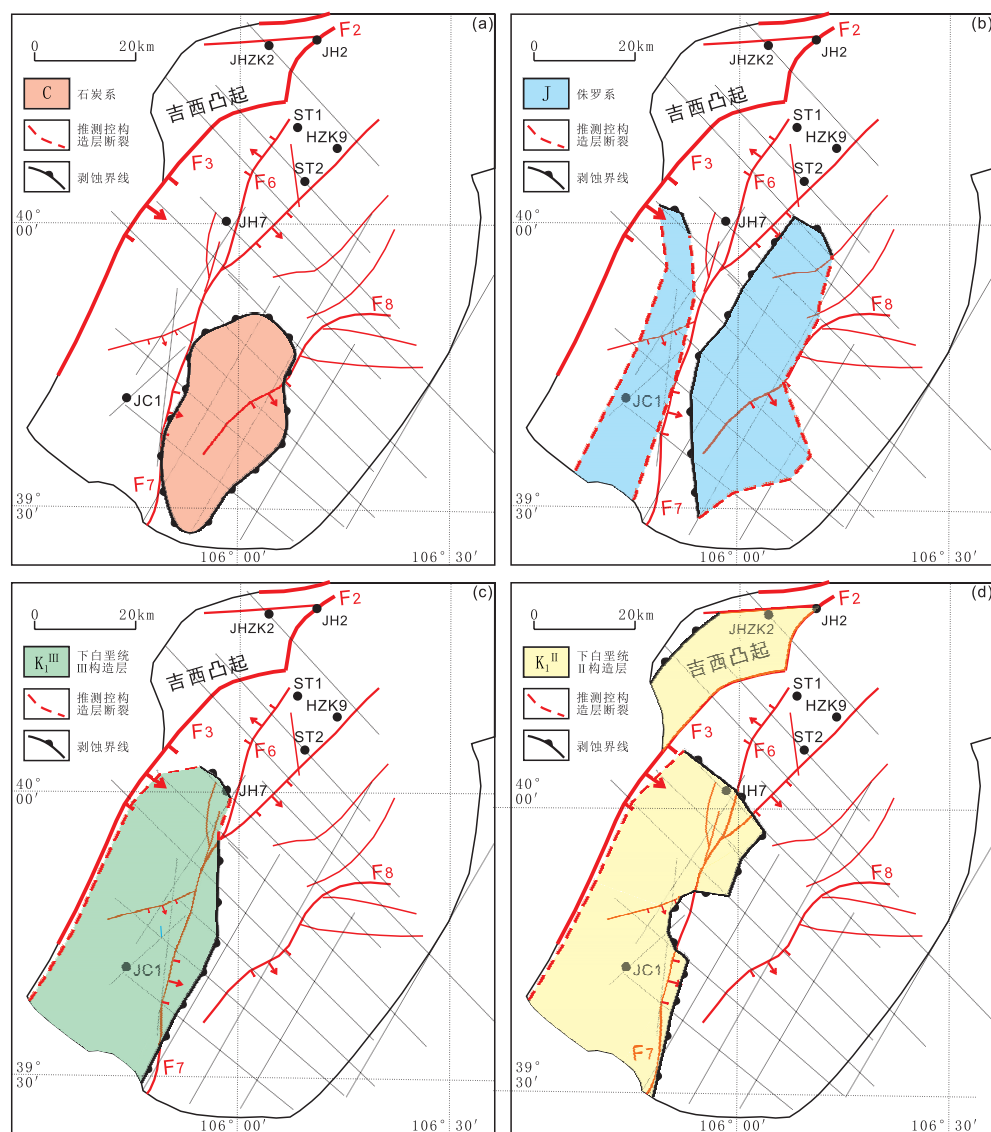


图6 吉兰泰凹陷K1I构造层底面构造和晚古生代及中生代构造层平面展布图

Fig. 6 Maps showing the structures of the K1I floor and the distribution of upper Paleozoic-Mesozoic tectonic units in the Jilantai Sag

对于研究区盆地性质，前人多强调其新生代的断陷特征，将中生代视为简单的挤压拗陷（赵重远等，1984；郭忠铭和于忠平，1990；赵孟为，1988；付锁堂等，2018）；内蒙古自治区地质矿产局（1991）更是将河套盆地侏罗系和白垩系分别划归鄂尔多斯地层分区和伊克昭地层分区，认为中生代的河套盆地是鄂尔多斯盆地的一部分，直到新生代才独立成盆。本次研究表明，自晚侏罗世晚期贺兰山挤压隆升以来，研究区即开始了独立演化的过程，且中生代盆地性质经历了早中侏罗世断陷、早白垩世早期断陷、早白垩世中期断拗转换和早白垩世晚期拗陷的演化过程。

对于本文提出的研究区早中侏罗世和早白垩早期断陷的盆地性质，与前人认识不同，有必要进一步增加证据加以证实。证据一，垂直巴彦乌拉山的 107277 测线揭示的巨厚层 J 和 K_1^{III} 构造层赋存于地堑之中（图 5），说明了对应沉积期盆地性质应为断陷；证据二，177375 剖面所示（图 3）， F_8 断层 W 盘 J 构造层明显厚于 E 盘，表现出 J 构造层沉积期 E 盘相对 W 盘上升的逆断层特征，与本文认识相左。其原因是现今的 F_8 断层倾向是 SEE，但如果把 K_z 构造层产状拉平，可见 F_8 断层倾向变为 NWW，这才是 J 构造层断陷期的真实断层面产状。如此可以理解， F_8 断层现今表现出来的

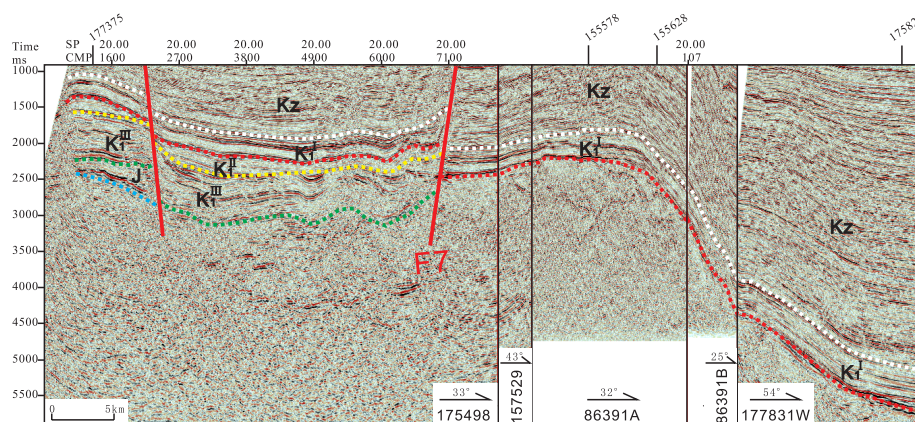


图7 吉兰泰与杭后凹陷纵向联合测线剖面图

Fig. 7 Integrated, longitudinal seismic section in the Jilantai and the Hanghou Sag

逆断层特征, 反而反映了早中侏罗世沉积期的凹陷盆地性质。

目前对于临河拗陷中生界的油气勘探主要针对 K_1^I 构造层, 本次研究结果表明, 吉兰泰凹陷中生界至少还有两个勘探方向值得考虑: 其一, 位于 F_3 和 F_7 断层之间的 K_1^{II} 和 K_1^{III} 构造层, 厚度大 (JC1 揭露厚度近千米), 面积广 (约 800 km^2), 且具备生储盖条件: JC1 井已在 K_1^{III} 构造层底部钻遇厚约百米的暗色泥岩, 且断陷及断拗转换的沉积背景下不乏碎屑岩储层和泥岩盖层, 同时 K_1^I 广覆式沉积亦起到了很好的封堵作用, 应具有不错的勘探前景; 其二, F_7 断层东部的侏罗系, 面积超过 100 km^2 , 厚度大, 断陷背景的沉积不缺碎屑岩储层和泥质盖层, 其下伏巨厚层的石炭系沉积时与鄂尔多斯盆地相通, 应能形成不错的烃源岩层, 故亦不失为良好的勘探目的层位。

4 结论

(1) 研究区中生界除三叠系外发育齐全, 厚度巨大, 且白垩系可细分为 K_1^I 、 K_1^{II} 和 K_1^{III} 三个构造层, 除 K_1^I 构造层全区广覆式发育外, 其它构造层主要发育于南区, 呈楔状—缓楔状, 长轴沿主控断裂 NNE 向延伸, 北区发育相对局限。

(2) 临河拗陷南部的吉兰泰凹陷中生代不是简单的拗陷, 自晚侏罗世晚期贺兰山挤压隆升以来, 开始了独立演化的过程; 中生代盆地性质经历了早中侏罗世断陷、早白垩世早期断陷、早白垩世中期断拗转换和早白垩世晚期拗陷的演化过程;

F_3 和 F_7 断层之间的 K_1^{II} 和 K_1^{III} 构造层、 F_7 断层东部的 J 构造层均具有良好的勘探前景。

致谢: 华北油田勘探开发研究院王会来、刘静等技术专家对文章研究所给予的支持与帮助; 感谢评阅专家提出的宝贵建议!

参考文献 (References)

- 蔡友贤. 1988a. 内蒙古河套盆地白垩纪地层层序及生油层时代讨论[J]. 石油勘探与开发, 15(3): 27–32.
- 蔡友贤. 1988b. 内蒙古河套盆地晚白垩世地层新资料[J]. 地层学杂志, 12(4): 273–280.
- 蔡友贤. 1990. 内蒙古河套盆地白垩纪古气候、沉积环境及油气勘探远景[J]. 地质论评, 36(2): 105–115.
- 董树文, 吴锡浩, 吴珍汉, 等. 2000. 论东亚大陆的构造翘变——燕山运动的全球意义[J]. 地质论评, 46(1): 8–13.
- 董树文, 张岳桥, 陈宣华, 等. 2008. 晚侏罗世东亚多向汇聚构造体系的形成与变形特征[J]. 地球学报, 29(3): 306–317.
- 董树文, 张岳桥, 龙长兴, 等. 2007. 中国侏罗纪构造变革与燕山运动新诠释[J]. 地质论评, 81(11): 1449–1461.
- 付锁堂, 付金华, 喻建, 等. 2018. 河套盆地临河拗陷石油地质特征及勘探前景[J]. 石油勘探与开发, 45(5): 749–762.
- 傅智雁, 袁效奇, 耿国仓. 1994. 河套盆地第三系及其生物群[J]. 地层学杂志, 18(1): 24–29.
- 郭忠铭, 于忠平. 1990. 河套弧形地堑系构造特征和演化机制及其油气勘探[J]. 石油勘探与开发, 17(3): 11–19.
- 胡立. 2017. 河套盆地临河拗陷临河组岩性、岩相及生储盖特征[D]. 西安: 西北大学.
- 林畅松, 杨起, 李思田. 1995. 贺兰坳拉槽盆地充填演化分析[M]. 北京: 地质出版社.
- 刘池洋, 赵红格, 桂小军. 2006. 鄂尔多斯盆地演化—改造的时空坐标及其成藏(矿)响应[J]. 地质学报, 80(5): 617–638.
- 刘智. 2013. 中卫及周缘地区晚古生代主要海泛期沉积体系[D]. 青岛: 中国海洋大学.
- 马静辉, 何登发. 2019. 贺兰山构造带及邻区中—新生代构造事件: 来自王不整合面和裂变径迹的约束[J]. 岩石学报, 35(4): 1121–1142.

- 内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.
- 彭治超. 2018. 巴彦浩特盆地后期改造过程及油气地质意义[D]. 西安: 西北大学.
- 王飞. 2018. 河套盆地吉兰泰地区地震地层划分及地震相研究[D]. 西安: 西北大学.
- 王飞, 马占荣, 蒲仁海. 2019. 河套盆地吉兰泰地区白垩系地层划分及地质特征[J]. 西安科技大学学报, 39(4): 656–664.
- 王磊, 张小龙. 2014. 河套盆地古近系地层体系及烃源岩评价[J]. 地下水, 36(6): 236–237.
- 王永超. 2017. 华北地块侏罗纪陆内变形与沉积记录——以大青山和太行山北段为例[D]. 北京: 中国地质科学院.
- 孙六一, 蒲仁海, 马占荣, 等. 2018. 河套盆地吉兰泰凹陷烃源岩展布与勘探潜力[J]. 地球科学与环境学报, 40(5): 612–626.
- 索艳慧, 李三忠, 曹现志, 等. 2017. 中国东部中生代反转构造及其所记录的大洋板块俯冲过程[J]. 地学前缘, 24(4): 249–267.
- 杨圣彬, 耿新霞, 郭庆银, 等. 2008. 鄂尔多斯盆地西缘北段中生代构造演化[J]. 地质论评, 54(3): 307–315.
- 袁效奇, 傅智雁, 耿国仓. 1992. 河套盆地第三系有孔虫的发现及其生态环境的分析[J]. 石油学报, 13(2): 109–115.
- 张国伟, 程顺有, 郭安林, 等. 2004. 秦岭—大别中央造山系南缘勉略古缝合带的再认识——兼论中国大陆主体的拼合[J]. 地质通报, 23(9): 846–853.
- 张金山. 1982. 鄂尔多斯盆地构造演化及含油气展望[J]. 石油与天然气地质, 3(4): 304–316.
- 张拴宏, 赵越, 刘健, 等. 2007. 华北地块北缘晚古生代—中生代花岗岩体侵位深度及其构造意义[J]. 岩石学报, 23(3): 625–638.
- 张兴景. 1983. 内蒙临河地区新生代的地质层序问题[J]. 石油勘探与开发, 10(4): 1–8.
- 张以明, 张锐锋, 王少春, 等. 2018. 河套盆地临河坳陷油气勘探重要发现的实践与认识[J]. 中国石油勘探, 23(5): 1–11.
- 赵重远, 郭忠铭, 惠斌耀. 1984. 河套弧形构造体系及其形成和演化机制[J]. 石油与天然气地质, 5(4): 349–361.
- 赵孟为. 1988. 河套盆地断裂活动的特征及其与油气的关系[J]. 西北大学学报, 18(2): 85–94.
- Dmitrienko L, Li S Z, Cao X Z, et al. 2016. Large-scale morphotectonics of the ocean–continent transition zone between the Western Pacific Ocean and the East Asian Continent: A link of deep process to the Earth's surface system [J]. Geological Journal, 51(Suppl): 263–285.
- Kravchinsky V A, Cogné J P, Harbert W P, et al. 2002. Evolution of the Mongol–Okhotsk Ocean as constrained by new paleomagnetic data from the Mongol–Okhotsk suture zone, Siberia [J]. Geophysical Journal International, 148(1): 34–57.
- Zhang S H, Zhao Y and Song B. 2006. Hornblende thermobarometry of the Carboniferous granitoids from the Inner Mongolia Paleo-uplift: implications for the tectonic evolution of the northern margin of North China block [J]. Mineralogy and Petrology, 87(1): 123–141.
- Zhang S H, Zhao Y, Song B, et al. 2009. Contrasting Late Carboniferous and Late Permian–Middle Triassic intrusive Suites from the northern margin of the North China craton: Geochronology, Petrogenesis, and tectonic implications [J]. Geological Society of America Bulletin, 121(1–2): 181–200.
- Zhang S H, Zhao Y, Ye H, et al. 2012. Early Mesozoic alkaline complexes in the northern North China Craton: Implications for cratonic lithospheric destruction [J]. Lithos, 155(2): 1–18.
- Zorin Y A. 1999. Geodynamics of the western part of the Mongolia–Okhotsk collisional belt, Trans-Baikal region (Russia) and Mongolia [J]. Tectonophysics, 306(1): 33–56.