

构造特征[J]. 中国地质, 2006, 33(2):256-267.

Cui Junwen, Zhang Xiaowei, Tang Zheming. Tectonic divisions of the Qinghai-Tibet Plateau and structural characteristics of deformation on their boundaries [J]. Geology in China, 2006, 33(2):256-267(in Chinese with English abstract).

[63] 熊盛青, 周伏洪, 姚正煦, 等. 青藏高原中西部航磁调查 [M]. 北

京:地质出版社, 2001.

Xiong Shengqing, Zhou Fuhong, Yao Zhengxi, et al. The Aeromagnetic Survey in the Central and Western Qinghai-Tibet Plateau[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001(in Chinese with English abstract).

Problem of westward extension of the Altyn Tagh fault belt discussed from the structural characteristics of the Gozha Co fault

LU Ru-kui^{1,3}, ZHANG Guo-wei¹, ZHONG Hua-ming³,
TONG Jin-song^{2,3}, XIA Jun³, CAI Xiao-bing³

(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China;

2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. Anhui Institute of Geological Survey, Hefei 230001, Anhui, China)

Abstract: The Altyn Tagh fault belt has a very important position in the study of continental geodynamics, but there is still a dispute over the trend of its westward extension after it passes Gozha Co. The Gozha Co fault is an ENE-trending linear structural zone and has undergone multi-stage activities. In the macrostructural to microstructural contexts, this article discusses in details its geometry and kinematics, and on that basis, combined with the data of the dynamic metamorphism, sedimentary basin, rock and stratigraphic distribution and deformation chronology, the Gozha Co fault is divided into four phases: the ductile left-lateral strike-slip fault (J_3-K_1), ductile-brittle normal-strike-slip fault (E_1-N_1), ductile-brittle reverse-strike-slip fault (N_2) and brittle left-lateral slip fault (Q). Integrated analysis of the data of geological survey and geophysical field as well as features of satellite images shows that the Gozha Co fault and Altyn Tagh fault belt are correlative linear structures which have similar kinematic and dynamic characteristics and formed in the same dynamic system, thus belonging to the same fault system. Therefore, the Altyn Tagh fault belt neither stops at Lazhulong in the west, nor turns from north of Gozha Co to the northwest but continues to extend to the southwest via Gozha Co and enters into Kashmir from the Kongka Pass after passing Lungmu Co and the Qiangchengmo River.

Key words: Altyn Tagh fault belt; Gozha Co fault; deformation; magnetic fabric; chronology

About the first author: LU Ru-kui, male, born in 1969, Ph.D candidate and senior engineer, majors in tectonics and structural geology; E-mail: lurk205@163.com.

胶莱盆地沉积—沉降史分析与构造演化

李金良¹ 张岳桥² 柳宗泉³ 任凤楼³ 袁嘉音¹

(1.中国地质科学院地质力学研究所,北京 100081;2.南京大学地球科学系,江苏南京 210093;
3.中石化胜利油田地质科学研究院,山东东营 257000)

摘要:基于地表典型露头剖面观察、地震剖面和测井资料解释、沉降史分析,并运用叠合盆地和改造盆地的研究思路,恢复了胶莱盆地白垩纪不同演化阶段的盆地原型及其构造性质。结果表明,该盆地经历了 3 个显著不同的沉积—沉降阶段。早白垩世莱阳群沉积时期,盆地原型表现为两个 NE 至 NNE 向延伸的断陷槽;一个沿莒县—诸城断陷发育,另一个沿牟平—即墨构造带发育,其沉积—沉降中心分别受苏鲁造山带北缘断裂带和牟平—即墨断裂带控制;该阶段沉积—沉降速率发生显著的空间分异,最大沉积—沉降速率在断陷槽,为 230~370 m/Ma,沿两侧斜坡地带沉积—沉降速率减小,约 60 m/Ma。早白垩世青山群对应一套中基性至中酸性火山岩,在沂沭裂谷盆地中堆积了一套大盛群河湖相沉积,这个时期是典型的大陆裂谷作用阶段,胶莱盆地演化为火山盆地,盆地沉降速率为 35~70 m/Ma。晚白垩世盆地原型表现为受东西向断裂控制的不对称箕状断陷,由诸城凹陷、高密凹陷和莱阳凹陷组成,其构造性质属于受西侧郯庐断裂和东侧牟平—即墨断裂控制的右旋拉分盆地;该阶段沉积—沉降速率总体一致,在 63~73 m/Ma。最后探讨了白垩纪盆地不同伸展阶段的动力学机制。

关键词:胶莱盆地;白垩纪;原型盆地;沉降史分析;盆地构造演化

中图分类号: P534.53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000—3657(2007)02—0240—11

胶莱盆地位于胶东半岛,是一个经历了多阶段构造演化历史和改造作用的白垩纪断陷盆地,由不同性质的盆地原型叠加而成。该断陷盆地西界为郯庐断裂中段的沂沭裂谷系,南界为苏鲁造山带(图 1)。盆地基底横跨 2 个不同性质的构造单元:东南部为胶南隆起带,属于苏鲁造山带的北带;西北部为胶北隆起,属于华北地块的组成部分,两者界线位于五莲—即墨—牟平断裂带^[1]。由于其特殊的大地构造位置,胶莱盆地的研究一直受到大地构造学家的关注。随着石油勘探的深入和资料的积累,对盆地地层序列、沉积特征、深部结构、构造样式、地球物理场特征、构造演化历史等方面的认识也在逐渐深化^[2-9],对胶莱盆地含金矿性研究也取得了重大的突破^[7]。研究表明,胶莱盆地在白垩纪时期经历了多阶段演化历史,盆地伸展构造出现时空叠加、复合和改造,形成复杂的伸展构造样式^[8,9],不同性质的盆地原型遭受了后期不同类型改造,成为一个典型的复合改造型断陷盆地。

笔者基于沉积—沉降分析方法,并运用盆地叠合与盆地改造的研究思路,对胶莱盆地地层序列、盆地原型、沉积—沉降速率等进行了分析,恢复了早白垩世莱阳群沉积期的盆地

原型,探讨不同构造演化阶段的盆地伸展动力学背景,为胶莱盆地油气勘探提供基础地质依据。

1 地层序列

胶莱盆地基底由太古界胶东群、元古界荆山群、粉子山群和蓬莱群等组成。盆地盖层包括白垩系和古近系。白垩系由 3 套地层组成,自下而上为下白垩统莱阳群、下白垩统青山群和上白垩统王氏群;古近系为五图组或黄县组^[10-11]。

下白垩统莱阳群是本文重点研究层系,对应一套河湖相沉积,在盆地的各个凹陷中均有发育,其沉积规模及地层序列受到凹陷大小和沉降幅度的制约。该群分为 6 个组,自下而上为:道仙庄组、止风庄组、马耳山组、水南组、龙旺庄组、曲格庄组^[2](图 2)。底部道仙庄组为一个独立的沉积旋回,岩性以灰黑、灰绿、灰黄色页岩夹粉砂质灰岩为主,代表了胶莱盆地形成初期的沉积建造;从止风庄组到曲格庄组成了另一个湖进—湖退沉积旋回,碎屑物粒度呈粗—细—粗变化^[2],代表盆地断—拗演化过程。止风庄组以灰紫、灰黄色巨砾岩、粗砾岩为主,属于边缘冲(洪)积扇沉积;马耳山组以灰绿、灰黄

收稿日期:2006-09-26;改回日期:2006-11-03

基金项目:国家自然科学基金项目(40572120)资助。

作者简介:李金良,男,1974 年生,博士生,主要从事盆地分析研究;E-mail:li-jin-liang@163.com。

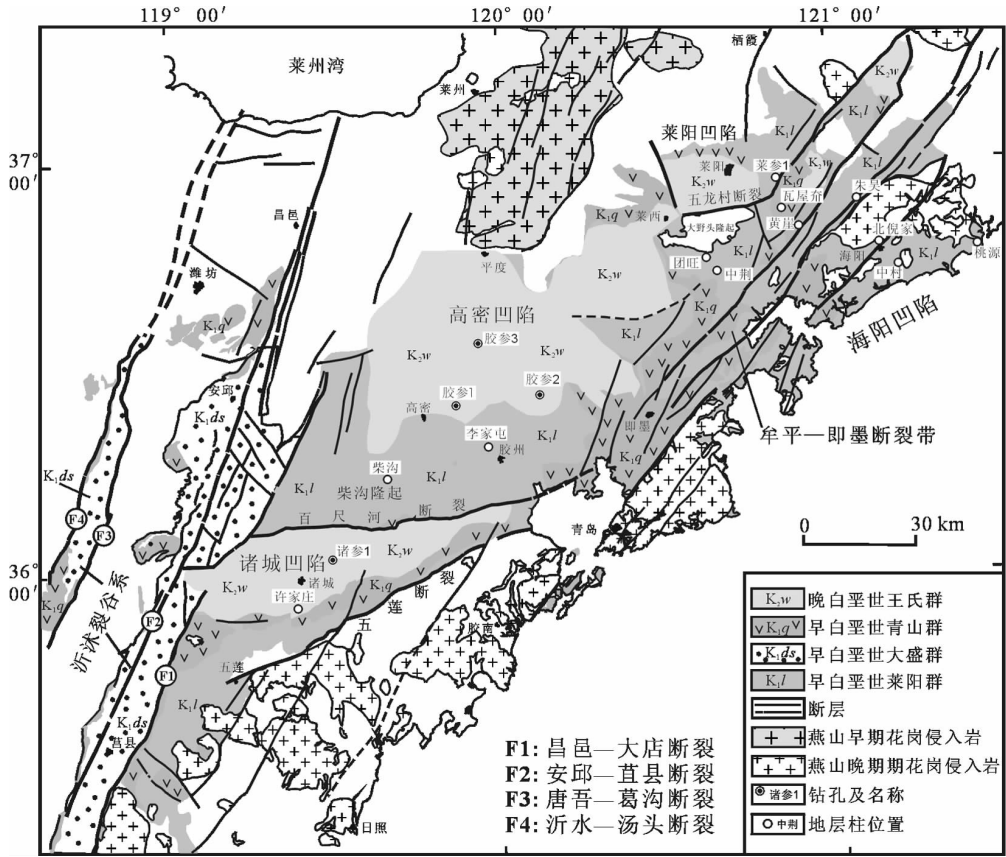


图 1 胶莱盆地构造简图

Fig.1 Simplified structural map of the Jiaolai basin

色页岩与粉砂岩互层为主,广泛出露于海阳凹陷;水南组为典型的湖相沉积,岩性以灰黑、灰绿色薄层状泥岩、粉砂岩、细砂岩为主,属浅湖、半深湖相弱还原沉积环境;龙王庄组主要为灰紫色、灰绿色中细粒砂岩,在海阳地区广泛出露;曲格庄组为典型的河流相沉积,主要为紫色、灰色砾岩、砂砾岩、砂岩、粉砂质泥岩组成的韵律。

青山群对应一套岩性复杂的中基性和中酸性火山喷发岩系,其中夹有厚度不等的碎屑岩^[6]。由 4 个火山活动旋回组成,自下而上为:紫灰色流纹质凝灰岩、中基性玄武安山岩、浅灰紫色流纹质凝灰岩、灰色玄武粗安岩^[11,13]。在五莲地区获得火山岩 ⁴⁰Ar—³⁹Ar 年龄为 108~110 Ma^[14],沿盆地东部牟平—即墨断裂带获得该火山岩系的 ⁴⁰Ar—³⁹Ar 年龄在 106~120 Ma,证实了早白垩世喷发。在胶莱盆地,该群主要出露在莱西和莱阳凹陷、牟平—即墨断裂带、诸城凹陷南缘,厚度变化在 360~3500 m。在沂沭裂谷带内,与胶莱盆地同期异相沉积的,被命名为大盛群^[15,19],对应一套火山喷发岩和碎屑岩沉积,厚度在 1000~3000 m。

王氏群为一套河流相红色、砖红色碎屑岩夹滨浅湖相杂色碎屑岩及少量泥灰岩,代表干旱气候条件下的河湖相沉积环境,主要发育在莱阳凹陷、高密凹陷、诸城凹陷中,在沂沭裂谷带中也有沉积,厚度在 1000~3000 m。该群分为 4 个组,自下而上为:林家庄组、辛格庄组、红土崖组和金岗口组,

其中金岗口组是一个跨时代地层单位,中上部属古新统^[13]。在高密、诸城凹陷和沂沭裂谷带中,王氏群地层中有基性、超基性玄武岩脉侵入,全岩 ⁴⁰Ar—³⁹Ar 坪年龄为 73.5 Ma^[17]。

在胶莱盆地,白垩纪 3 套地层之间的界线非常清楚,可与鲁东、沂沭裂谷系地层进行对比^[13]。早白垩世莱阳群沉积时期,沂沭裂谷系尚未形成,当时是一个隆起带,分隔了鲁东和鲁西沉积区。青山群沉积时期,沂沭构造带发生裂陷,沿断裂带发生火山喷发和断陷,在断陷盆地中堆积了一套大盛群砂砾岩,其中砾石成分复杂,含有大量的火山岩和古生界灰岩砾石,孢粉化石资料证明大盛群与胶莱盆地的青山群是同期异相沉积。在诸城南部分地区,青山群中没有正常碎屑沉积夹层,但在即墨断裂带南段,青山群火山岩中夹有一套正常沉积岩和火山碎屑岩系。恢复当时的沉积环境发现,火山岩的喷发是间歇性的,在间歇期有水体及正常沉积覆于其上,上部为火山岩与沉积岩的夹层。

2 早白垩世莱阳期盆地原型

由于受到后期盆地叠合和构造挤压作用,胶莱盆地早白垩世莱阳群沉积时期的盆地原型面貌已遭受了重要的改造。对此,前人从不同方面尝试对该期盆地原形进行恢复,提出了不同的原形盆地模型,如姜在兴等^[18]提出了局限湖相、湖沟

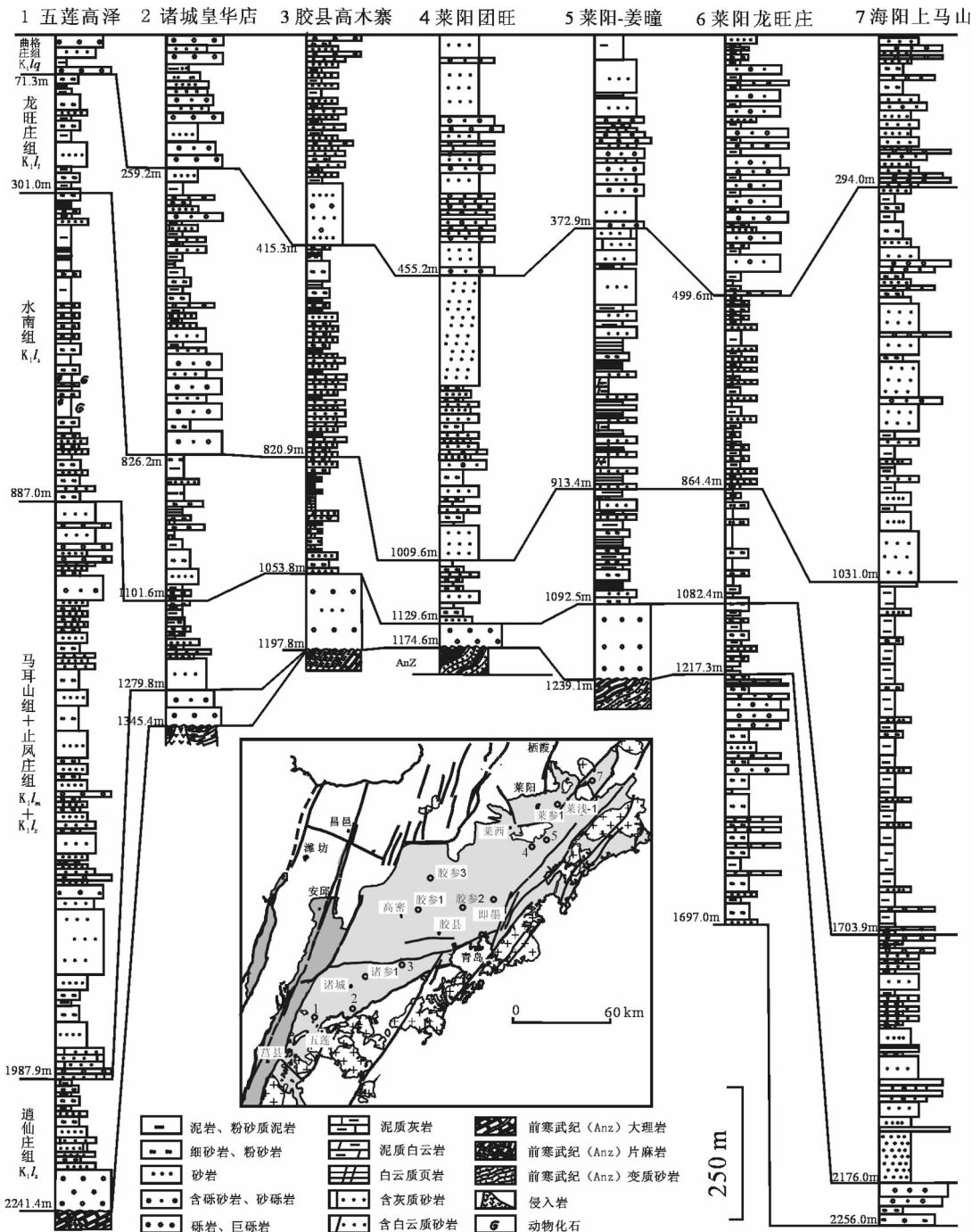


图 2 胶莱盆地早白垩世莱阳群地层-岩石柱状对比图

Fig.2 Litho stratigraphic columns of the Early Cretaceous Laiyang Group in the Jiaolai basin

相、火山碎屑湖相及开阔湖相等四大沉积区的原型。

基于地震剖面和盆地钻孔测井资料分析,结合沉积序列的对比及沉积相、古水流方向、沉积厚度等资料的分析,对盆地早期原型进行了恢复,笔者提出了早白垩世莱阳群沉积时期盆地原形特征及其相带分布。

2.1 地表典型剖面分析

依据野外实测剖面资料,结合钻井的数据,在胶莱盆地进

行了两个剖面的连线对比,诸城—柴沟地区对比剖面由许家庄—四十里堡、诸参1井、柴沟—龙池地层剖面、胶县李家屯地层剖面和胶参2井5个岩性柱组成(图3)。莱阳地区从西到东的岩性柱分别为莱参1井、瓦屋乔—修家沟地层剖面、大李格庄—西中荆地层剖面和海阳地区的榆桐庄—黄崖底地层剖面、北倪家—中村地层剖面、桃园砾岩岩舌剖面(图4)。

图3展示了斜穿诸城凹陷和柴沟隆起的莱阳群地层对

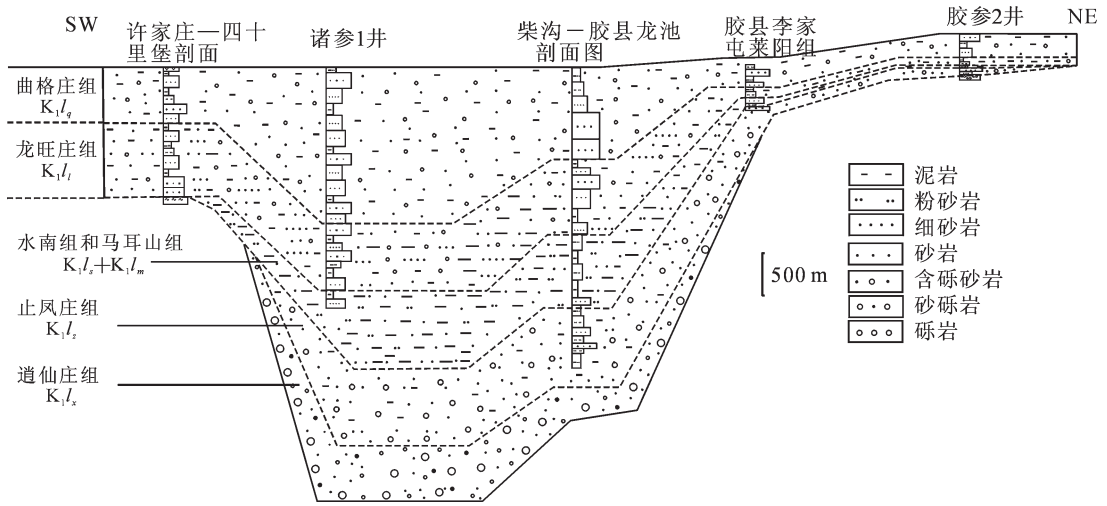


图 3 诸城—高密地区早白垩世莱阳群地层层序格架

Fig.3 Stratigraphic sequence framework of the Early Cretaceous Laiyang Group across the Zhucheng-Gaomi area

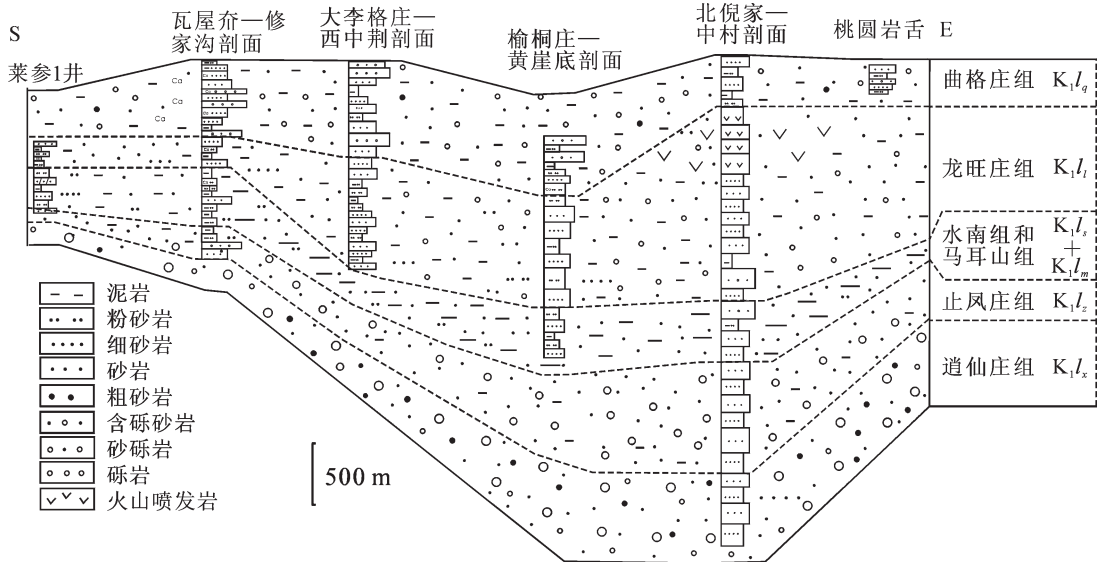


图 4 莱阳—海阳地区早白垩世莱阳群地层层序格架

Fig.4 Stratigraphic sequence framework of the Early Cretaceous Laiyang Group across the Laiyang-Haiyang area

比剖面。柴沟隆起带上的龙池剖面莱阳群地层厚度巨大 (>3 000 m),由一套粗碎屑硬砂岩和砂砾岩组成,其中剖面上部曲格庄组发育大套块状砾岩,是典型的河流相堆积。向东北至胶县李家屯一带,地层厚度急剧减小(~710 m),由一套砂砾岩组成,属于河流相—三角洲相沉积。在诸城凹陷南缘出露的莱阳群主要为边缘相、河流相沉积,由砾岩、岩屑砂岩、含细砾泥岩等组成。该套地层展示了自下而上粒度由粗—细—粗的韵律性变化,底部道仙庄组和止凤庄组为冲(洪)积扇相砂砾岩,向上水南组和马耳山组粒度变细,泥岩含量增高;龙旺庄组为砂、泥岩互层夹砾岩,曲格庄组为砂砾岩层和泥岩互层,并发育大型板状层理,为典型的河流相沉积。

图 4 展示了横穿莱阳凹陷、牟平—即墨断裂带和海阳凹陷的莱阳群地层柱状剖面对比图。最大沉积厚度(北倪家—

中村剖面)位于牟平—即墨裂带东侧的海阳凹陷。垂向上,莱阳群下部(道仙庄组)由巨砾岩、砂砾岩组成的冲洪积扇相沉积;中部(水南组和马耳山组)粒度变细,砂泥岩、砂岩、砂泥岩夹砾岩等组成湖相、滨湖相和三角洲相沉积;上部(龙旺庄组和曲格庄组)粒度又变粗,以砂砾岩等河流相沉积为主。横向上,靠近莱阳凹陷,沉积环境相对比较稳定,沉积粒度细,发育湖相、湖湾相泥岩、白云岩、灰岩等沉积;沿牟平—即墨断裂带,沉积粒度变粗,地层厚度增大,以冲积扇相、湖沟相沉积为主;向东至海阳凹陷,沉积粒度中等,但地层厚度巨大(~3 811 m),上部尚发育中酸性火山喷发岩。

2.2 钻孔测井资料解释

胶莱盆地已钻探 5 口深井,其中诸城凹陷 1 口(诸参 1 井)、高密凹陷 3 口(胶参 1、胶参 2 和胶参 3)、莱阳凹陷 1 口(莱

参1井)。本研究对诸参1井(诸城凹陷)、胶参2井(高密凹陷)、莱参1井(莱阳凹陷)测井岩性和测井曲线资料进行了详细的解释,划分了沉积旋回,确定了沉积相(图5~7)。

诸参1井为一口参数井,井深5 000 m,完钻层位为莱阳群。测井曲线解释表明,该井段8~1456.0 m属于王氏群,上部颗粒较细,为暗紫色粉砂岩、细砂岩夹泥岩,中部颗粒较粗,为杂色含砾砂岩、粉砂岩,夹薄层泥岩;井段1 456~2 154 m为青山群,上部以深灰色安山岩为主夹深灰色凝灰岩,下部为一层厚层灰绿色、灰色凝灰岩;莱阳群(井段2 154~5 005 m)上部岩性为绿灰色、浅灰色含砾砂岩、粗砂岩,中部为杂色砾状砂岩,下部为紫红色砾岩、杂色含砾砂岩夹泥岩。钻遇的莱阳群地层主要为河流、三角洲相沉积,没有钻遇水南组暗色泥岩(图5)。

胶参2井位于高密凹陷东南部,钻透了盆地白垩系地层,于1 700 m的太古界基底中完钻。该井王氏群(井段25~694 m)对应于一套红色砂泥岩沉积;青山群(井段869.5~926 m)是一套火山岩,下部为砂岩层夹凝灰岩;莱阳群(井段926~1 650 m)由一套河流三角洲相沉积组成,其中曲格庄组主要为砂砾岩、细砂岩及泥岩,属于辫状河三角洲前缘相沉积;龙旺庄组为辫状河三角洲相砂泥岩沉积,水南组则为三角洲前缘—半深湖相粉砂岩、泥岩沉积(图6)。

莱参1井位于莱阳市龙旺庄镇西北,钻遇地层为莱阳群水南组和龙旺庄组,主要由一套砂岩、泥岩、白云岩、灰岩等组成的扇三角洲相、滨湖相和湖湾相沉积(图7)。

2.3 莱阳沉积时期原形特征

诸城、高密地区莱阳群地层格架的建立是胶莱盆地原形恢复的关键。对比分析结果表明,盆地的沉积和沉降中心主要位于现今的诸城凹陷,向东北延伸部分横跨柴沟隆起。在柴沟隆起部位的龙池地层剖面显示下部发育水南组滨湖相地层,但在诸参1井中仅发育三角洲相或曲流河相沉积,水南组地层可能未钻遇。位于柴沟隆起以北的广大地区,莱阳群地层急剧变薄,以河流相为主。由此推断,莱阳期胶莱盆地南缘是一个不对称、槽状断陷盆地,断陷槽位于诸城凹陷靠近百尺河断裂带一侧,该断陷槽以北的地区是一个向南缓倾的斜坡区,以河流相沉积为主,湖相沉积不发育。根据诸城、柴沟地区莱阳群地层分布特征,结合地震剖面解释资料和区域重磁资料,笔者推测,莱阳期诸城断陷槽向西延伸终止在安丘—莒县断裂带上,也即在沭河裂谷带的莒县盆地内,可能发育莱阳群沉积地层^[9]。根据区域地质调查结果,高密县柴沟—胶县龙池莱阳群实测剖面确定的沉积厚度大于4 000 m,诸参1井钻遇莱阳群地层大于2 500 m,但该地区整体缺乏暗色泥岩,因此难以确定沉积中心在什么位置,沉积中心和沉降中心在空间上可能不一致。一种可能的解释是,该地区处在沉积物输送的通道上,真正的汇水中心在诸参1井的以西地区。

横穿莱阳—海阳地区的莱阳组地层层序格架,具有下列基本特征。(1)从东西向地层柱状剖面上可以看到,莱阳群

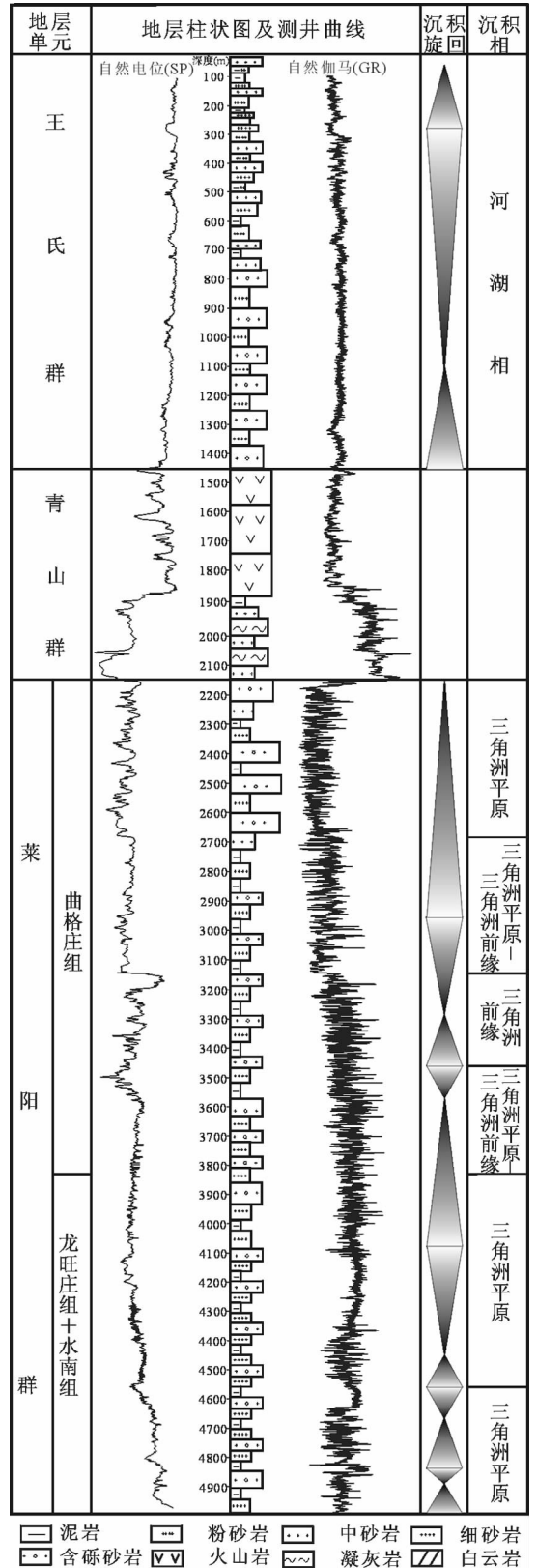


图5 诸参1井测井综合解释图
(根据胜利油田资料编制)

Fig.5 Integrated interpretation of logging curves of well Zhucan 1
(data from the Shengli oil field)

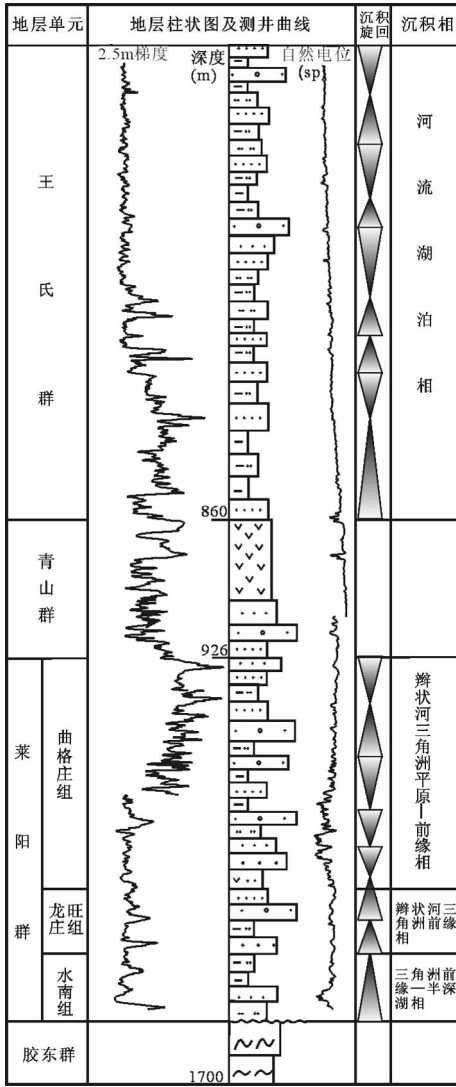


图 6 胶参 2 井测井综合解释图 (图例同图 5, 根据胜利油田资料编制)

Fig.6 Integrated interpretation of logging curves of well Jiaocan 2 (the legend same as in Fig. 5; data from Shengli oil field)

沉积时期的沉降中心(沉积最厚部位)位于海阳断裂和郭城断裂之间, 对应于牟平—即墨断裂构造带中的主体部分, 沉降中心的沉积厚度大于 5 000 m, 沉积物以砂砾岩等碎屑岩为主, 局部夹有中基性和中酸性火山喷发岩。而沉积中心(暗色泥岩发育部位)主要位于东陡山断裂以西的莱阳龙旺庄一带, 这里的水南组湖相地层最为发育。沉积中心和沉降中心的空间分离是该区莱阳期盆地发育的最重要特征之一。(2) 从形态特征上, 莱阳—海阳地区莱阳期盆地原形可能是一个东陡、西缓的不对称的断陷盆地, 剧烈的沉降作用不仅受控于 NNE 向的牟平—即墨断裂带, 同时与盆地基底的性质有关。莱阳地区盆地基底属于胶北地块, 相对比较稳定, 而海阳地区盆地基底属于苏鲁造山带, 相对比较活跃。(3) 从纵向剖面上看, 盆地沉降中心部位向南西方向倾没, 向东北方向翘

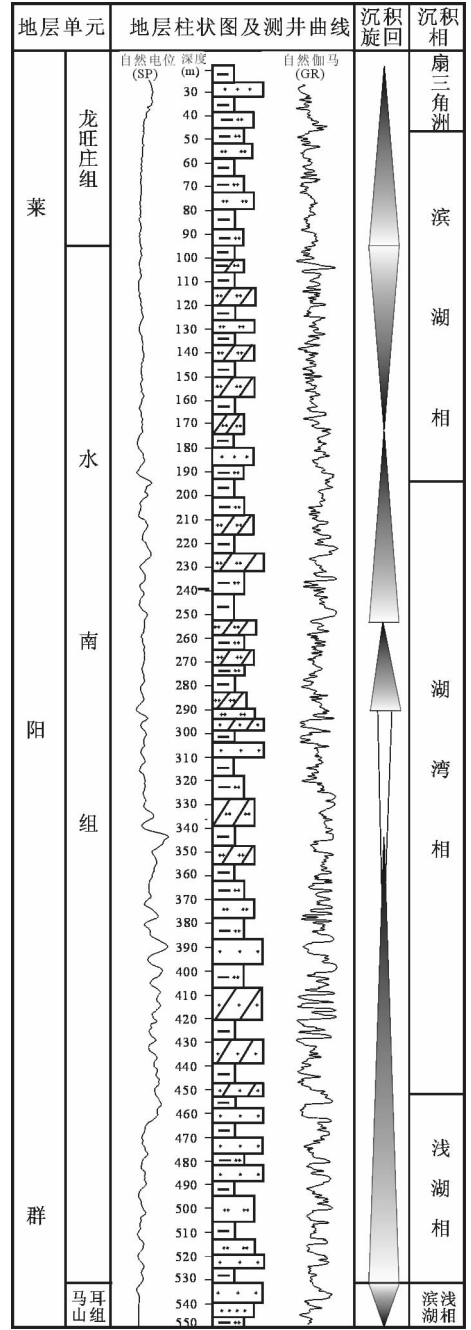


图 7 莱参 1 井测井综合解释图 (图例同图 5, 根据胜利油田资料编制)

Fig.7 Integrated interpretation of logging curves of well Laican 1 (the legend same as in Fig. 5; data from Shengli oil field)

起, 东北边缘位于朱吴洼陷以北的胶北隆起区, 这里是主要物源供应区。无论是沉积相带分布特征还是野外古水流测量资料, 均显示当时主要河流方向为北东—南西向。在海阳、乳山地区, 海阳凹陷东北边界受 NW 向正断裂控制, 桃园砾岩岩舌指示当时该边界带存在强烈的地形高差。

通过上述地表典型剖面 and 盆地钻孔测井资料解释结果

对比分析,结合盆地岩相古地理分析和古水流测量结果,对莱阳期盆地原型进行了总体恢复。从恢复图(图8)可以看出,莱阳群沉积时期,胶莱盆地发育两个相对独立的槽状断陷带:一个沿阜平—即墨断裂构造带发育,呈NNE向展布,称为朱吴—即墨断槽带;另一个沿沭河裂谷带和诸城凹陷发育,总体也呈NNE向展布,称为莒县—诸城断槽带。另外,位于胶莱盆地东北角的郭城凹陷可能是一个独立的断陷盆地,其发育受东西两侧断裂控制。两个槽状断陷带主导了胶莱原型盆地的沉积相分布特征和古水流方向。槽状断陷带是湖沟相沉积发育地区,纵向流发育,主要的沉积类型包括三角洲、水下扇、湖沟浊积岩和较深湖相^[18]。靠近断陷槽的两侧地带,如莱阳地区,则发育局限湖湾相、开阔湖泊相。盆地的西北缘以泥石流、扇面河道沉积、漫流沉积、泥流沉积等为主^[20],东南边缘和东北边缘,则发育冲积扇、扇砾岩沉积。位于边缘相与湖滨相之间的宽阔地带,主要发育不同类型的河流相沉积,如曲流河、辫状河等^[21]。

3 盆地沉降史分析

3.1 原理及方法

回剥分析技术是计算盆地沉降量的重要手段^[21,22]。沉积物在正常的压实情况下,孔隙度 φ 和深度 y 关系服从指数分布^[23]: $\varphi = \varphi_0 \cdot e^{-cy}$

式中 φ 是深度为 y 时的孔隙度, φ_0 为表面孔隙度, c 为压

实系数。

根据沉积物体积不变原理,回剥地层到地表,其厚度与孔隙度的关系符合下式^[21]:

$$\gamma'_2 - \gamma'_1 = \gamma_2 - \gamma_1 + \varphi_0(e^{-\gamma_2} - e^{-\gamma_1})/c + \varphi_0(e^{-\gamma'_2} - e^{-\gamma'_1})/c$$

式中 γ_2 和 γ_1 为地层现今顶、底埋深, γ'_2 和 γ'_1 为地层回剥至地表的顶、底埋深, y 代表深度值。

解上述方程可计算出地层总沉降量,进而计算构造沉降量。构造沉降量(Y)为总沉降量(S)和沉积负载(U)之差^[24]:

$$Y = S - U = S \cdot [1 - (\rho_s - \rho_w) / (\rho_m - \rho_w)]$$

式中: Y —构造沉降量, S —去压实后沉积物厚度即总沉降量, U —沉积负载, ρ_s —沉积岩平均密度,一般取 2.7 g/cm^3 ; ρ_m —地幔密度,取 3.33 g/cm^3 , ρ_w —孔隙流体密度,淡水为 1.0 g/cm^3 。

3.2 结果分析

参考同位素年代学测试分析结果,对盆地沉积地层年龄作如下标定:莱阳群 $120 \sim 135 \text{ Ma}$,青山群 $106 \sim 120 \text{ Ma}$,王氏群 $65 \sim 88 \text{ Ma}$ 。根据地震剖面解释结果和地表观察,在青山群和王氏群之间存在一显著地层不整合面,是盆地的重要构造反转时期,在沉降历史计算中,将此不整合面做不变化处理。图9展示了诸参1井、莱参1井、胶参2井和胶参3井的沉降史计算结果。表1汇总了由各井及2条地表剖面计算的莱阳期、青山期、王氏群沉降速率。

沉降历史计算结果表明,胶莱盆地不同成盆时期的沉降

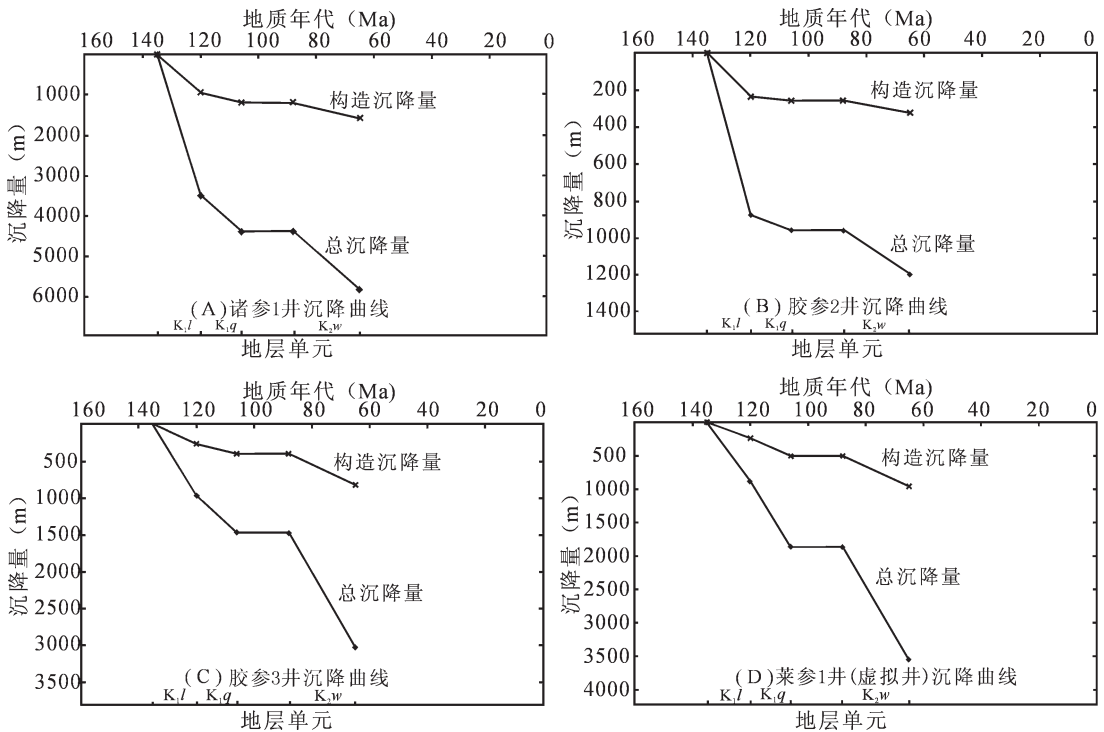


图9 胶莱盆地典型井沉降曲线

K_{1l}—早白垩世莱阳群;K_{1q}—早白垩世青山群;K_{2w}—晚白垩世王氏群

Fig.9 Subsidence curves of typical wells in the Jiaolai basin

K_{1l}—Early Cretaceous Laiyang Group;K_{1q}—Early Cretaceous Qingshan Group;K_{2w}—Late Cretaceous Wangshi Group

表 1 胶莱盆地各沉积期的沉降速率

Table 1 Subsidence rates in various deposition stages in the Jiaolai basin

凹陷(剖面)	沉降速率(m/Ma)		
	莱阳期(K _{1l})	青山期(K _{1q})	王氏期(K _{2w})
诸城凹陷(诸参1井)	231.3	64.4	63.0
高密凹陷(胶参2井)	58.4	5.9	10.4
高密凹陷(胶参3井)	64.5	35.8	68.0
莱阳凹陷(莱参1井)	59.1	70.1	73.2
柴沟隆起(胶县剖面)	374.3		
海阳凹陷(北倪家剖面)	317.5		

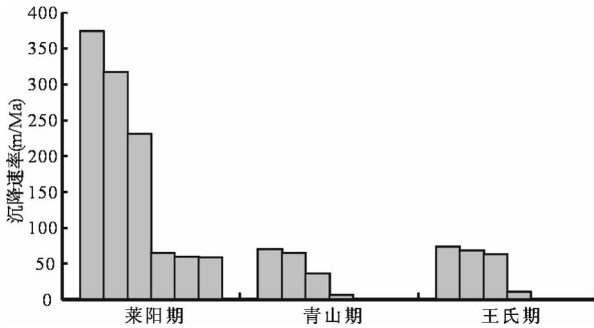


图 10 胶莱盆地各沉积期的沉降速率统计直方图

Fig.10 Histogram showing subsidence rates in different stages in the Jiaolai basin

速率明显不同,总体来说,莱阳期为快速断陷阶段(230~370 m/Ma),青山期和王氏期为相对缓慢沉降的断陷期(60~73 m/Ma)(图 10)。诸参 1 井沉降曲线显示诸城凹陷莱阳期沉降速率大于 230 m/Ma,至青山期和王氏期,沉降速率明显减小,为 63~64 m/Ma;胶参 3 井沉降曲线图显示了高密凹陷在莱阳期和王氏期具有相同级别的沉积速率(64~68 m/Ma),青山期沉积速率相对较小(6~365 m/Ma);而莱参 1 井(虚拟井)的沉降曲线计算结果显示莱阳凹陷在莱阳期沉降速率较小(约 60 m/Ma),而青山期和王氏期的沉降速率增大(>70 m/Ma)。

从空间分布上看,同一沉积时期,不同凹陷之间的沉降速率存在很大差异。在莱阳群沉积时期,沉积-沉降作用出现显著的空间分异,最大的沉降作用沿诸城凹陷、柴沟隆起和海阳凹陷一带发生,沉降速率在 230~320 m/Ma,最大达到 370 m/Ma(根据地表剖面计算);而在高密凹陷和莱阳凹陷地区,沉降相对缓慢,约 60 m/Ma。在青山群和王氏群沉积时期,各凹陷的沉积-沉降作用没有发生明显的分异,如青山群各凹陷的沉降速率在 60~70 m/Ma,王氏群各凹陷的沉降速率也在 60~70 m/Ma,说明这 2 个时期胶莱盆地进入整体沉降阶段。

4 盆地演化历史

通过前述沉积-沉降历史分析和盆地原形恢复结果,结合影响不同时代地层的断层运动学分析和盆地构造样式分析结果^[8,25,26],表明胶莱盆地不是一个单一的断陷盆地,其形成

和演化经历了多阶段、多期次、不同构造-热体制的构造引张和伸展过程。不同伸展阶段,盆地性质和原形不同,产生不同的伸展构造样式和沉积组合^[9]。因此,胶莱盆地是一个典型的伸展型叠合盆地。

按照叠合盆地的思路^[27,28],可以将胶莱盆地演化历史划分为下列 3 个不同的伸展阶段和 3 类不同性质原形盆地的叠合历史(图 11)。3 个时期盆地性质有差异,空间分布不完全一致,后期盆地叠加在前期盆地之上,形成叠合盆地。在莱阳期 NE-NNE 向断陷槽之上叠加了青山期火山岩盆地,王氏期近 W-E 向拉分盆地叠加在前两期盆地之上。

(1)早白垩世莱阳期伸展阶段和伸展断陷盆地:该阶段盆地属断陷盆地,NW-SE 向伸展作用控制了盆地的发育,盆地内部记录了一套相变复杂、分布广泛的河湖相沉积。胶莱原型盆地横跨苏鲁造山带和胶北隆起,伸展变形主要集中在苏鲁造山带和胶北地块的边界带上,形成了 2 个 NW-SE 向的狭长的断陷槽:一个沿胶南隆起北缘边界带和沂沭断裂带中段发育,形成莒县—诸城断陷槽;另一个沿 NNE 向牟即断裂带发育,形成朱吴—即墨断陷槽。该阶段的动力学机制为可能与苏鲁造山带增厚地壳的重力跨塌有关。由于重力势不平衡,在伸展构造应力环境下,造山带发生跨塌,沿造山带北侧形成深而狭长展布的断陷槽。其显著的特征是沉积-沉降作用在空间上出现重大的分异,沿断陷槽的沉降速率在 230~370 m/Ma,最大伸展量在 36%~41%,而沿断陷槽北侧地区,沉降速率明显减小(~60 m/Ma),伸展量只有 9%~25%,反映了伸展断陷作用主体受造山带重力跨塌作用的控制。

(2)早白垩世青山期伸展阶段和大陆裂谷盆地:该阶段盆地伸展作用完全不同于莱阳期,伸展作用主要集中在郯庐断裂带,使该断裂带发生引张裂陷,形成狭长展布的沂沭裂谷系。青山期盆地叠合在早期原型盆地上,胶莱盆地整体沉降,伸展变形不强烈,但裂谷作用显著,沿莒县—诸城断陷槽和朱吴—即墨断陷槽发生强烈的双峰式火山喷发活动,形成巨厚的火山喷发岩带,使早期断陷盆地演化为火山盆地。岩石圈减薄和地幔底辟可能是该期盆地伸展的主要深部机理^[29-31]。此时期胶莱盆地沉降速率在 36~70 m/Ma,伸展量相对较小,在 7%~11%。

(3)晚白垩世王氏期伸展阶段与右旋走滑拉分盆地:该时期伸展应力方向转为近 N-S,伸展作用使胶莱盆地近 W-E 向和 NW-SE 向断裂倾滑复活,形成宽广的伸展构造并控制了王氏群沉积,胶莱盆地现今轮廓基本形成,表现在:诸城凹陷在早白垩世断陷盆地上,叠加了新的断陷盆地,使早期断陷沉积发生深埋;高密凹陷在原断陷斜坡基础上,形成了两洼夹一凸的构造格局,盆地拆离断层主体向北或北东倾;莱阳凹陷发生构造分异,东部山前店—蛇窝泊一带整体抬升,西部莱阳地区发生断陷,受南侧近 W-E 向五龙河断裂和西侧茂芝场断裂正倾滑活动的控制。郯庐断裂系右旋拉分作用控制了晚白垩世伸展盆地^[9]。此时期盆地各凹陷的沉降速率在 60~70 m/Ma,伸展量在 20%~30%。相对于青山期,其伸展和沉降作用明显增大。

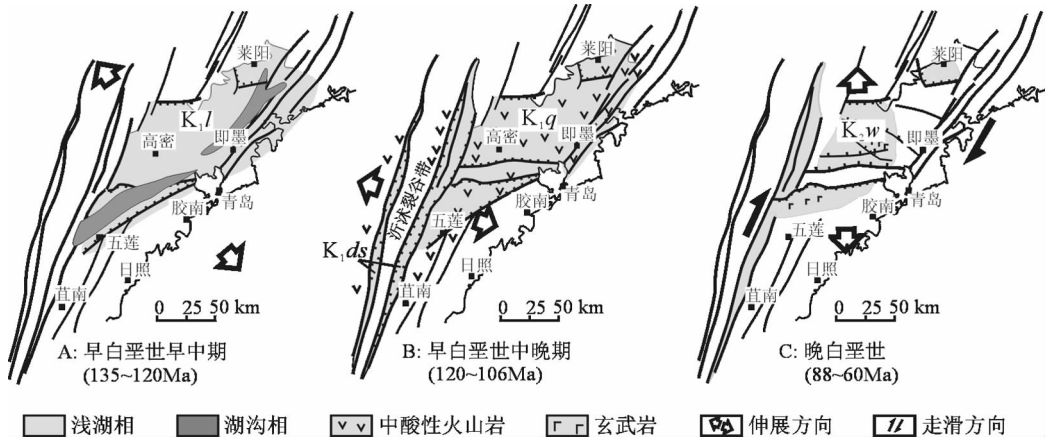


图 11 胶莱盆地白垩纪构造演化阶段平面模式图

K_1l —早白垩世莱阳群; K_1ds —早白垩世大盛群; K_1q —早白垩世青山群; K_2w —晚白垩世王氏群

Fig.11 Cretaceous tectonic evolution models of the Jiaolai basin

K_1l —Early Cretaceous Laiyang Group; K_1ds —Early Cretaceous Dasheng Group; K_1q —Early Cretaceous Qingshan Group; K_2w —Late Cretaceous Wangshi Group

5 结论

(1) 基于沉积序列的对比、盆地钻孔测井资料、沉积厚度、沉积相、古水流方向等资料的分析,恢复了胶莱盆地莱阳期盆地原型,表现为两个相对独立的断陷槽:一个沿牟平—即墨断裂带发育,呈 NNE 向展布;另一个沿沭河裂谷带和诸城凹陷发育,总体也呈 NNE 向展布。断陷槽发育湖泊相、浊流相沉积,两侧地带则发育湖湾相、开阔湖泊相、河三角洲相沉积等。

(2) 基于地表剖面和钻井沉降史分析,估算了胶莱盆地不同沉积时期的沉降速率及其空间分布规律。早白垩世莱阳期沉降速率在 230~370 m/Ma,青山期在 36~70 m/Ma,王氏期为 60~73 m/Ma。

(3) 综合盆地原形恢复结果、沉积-沉降历史分析和构造应力场方向转换,将胶莱盆地演化历史划分为 3 个性质不同的原型盆地叠加:早白垩世莱阳期伸展断陷盆地、早白垩世青山期火山裂谷盆地、晚白垩世王氏期右旋走滑拉分盆地。

参考文献 (References):

[1] 周存亭, 周高誌, 胡云琴. 大别—苏鲁造山带地质图[M]. 北京:地质出版社, 2003.
Zhou Cunting, Zhou Gaozhi, Hu Yunqin. Geological Map of the Dabie—Sulu Orogen [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003(in Chinese).

[2] 陆克政, 戴俊生. 胶莱盆地的形成和演化[M]. 东营:石油大学出版社, 1994:1-174.
Lu Kezheng, Dai Junsheng. Evolution of Jiaolai Pull-apart Basin [M]. Dongying: Petroleum University Publishing House, 1994:1-174(in Chinese).

[3] 陈清华, 宋若微, 陆克政, 等. 胶莱盆地重磁资料解释与构造特征分析[J]. 地球物理学进展, 1994, 9(3):70-79.

Chen Qinghua, Song Ruowei, Dai Junsheng, et al. Jiaolai basin gravity and magnetic data interpretation and structure analysis [J]. Progress in Geophysics, 1994, 9(3):70-79(in Chinese with English abstract).

[4] 李桂群, 范德江, 任景明. 胶莱盆地发育演化及其油气前景探讨 [J]. 青岛海洋大学学报, 1994, 24(3):413-419.
Li Guiqun, Fan Dejiang, Ren Jingming. The evolution features of the Jiaolai basin and study of prospective oil and gas deposits [J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 1994, 24 (3):413-419(in Chinese with English abstract).

[5] 李桂群, 范德江. 胶莱盆地构造单元划分及其特征 [J]. 青岛海洋大学学报, 1994, 24(2):239-246.
Li Guiqun, Fan Dejiang. Tectonic unit division and their characteristics in the Jiaolai basin [J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 1994, 24(2):239-246(in Chinese with English abstract).

[6] 翟慎德. 胶莱盆地莱阳凹陷构造特征及演化 [J]. 石油实验地质, 2003, 25(2):137-142.
Zhai Shende. Structural characteristics and evolution in the Laiyang depression of the Jiaolai basin [J]. Petroleum Geology and Experiment, 2003, 25(2):137-142(in Chinese with English abstract).

[7] 陈世桢, 张竹如. 胶莱盆地含矿系与金矿关系初探 [J]. 地质科学, 1997, 32(2):193-200.
Chen Shizhen, Zhang Zhuru. Preliminary study on relationship between the ore-bearing system and gold deposit in Jiaolai basin [J]. Scientia Geologica Sinica, 1997, 32 (2):193-200 (in Chinese with English abstract).

[8] Zhang Yueqiao, Dong Shuwen, Shi Wei. Cretaceous deformation history of the middle Tan—Lu fault zone in Shandong Province, eastern China [J]. Tectonophysics, 2003, 363(3-4):243-258.

[9] 张岳桥, 李金良, 柳宗泉, 等. 胶莱盆地深部拆离系统及其区域构造意义 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(4):504-511.
Zhang Yueqiao, Li Jinliang, Liu Zongquan, et al. Deep detachment

- systems beneath the Jiaolai basin, Shandong Province, and regional tectonic significances[J]. *Oil and Gas Geology*, 2006, 27(4):504-511 (in Chinese with English abstract).
- [10] 李日辉, 张光威. 山东莱阳盆地早白垩世莱阳群的遗迹化石[J]. *古生物学报*, 2001, 40(2):252-261.
Li Rihui, Zhang Guangwei. A preliminary study of nonmarine trace fossils from the Laiyang Group (Early Cretaceous) Laiyang basin, eastern China [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2001, 40(2): 252-261(in Chinese with English abstract).
- [11] 刘明渭, 张庆玉, 宋万千. 山东白垩纪岩石地层序列与火山岩系地层划分[J]. *地层学杂志*, 2003, 27(3):247-253.
Liu Mingwei, Zhang Qingyu, Song Wanqian. Division of the Cretaceous lithostratigraphic and volcanic sequences of Shandong[J]. *Journal of Stratigraphy*, 2003, 27 (3):247-253 (in Chinese with English abstract).
- [12] 吴智平, 李凌, 李伟, 等. 胶莱盆地莱阳期原型盆地的沉积格局及有利油气勘探区选择 [J]. *大地构造与成矿学*, 2004, 28(3): 330-337.
Wu Zhiping, Li ling, Li Wei, et al. Sedimentary pattern of prototype basin in the depositional period of Laiyang formation and the advantageous areas for oil and gas exploration of Jiaolai basin [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2004, 28(3):330-337(in Chinese with English abstract).
- [13] 山东省第四地质矿产勘察院. 山东省区域地质[M]. 济南: 山东省地图出版社, 2003:1-197.
The Fourth Geology and Ore-deposit Exploration ation Institute. Regional Geology of Shandong Province [M]. Jinan:Shandong Geographic Publisher, 2003:1-197(in Chinese).
- [14] 邱检生, 王德滋, 罗清华, 等. 鲁东胶莱盆地青山组火山岩的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 定年—以五莲分水岭火山机构为例[J]. *高校地质学报*, 2001, 7(3):351-355.
Qiu Jiansheng, Wang Dezi, Luo Qinghua, et al. $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ dating for volcanic rocks of Qingshan Formation in Jiaolai basin, Eastern Shandong Province: a case study of the Fenlingshan volcanic apparatus in Wulian County [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2001, 7(3):351-355(in Chinese with English abstract).
- [15] 唐华风, 程日辉, 游海涛. 山东大盛群的发育与沂沭断裂活动[J]. *长春科技大学学报*, 2001, 31(增刊):64-67.
Tang Huafeng, Cheng Rihui, You Haitao. Development of Dasheng formation and activity of Yishu fault in Shandong Province [J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 2001, 31 (supp.):64-67 (in Chinese with English abstract).
- [16] 司双印. 山东省大盛群孢粉组合及其年代地层意义 [J]. *地层学报*, 2002, 26(2):127-130.
Si Shuangyin. Polynological assemblage from the Dasheng Group and its significance in Shandong Province [J]. *Journal of Stratigraphy*, 2002, 26(2):127-130(in Chinese with English abstract).
- [17] 闫峻, 陈江峰, 谢智, 等. 鲁东晚白垩世玄武岩中的幔源捕虏体: 对中国东部岩石圈减薄时间制约的新证据 [J]. *科学通报*, 2003, 48(14):1570-1574.
Yan Jun, Chen Jiangfeng, Xie Zhi, et al. Mantle capture in late Cretaceous basalt in eastern Shandong: new evidence for time range of lithospheric thinning in eastern China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(14):1570-1574(in Chinese).
- [18] 姜在兴, 熊继辉, 王留奇, 等. 胶莱盆地下白垩统莱阳组沉积作用和沉积演化[J]. *石油大学学报*, 1993, 17(2):8-15.
Jiang Zaixing, Xiong Jihui, Wang Liuqi, et al. Sedimentology and evolution of lower Cretaceous Laiyang Formation in Jiaolai basin[J]. *Journal of the China University of Petroleum (Beijing)*, 1993, 17 (2):8-15(in Chinese with English abstract).
- [19] 肖丙建. 沂沭断裂带南段莱阳群的发现及其地质特征[J]. *山东地质*, 2001, 17(5):18-23.
Xiao Bingjian. Discovery of Laiyang Group and its geological characteristics in south part of Yishu Faults [J]. *Geology of Shandong*, 2001, 17(5):18-23 (in Chinese with English abstract).
- [20] 周江羽, 李思田, 杨世恭, 等. 胶莱盆地东北缘中生界粗碎屑岩段的沉积层序及含金性[J]. *沉积学报*, 1998, 16(1):140-146.
Zhou Jiangyu, Li Sitian, Yang Shigong, et al. Sedimentary sequence and gold-bearing behaviour of the Mesozoic coarse clastic member, northeast border of Jiaolai basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1998, 16(1):140-146(in Chinese with English abstract).
- [21] Allen P A, Allen J R. Basin Analysis Principles and Applications[M]. London:Blackwell Scientific Publications, 1990, 52-53, 263-281.
- [22] Scekler M S, Watts A B. Subsidence of the Atlantic-type continental margin of New York [J]. *Earth and Planetary Scientific Letters*, 1978, 41:1-13.
- [23] Athy L E. Density porosity and compaction of sedimentary of rocks [J]. *Bull Amer Assoc Petro Geol*, 1930, 14:1-24.
- [24] Watts A B. Tectonic subsidence, flexure and global changes of sea level[J]. *Nature*, 1982, 297:469-474.
- [25] 施炜, 张岳桥, 董树文, 等. 山东胶莱盆地构造变形及形成演化—以王氏群和大盛群变形分析为例 [J]. *地质通报*, 2003, 22 (5):325-334.
Shi Wei, Zhang Yueqiao, Dong Shuwen, et al. Tectonic deformation and formation and evolution of the Jiaolai basin, Shandong: a case study of a deformation analysis of the wangshi and dasheng groups [J]. *Geological Bulletin of China*, 2003, 22 (5):325-334 (in Chinese with English abstract).
- [26] 张岳桥, 赵越, 董树文, 等. 中国东部及邻区早白垩世裂陷盆地构造演化阶段[J]. *地学前缘*, 2004, 11(3):123-132.
Zhang Yueqiao, Zhao Yue, Dong Shuwen, et al. Tectonic evolution stages of the Early Cretaceous rift basins in Eastern China and adjacent areas and their geodynamic background [J]. *Earth Science Frontie*, 2004, 11(3):123-132(in Chinese with English abstract).
- [27] 何登发, 贾承造, 童晓光, 等. 叠合盆地概念辨析[J]. *石油勘探与开发*, 2004, 31(1):1-7.
He Dengfa, Jia Chengzao, Tong Xiaoguang, et al. Discussion and analysis of superimposed sedimentary basins [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2004, 31 (1):1-7 (in Chinese with

English abstract).

[28] 金之钧. 中国典型叠合盆地及其油气成藏研究新进展 (之一)[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5):553-562.

Jin Zhijun. Typical superimposed basins and their oil and gas reservoir formation analysis (part one) [J]. Oil and Gas Geology, 2005, 26(1):553-562(in Chinese with English abstract).

[29] 许贵忠, 周瑞, 闫臻, 等. 论胶东地区中生代岩石圈减薄的证据及其动力学机制[J]. 大地构造与成矿学, 2001, 25(4):368-380.

Xu Guizhong, Zhou Rui, Yan Zhen, et al. Discussion on evidence of Jiaodong Mesozoic crust thinning and its dynamic mechanism[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2001, 25 (4):368-380 (in Chinese with English abstract).

[30] 刘玉强. 再论胶莱盆地金矿的找矿方向—隐伏基底综合信息金成矿预测[J]. 中国地质, 2001, 28(11):14-19.

Liu Yuqiang. Further discussion of the direction in gold prospecting in the Jiaolai basin[J]. Geology in China, 2001, 28(11): 14-19(in Chinese with English abstract).

[31] 吴福元, 孙德有. 中国东部中生代岩浆作用与岩石圈减薄[J]. 长春科技大学学报, 1999, 29(4):313-318.

Wu Fuyuan, Sun Deyou. The Mesozoic magmatism and lithospheric thinning in east China [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 1999, 29 (4):313-318(in Chinese with English abstract).

[32] 吴福元, 孙德有, 张广良, 等. 论燕山运动的深部地球动力学本质[J]. 高校地质学报, 2000, 6(3):379-388.

Wu Fuyuan, Sun Deyou, Zhang Guangliang, et al. Deep geodynamics of Yanshan movement[J]. Geological Journal of China Universities, 2000, 6(3):379-388(in Chinese with English abstract).

Sedimentary-subsidence history and tectonic evolution of the Jiaolai basin, eastern China

LI Jin-liang¹, ZHANG Yue-qiao², LIU Zong-quan³,
REN Feng-lou³, YUAN Jia-yin¹

(1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;

2. Department of Earth Science, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China;

3. Geological Academy of Shengli Oil Field, Shandong Dongying 257000, Shandong, China)

Abstract: The prototype basin of the Jiaolai basin at different stages of its Cretaceous evolution and its tectonic origin have been reconstructed and determined based on the field observations of typical outcrop sections, interpretations of seismic profiles and borehole logging data and analysis of sedimentary and subsidence history of the Jiaolai basin and by following the principles and analytic methods for the study of modified and superimposed basins. The results show that the Jiaolai basin experienced three distinctive stages of sedimentation and subsidence during the Cretaceous. During the deposition of the Early Cretaceous Laiyang Group the prototype basin was mainly manifested by two NE-NNE-trending aulacogens: one developed along the Juxian-Zhucheng fault depression, and the other along the Mou-Ji fault zone. Their depocenters were controlled by the northern frontal fault zone of the Sulu orogenic belt and the Mou-Ji fault zone respectively. The deposition-subsidence rates during the stage underwent marked spatial differentiation. The maximum subsidence rates occurred along the axial zones of the aulacogens, reaching 200-350 m/Ma, and they decreased to ~60 m/Ma toward the slope zones on both sides. The Early Cretaceous Qingshan Group corresponds to a suite of intermediate-mafic to intermediate-acid volcanic rocks with a sequence of fluvio-lacustrine deposits of the Dasheng Group accumulated along the Yishu rift basin. This period was a stage of the typical continental rifting. The Jiaolai basin evolved to a volcanic basin, with a mean subsidence rate of 35-70 m/Ma. The prototype of the Late Cretaceous basin consisted of three half-grabens (i.e. the Laiyang, Gaomi and Zhucheng subbasins), whose subsidence was controlled by W-E-trending normal faults. These grabens were tectonically dextral pull-apart basins bounded on the west by the Tanlu fault and on the east by the Mou-Ji fault. During the stage the subsidence rates were relatively constant, being 63-73 m/Ma. Finally, the paper discusses the possible dynamic mechanisms in different stages of extension of this Cretaceous basin.

Key words: Jiaolai basin; Cretaceous; prototype basin; subsidence history; basin evolution

About the first author: LI Jin-liang, male, born in 1974, Ph.D candidate, engages in the research on basin analysis; E-mail: li-jin-liang@163.com.