

彭楠, 柳永清, 旷红伟, 等. 胶莱盆地早白垩世莱阳群沉积物源及地质意义[J]. 中国地质, 2015, 42(6): 1793-1810.

Peng Nan, Liu Yongqing, Kuang Hongwei, et al. Provenance of Early Cretaceous Laiyang Group in Jiaolai Basin and its significance[J]. Geology in China, 2015, 42(6): 1793-1810(in Chinese with English abstract).

## 胶莱盆地早白垩世莱阳群沉积物源及地质意义

彭楠<sup>1</sup> 柳永清<sup>1</sup> 旷红伟<sup>1</sup> 许欢<sup>1</sup> 章朋<sup>2</sup> 陈军<sup>3</sup> 安伟<sup>1</sup> 王能盛<sup>1</sup>

(1. 中国地质科学院地质研究所, 国土资源部地层与古生物重点实验室, 北京 10037; 2. 中国地质大学(北京) 地球科学与资源学院, 北京 100083; 3. 山东省地质科学实验研究院, 山东 济南 250013)

**摘要:**应用古流向、砾石成分及砂岩碎屑锆石定年方法,综合分析了胶莱盆地早白垩世莱阳群沉积时期的物源组成及其地质意义。古流向,五莲—诸城显示较稳定的N向,莱阳—乳山一带由早期的E-SE向逐渐转变为晚期W-NW向。砾石成分,五莲—诸城—胶州地区以花岗片麻岩、花岗岩、大理岩和石英岩为主,莱阳—乳山早期花岗岩砾石成分含量高,晚期成分复杂。碎屑锆石年龄分布主要集中在110~145 Ma, 150~180 Ma, 200~250 Ma, 600~950 Ma和1700~2600 Ma。由此推断胶莱盆地在早白垩世莱阳群沉积期的物源主要由三部分组成:①盆地南缘苏鲁造山带超高压-高压变质岩和浅变质杂岩;②盆地周缘燕山期(J<sub>2-3</sub>-K<sub>1</sub>)花岗岩;③北侧胶北隆起基底(亲华北型)变质岩。并且盆地物源组成表现出明显的区域差异性,这种差异说明当时苏鲁造山带的南、北段在抬升及抬升后可能存在着差异性的隆起和改造,表现为苏鲁造山带南段(南苏鲁造山带)隆升幅度大并且稳定,北段(北苏鲁造山带)表现出较为低缓的隆起或者局部的小隆起并且后期经历大规模的塌陷。另外,物源也指示早白垩世莱阳群沉积时期,胶莱盆地呈现出西高东低的古地貌特征,直到莱阳群沉积晚期,盆地东部才有所抬升。

**关键词:**物源;胶莱盆地;早白垩世;地质意义

中图分类号:P 588.21 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2015) 06-1793-18

## Provenance of Early Cretaceous Laiyang Group in Jiaolai Basin and its significance

PENG Nan<sup>1</sup>, LIU Yong-qing<sup>1</sup>, KUANG Hong-wei<sup>1</sup>, XU Huan<sup>1</sup>,  
ZHANG Peng<sup>2</sup>, CHEN Jun<sup>3</sup>, An Wei<sup>1</sup>, WANG Neng-sheng<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Stratigraphy and Paleontology, Ministry of Land and Resources; Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences; Beijing 100037, China; 2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 3. Shandong Institute of Geological Sciences, Jinan 250013, Shandong, China)

**Abstract:** Using the paleocurrents, gravels composition and detrital zircons age spectrum, the authors analyzed the provenance of

收稿日期:2014-10-21 ; 改回日期:2015-01-06

基金项目:国家自然科学基金项目(41372109, 90914003, 41272021)和中国地质调查局项目(12120114064301)联合资助。

作者简介:彭楠,男,1983年生,助理研究员,博士,从事晚中生代沉积、地层方面的研究;E-mail:pengnan19830120@126.com。

通讯作者:柳永清,男,1960年生,研究员,博士,从事中国北方晚中生代地层与盆地演化研究;E-mail:liuyongqing@cags.ac.cn。

Early Cretaceous Laiyang Group in Jiaolai basin and its geological significance. The paleocurrents show a stable northward direction in Wulian–Zhucheng, but gradually change from E–SE at the early stage to W–NW at the late stage in Laiyang–Rushan. Gravels in Wulian–Zhucheng–Jiaozhou comprise mainly granite gneiss, granite, marble and quartzite; in Laiyang–Rushan, however, granites are dominant at the early stage and multiple gravels are present at the late stage. Detrital zircons ages are primarily distributed in the ranges of 110–145 Ma, 150–180 Ma, 200–250 Ma, 600–950 Ma and 1700–2600 Ma, whereas Paleozoic zircons are rarely seen. All these features indicate that there existed three main sources for Early Cretaceous Jiaolai Basin: ① HP–UHP metamorphic rocks and shallow metamorphic complex of Sulu orogen, ② Yanshanian granites ( $J_{2-3}$ – $K_1$ ), and ③ Metamorphic rocks from the Jiaobei uplift. Additionally, the regional difference of provenance is apparent, which suggests the southern part and the northern part of Sulu orogenic belt experienced different orogenic processes. The southern Sulu orogenic belt experienced large-scale uplift and was stable, whereas the northern Sulu orogenic belt was subjected to small-scale uplift and collapsed at the late stage. It is also concluded from the provenance that the ancient landform of Jiaolai basin in the southwest was higher than in the east during the sedimentation of Early Cretaceous Laiyang Group until the late stage of the sedimentation when the east part of the basin was uplifted.

**Key words:** provenance, Jiaolai Basin, early Cretaceous, geological significance

**About the first author:** PENG Nan, male, born in 1983, assistant researcher, mainly engages in the study of the Late Mesozoic sedimentary geology and paleontology and stratigraphy; E-mail: pengnan19830120@126.com.

**About the corresponding author:** LIU Yong-qing, male, born in 1960, senior researcher, engages in the study of the Late Mesozoic strata in northern China and the basin evolution; E-mail: liuyongqing@cags.ac.cn.

胶莱盆地位于华北克拉通东部,形成于早白垩世早—中期,此时也是增厚的华北克拉通岩石圈发生垮塌和减薄的强烈时期,由于其处在特殊的大地构造位置,因此也就成为研究、解译华北晚中生代重大地质事件发生历程的重要地区。对于胶莱盆地的研究由来已久,涉及盆地白垩纪地层的划分与对比<sup>[1-3]</sup>、沉积特征及演化<sup>[4-6]</sup>、构造特征解释<sup>[7-14]</sup>、深部结构<sup>[15]</sup>等方面,同时也对盆地的性质提出了诸如构造拉分盆地、伸展断陷盆地等多种模式<sup>[13,16-17]</sup>,虽然对该盆地的成因和形成的动力学背景至今未有统一的认识,但这些问题研究与探讨无疑提高了地质工作者对胶莱盆地的认知程度。可是,有关沉积盆地物源示踪方面的研究就略显薄弱,虽然最近对物源组成及来源已经开展了一些工作,也取得了一定程度的认识<sup>[18-19]</sup>,但是还存在一些未能得到充分关注的问题,比如笔者在对盆地南缘物源成分的调查中就发现其存在明显的区域差异特征,那么造成这一现象的原因是什么?又蕴含着怎样的地质意义?物源对苏鲁造山带的隆升时限及过程特征有何限定意义?此外,物源分析也是恢复原型盆地、重现盆山格局的一种技术手段。

## 1 地质背景

胶莱盆地西以郯庐断裂带中段的沂沭裂谷带

为界,南侧为苏鲁造山带,北侧为胶北隆起(图1),是一个经历多阶段构造演化和改造作用的白垩纪陆相沉积盆地。

胶北隆起主要由前寒武纪变质基底、中生代岩浆岩和白垩纪沉积-火山岩组成。前寒武纪变质岩系包括新太古代胶东群,古元古代荆山群、粉子山群和新元古代蓬莱群<sup>[20-22]</sup>。中生代花岗岩主要由黑云母花岗岩和花岗闪长岩组成,时代多在160~150 Ma和130~110 Ma<sup>[23-25]</sup>。苏鲁造山带主要由北部的超高压榴辉岩相变质带(正、副片麻岩、大理岩、榴辉岩和石榴橄榄岩),南部的高压蓝片岩相变质带(石英-云母片岩、硬绿泥石-蓝晶石-云母-石英片岩、大理岩和少量的蓝片岩)<sup>[19,26]</sup>以及与胶北隆起岩浆岩时代(150~160 Ma和125~105 Ma两期)相似的中生代侵入岩组成<sup>[27-31]</sup>。此外,还发育有与华北地块和扬子地块碰撞,以及碰撞深俯冲后大陆地壳拆沉作用有关的时代在225~205 Ma的花岗岩<sup>[31-33]</sup>。

盆地内以中—新生代陆相火山-沉积岩建造为主,白垩纪地层由下至上划分为下白垩统莱阳群和青山群,上白垩统王氏群。莱阳群不整合覆盖在基底变质岩之上,以灰绿色砾岩、灰紫色-黄绿色砂岩、粉砂岩、泥岩为主的河流-湖泊相沉积物。青山群为一套中基性火山岩、酸性火山岩及火山碎屑岩。王氏群主要由红色砂岩、砂质砾岩、粉砂岩等

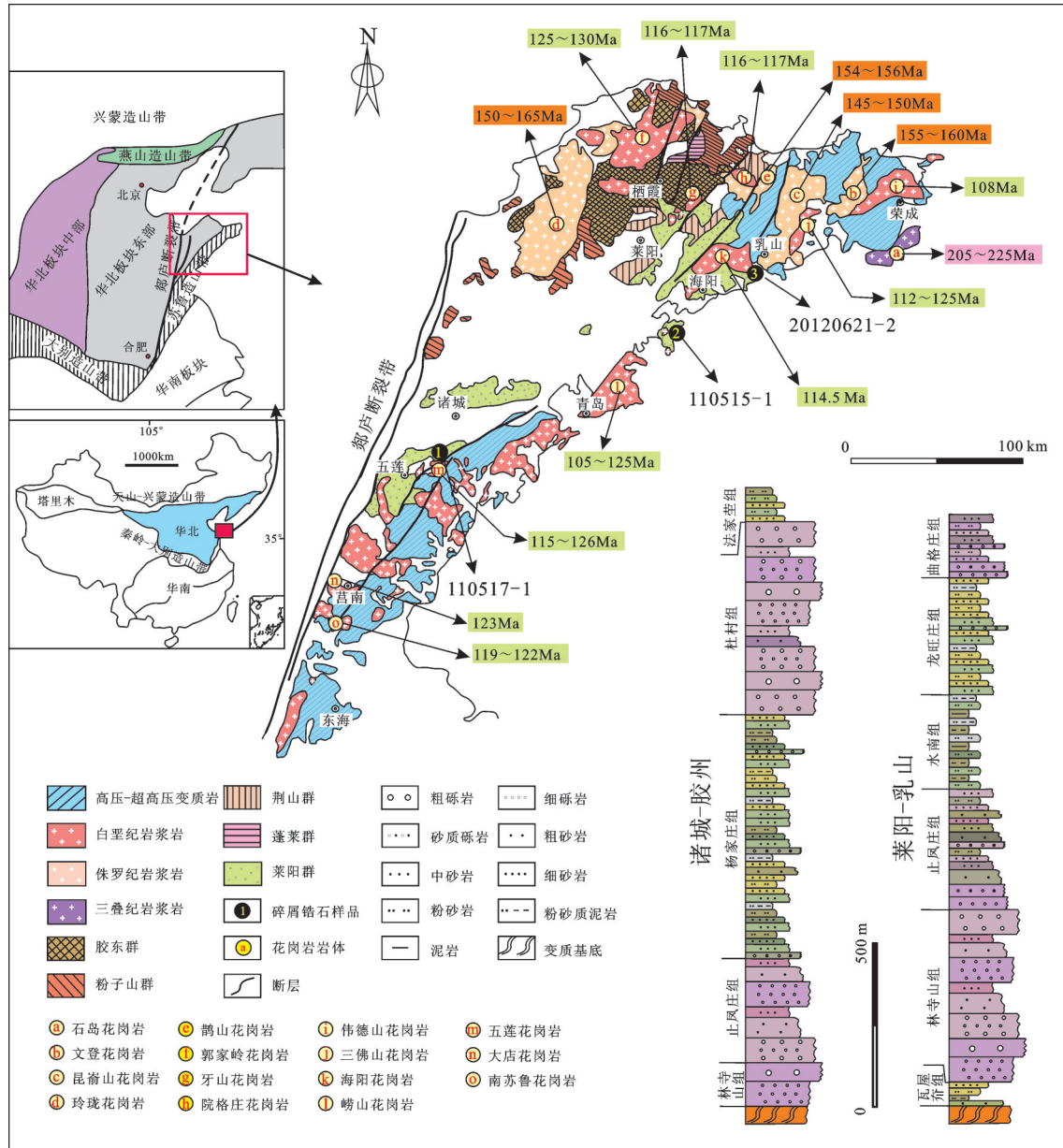


图1 鲁东胶莱盆地区域地质简图(据文献[19]修改)

(数据来源: a-[31-33]; b-[31]; c-[14, 28, 31]; d-[24, 27]; e-[14]; f-[25,27]; g-[34]; h-[31, 34]; i-[31]; j-[14, 31]; k-[14]; l-[29-30]; m-[30]; n-[30]; o-[35])

Fig. 1 Geological sketch map of Jiaolai Basin, Eastern Shandong Province (modified after [19])

(Data sources: a-[31-33]; b-[31]; c-[14, 28, 31]; d-[24, 27]; e-[14]; f-[25,27]; g-[34]; h-[31, 34]; i-[31]; j-[14, 31]; k-[14]; l-[29-30]; m-[30]; n-[30]; o-[35])

碎屑岩组成。通过对莱阳群下部玄武质火山岩夹层进行年代学分析,其沉积时代始于130 Ma之前<sup>[14]</sup>。

## 2 胶莱盆地早白垩世地层沉积特征

莱阳群由瓦屋乔组、林寺山组、止凤庄组、水南组、杨家庄组、龙旺庄组、曲格庄组、杜村组、法家堡

组构成<sup>[2]</sup>。

底部瓦屋乔组为盆地初期沉积物(图2-A),主要发育于盆地东部的莱阳地区,与古元古界荆山群角度不整合接触,以灰绿、黄绿色粉砂岩、页岩、细砂岩为主,底部为砾岩或粗砂岩,沉积环境主要以河流相为主。

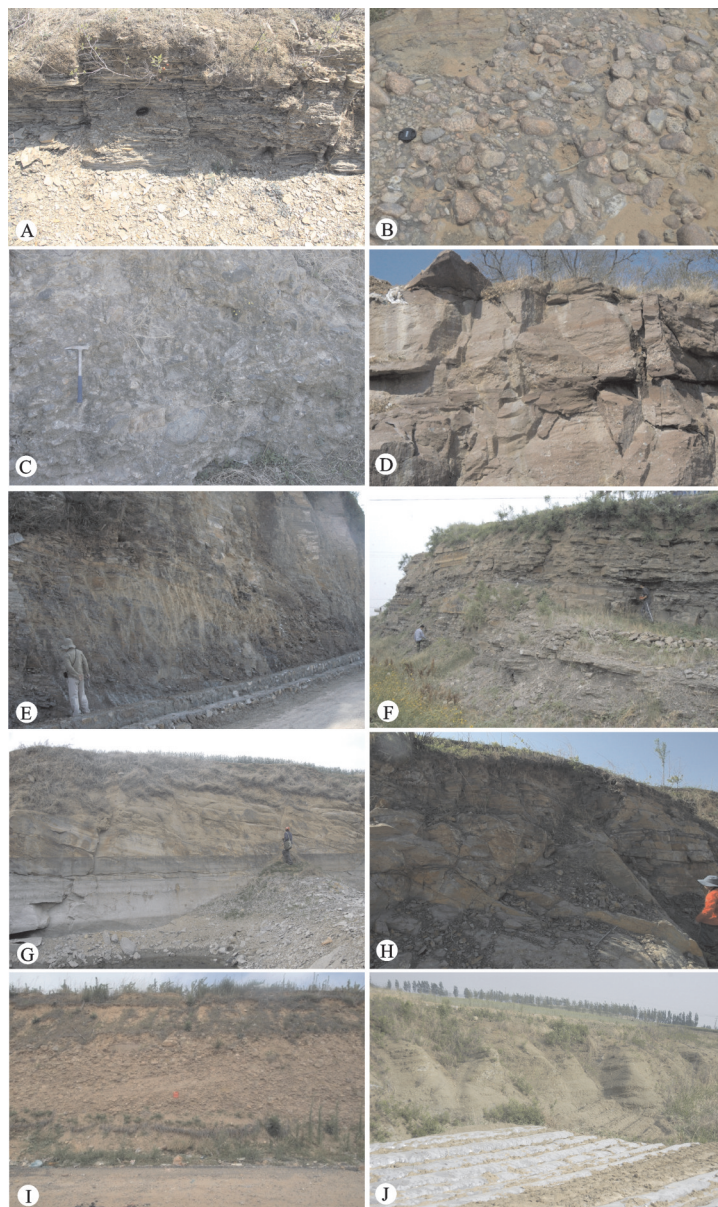


图2 胶莱盆地早白垩世岩石地层沉积特征

A—莱阳东部瓦屋夼村瓦屋夼组粉砂岩与粉砂质泥岩薄互层; B—诸城南部的郝戈庄林寺山组砾岩, 砾石成分以花岗片麻岩为主, 次圆—圆状, 分选差; C—莱阳东部黄崖底林寺山组砾岩; D—莱阳东部瓦屋夼村止凤庄组, 浅红棕色含砾粗砂岩夹细砾岩透镜体或条带; E—莱阳东部瓦屋夼村水南组, 灰色钙质泥岩与灰黄色泥质粉砂岩薄互层; F—莱阳西南部团旺镇龙王庄组, 灰黄色细砂岩与粉砂岩互层; G—诸城南杨家庄组灰黄色钙质细砂岩; H—烟台市东南照格庄曲格庄组, 浅灰色含砾粗砂岩夹细砾岩透镜体或条带; I—胶州杜村镇杜村组, 厚层灰黄色中—粗砾岩, 砾石成分以花岗片麻岩、石英岩为主, 次圆—圆状, 分选差; J—诸城南部的法家堍组, 浅绿色粉砂质泥岩—泥岩

Fig. 2 Sedimentary characteristics of the Lower Cretaceous strata, Jiaolai Basin

A—Siltstone and silty mudstone, Wawukuang Formation, Wawukuang Village, east of Laiyang; B—Conglomerate from Linsishan Formation, Haogezhuang Village, south of Zhucheng and gravels are given priority to granite gneiss, subrounded—rounded, poorly sorted; C—Conglomerate from Linsishan Formation, Huangyadi Village, east of Laiyang; D—Red brown pebbly coarse sandstones with fine conglomerate lenses or stripes from Zhifengzhuang Formation, Wawukuang Village, east of Laiyang; E—Gray calcareous mudstone and grayish yellow muddy siltstone from Shuinan Formation, Wawukuang Village, east of Laiyang; F—Grayish yellow fine sandstone and siltstone from Longwangzhuang Formation, Tuanwang Town, southeast of Laiyang; G—Grayish yellow calcareous fine sandstone from Yangjiazhuang Formation, south of Zhucheng; H—Grayish pebbly coarse sandstones with conglomerate lenses or stripes from Qugezhuang Formation, Zhaogezhuang Village, southeast of Yantai; I—Thick grayish yellow medium—coarse conglomerate from Ducun Formation, Ducun Town, Jiaozhou and gravels are given priority to granite gneiss and quartzite, subrounded—rounded, poorly sorted; J—Light green sandy mudstone and mudstone from Fajiaying Formation, south of Zhucheng

下部林寺山组和止凤庄组为一套冲积扇—河流环境的粗碎屑沉积物(图2-B、C、D)。西部诸城地区其超覆不整合在荆山群之上,岩性以灰紫色、灰褐色粗—巨砾岩为主,夹中砾岩及粗砂岩,向上演变为—套河流相沉积物(止凤庄组),由灰黄色、棕色中—细砾岩、中—粗砂岩夹细砂岩、粉砂岩组成。东部莱阳地区林寺山组与下伏瓦屋夬组整合接触。

随后沉积盆地进入湖泛期,主要发育一套细粒沉积物(图2-E)。在莱阳地区表现为灰绿色、灰黑色、黄绿色粉砂岩、页岩、泥岩为主的湖泊相沉积(水南组),其与下伏止凤庄组整合接触。同时,由于盆地基底局部的凸起或在湖泛晚期,在盆地的局部地区发育有河流—三角洲相沉积(杨家庄组和龙旺庄组)(图2-F、G),如在莱阳—海阳地区除湖泛早期的水南组沉积外,晚期发育有龙旺庄组,为一套灰绿色、灰褐色的中—细粒砂岩,夹粉砂岩,页岩和少量砾岩的三角洲相沉积,而在诸城—胶州地区,以三角洲相砂岩为主,夹含砾砂岩及少量粉砂岩(杨家庄组),其与东部莱阳地区的水南组和龙旺庄组是部分横向相变关系。

晚期为湖泊萎缩,主要以河流—冲积扇为主(曲格庄组、杜村组)(图2-H、I),局部残余滨浅湖相(法家莹组)(图2-J)。曲格庄组在诸城和莱阳—海阳地区发育,诸城地区为杂色砂砾岩夹泥岩、粉砂岩和细砂岩,莱阳—海阳地区以紫灰色砾岩、灰白色岩屑砂岩和紫色粉砂岩为主,河流的二元结构特征比较明显,均为河流相沉积,在胶州一带则发育杜村组,以粗砾岩、含砾粗砂岩或粗砂岩,属山麓洪积扇沉积,法家莹组发育于诸城—胶州一带,以黄绿色薄层细砂岩、粉砂岩、紫色泥岩为主,属于莱阳群沉积末期,湖盆大部分被淤塞后的局部低洼地带的滨浅湖沉积。

### 3 研究方法

此次物源判别主要利用古流向、砾岩中砾石组分和砂岩碎屑锆石年龄谱的综合手段来分析,具体数据统计方法如下。

古流向判别,依靠对砾岩中砾石的叠瓦构造和砂岩中斜层理(板状交错层理和楔状交错层理)的测量和分析,恢复盆地的古流向。为保证数据的合

理性和科学性,每个可测量点斜层理数据不少于20个,叠瓦构造数据不少见50个,并且可测量点位置尽可能分散,避免区域性的集中统计带来的数据片面性的误差。同时根据数据采集位置和层位的差异,在室内进行分别的统计和分析工作。本次古流向采集的层位包括林寺山组、止凤庄组、杨家庄组、龙旺庄组、杜村组和曲格庄组。

砾岩砾石成分的判别,通过分析砾岩中砾石成分类型及其含量的变化,进而判断物源剥蚀区岩石类型和剥蚀过程。在野外对1 m<sup>2</sup>面积内的砾石进行成分统计,统计颗粒数目>120颗/m<sup>2</sup>,同时记录砾石的大小及磨圆程度。此次采集的层位包括林寺山组、止凤庄组、杨家庄组、杜村组和曲格庄组。

砂岩碎屑锆石年龄频谱分析是近些年来一种新的物源判别方法,利用砂岩中碎屑锆石年龄峰值区及其之间的变化和差异,并结合周边相关地质体的时代,进而判断物源剥蚀体。此次采集的3件样品分别是诸城南部的止凤庄组(110517-1)、即墨东南部的杨家庄组(110515-1)和乳山东南部的止凤庄组(20120621-2)(图1)。具体方法为:室内先将岩石样品粉碎至120目以下,用常规的人工淘洗和电磁选方法富集锆石,再在双目镜下手工逐个精选锆石颗粒。锆石样品的制靶工作在中国地质科学院地质研究所离子探针中心完成。锆石经过透射光、反射光和阴极发光成像来判断其内部结构。LA-ICP-MS锆石U-Pb定年测试在中国地质科学院国家地质实验测试中心完成。分析仪器为Thermo Element II型MC-ICP-MS及与之配套的New wave UP 213激光剥蚀系统。激光剥蚀所用斑束直径为30 μm,频率为10 Hz,能量密度为12~13 J/cm<sup>2</sup>,以He为载体。LA-ICP-MS激光剥蚀采用单点剥蚀的方式,锆石U-Pb定年以锆石91500外标,U、Th含量以锆石M257为外标进行校正。数据处理采用Glitter 4.0程序,锆石年龄谱和图用Isoplot 3.0程序完成。对于小于1000 Ma年龄因用于可放射性成因的Pb含量低和普通Pb校正的不确定性,采用误差较小的<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U及其1σ对应的年龄;大于1000 Ma的年龄因含有大量放射性成因Pb,因而采用精度更高的<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb及其1σ对应的年龄。年龄结果中大于1000 Ma的年龄采用100×(<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb年龄)/(<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄)、小于1000 Ma的年龄采用100×

( $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄)/( $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄) 分别计算锆石测年结果的谐和度,此次分析讨论排除了谐和度大于110和小于90的年龄。

## 4 结 果

### 4.1 古流向

林寺山组沉积时期,五莲—诸城地区显示 NWW-N 古流向(图3-A),表明古水流来自南部为主,暗示此时该地区南高北低的古地貌特征;莱

阳及莱阳北侧地区古流向显示为 S 或 SW 向(图3-A),表明以北部古水流体系的影响为主,呈现北高南低的面貌;而莱阳东南部存在稳定的由南向北的古水流,海阳—乳山地区古水流则以 NE-SEE 方向为主(图3-A)。

止风庄组沉积时期,莱阳地区显示同时受到 N 和 S 两个方向的古水流影响(图3-B);而莱阳东南部、海阳—乳山地区均表现出较为一致的 E-SE 向古水流(图3-B)。

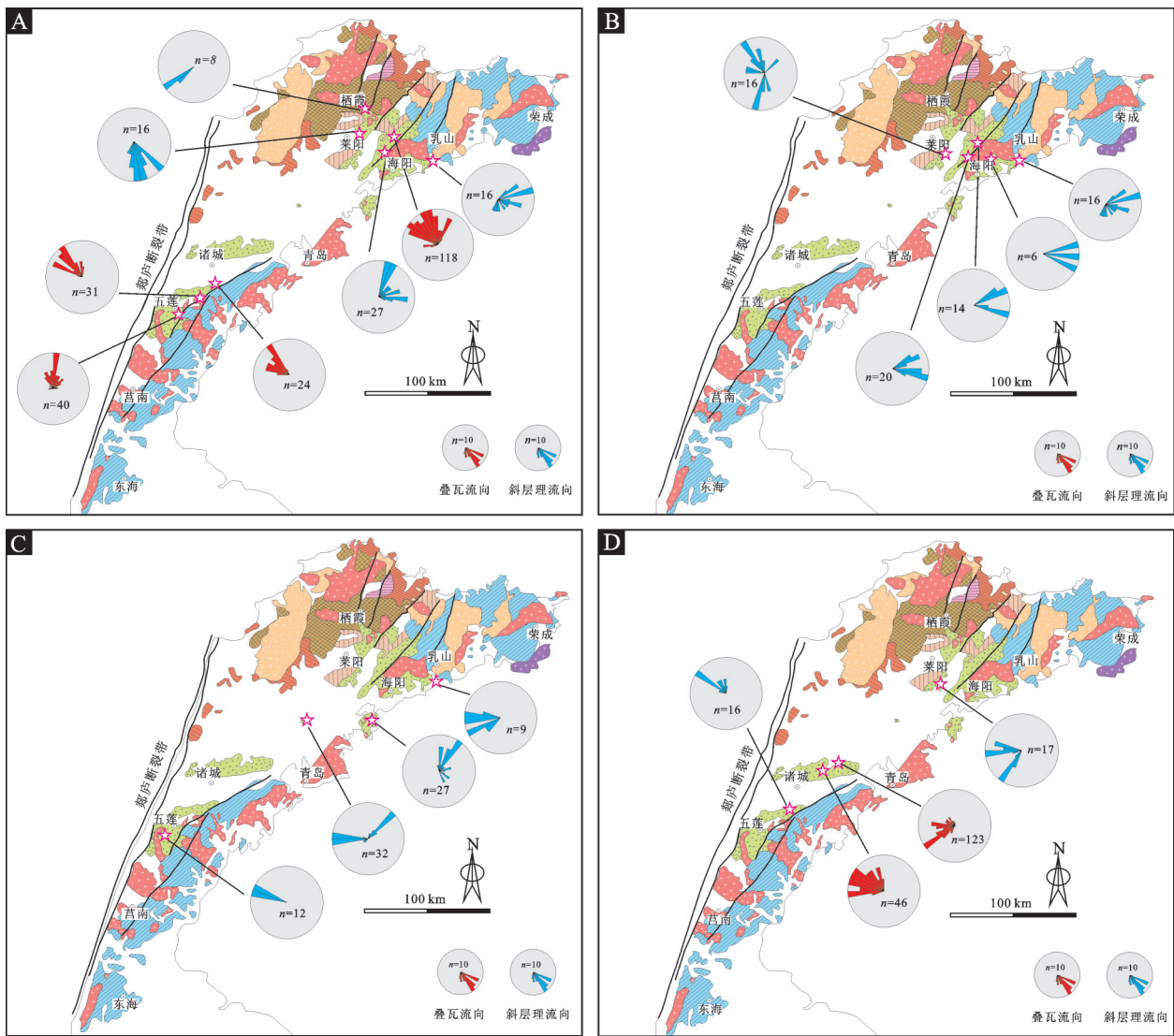


图3 胶莱盆地早白垩世莱阳群古流向特征

A—林寺山组;B—止风庄组;C—杨家庄组和龙旺庄组

Fig.3 Paleocurrent of the Early Cretaceous Laiyang Group, Jiaolai Basin

A—Linsishan Formation; B—Zhifengzhuang Formation; C—Yangjiazhuang Formation and Longwangzhuang Formation;

D—Ducun Formation and Qugezhuang Formation

杨家庄组—龙旺庄组沉积时期,五莲地区显示NNW向古流向(图3-C),这与林寺山组沉积时期该地区的古流向是类似的,推断当时该地区的古地貌特征、古水流体系未发生重大改变。而在乳山—海阳西—即墨一带表现为E或NW向的古水流(图3-C)。

杜村组—曲格庄组沉积时期,诸城地区以NNW向的古流向(图3-D),而胶州和莱阳地区表现为NW向(图3-D)。

总之从古流向来看,早白垩世盆地西部的五莲

—诸城地区发育相对比较稳定的由南向北的古水流体系,而盆地东部古水流方向时而杂乱,时而稳定,反映当时盆地东部古地貌的不稳定性。

#### 4.2 砾石组分

林寺山组沉积时期,五莲—诸城地区的砾岩中以含花岗片麻岩、花岗岩、大理岩砾石为主,少量的片岩、石英岩和辉长岩砾石(图4-A,图5-A,5-B)。海阳地区与五莲—诸城地区的砾石成分相似,但在乳山地区则以花岗岩砾石为主(图4-A)。

止风庄组沉积时期,莱阳地区砾岩砾石成分以

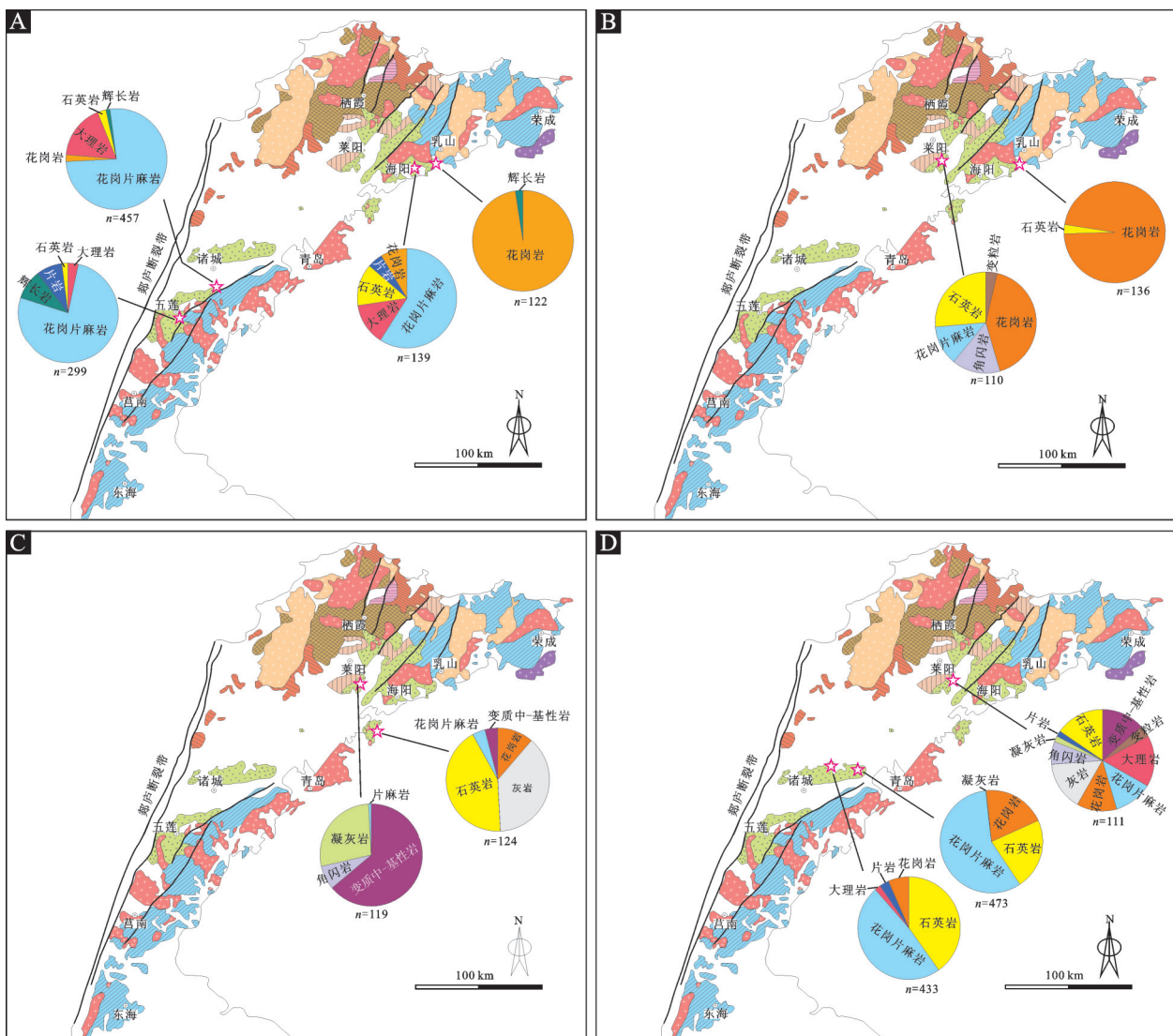


图4 胶莱盆地早白垩世莱阳群砾岩砾石成分演变特征  
(A—林寺山组;B—止风庄组;C—杨家庄组;D—杜村组和曲格庄组)

Fig.4 The variation of gravel composition in the Early Cretaceous Laiyang Group, Jiaolai Basin  
(A—Linsishan Formation; B—Zhi Feng Zhuang Formation; C—Yangji Zhuang Formation; D—Ducun Formation and Quegezhuang Formation)

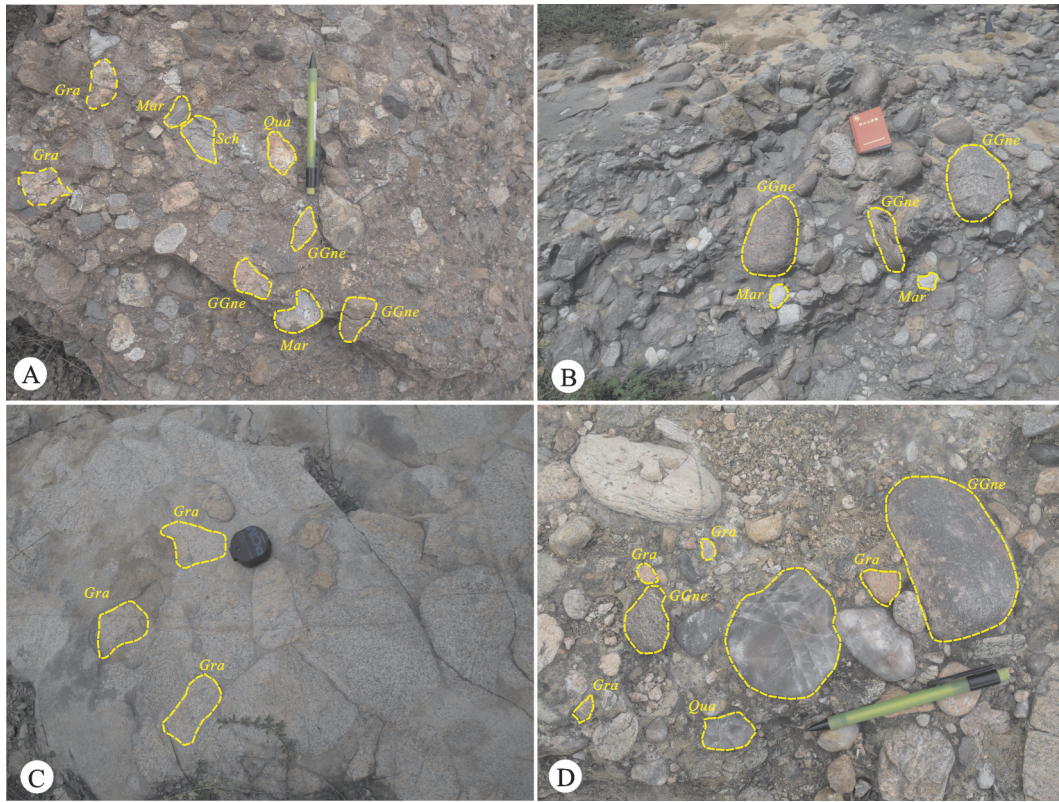


图5 胶莱盆地早白垩世莱阳群砾岩砾石特征

A—五莲地区林寺山组; B—诸城地区林寺山组; C—胶州地区杜村组; D—乳山地区止凤庄组; Gra—花岗岩; Mar—大理岩; Qua—石英岩; GGne—花岗片麻岩; Sch—片岩

Fig.5 Gravel composition of Early Cretaceous Laiyang Group, Jiaolai Basin

A—Linsishan Formation; B—Zhifengzhuang Formation; C—Yangjiashuang Formation; D—Ducun Formation and Qugezhuang Formation

石英岩、花岗岩、角闪岩、花岗片麻岩为主,少量变粒岩和石英岩状砂岩(图4-B);乳山地区则仍以花岗岩砾石为主(图4-B,图5-D)。

杨家庄组沉积时期,莱阳地区砾岩砾石以玄武安山岩、安山岩等中基性火山岩及凝灰岩砾石为主,少量角闪岩和花岗片麻岩砾石(图4-C);而海阳西部地区的砾岩则以灰岩、石英岩、花岗岩砾石为主,少量花岗片麻岩和中基性火山岩砾石(图4-C)。

杜村组—曲格庄组沉积时期,胶州地区以花岗片麻岩、石英岩、花岗岩砾石为主,(图4-D,图5-C);而莱阳地区砾岩的砾石成分较为复杂,大理岩、灰岩、花岗岩、花岗片麻岩、角闪岩、石英岩等均有(图4-D)。

总体来看,早白垩世盆地西部的五莲—诸城—胶州一带砾岩砾石成分主要由花岗片麻岩、花岗岩、石英岩组成,而在盆地东部,特别是乳山地区砾岩由含量极高的花岗岩砾石组成,表明盆地东西部

的物源组成有所差异。

#### 4.3 碎屑锆石年代

此次采集砂岩样品中碎屑锆石以自形—半自形晶为主,多呈柱状。阴极发光图像显示,多数锆石发育震荡生长环带,并具有相对较高的Th/U比值,指示为岩浆锆石;同时也有少量锆石呈现出无结构或补丁状特点,阴极发光显示其通体呈灰白色或灰黑色(图6),Th/U比值相对较低,表明可能经历了后期的变质重结晶或流体的改造作用。

##### (1) 样品 110517-1

采自诸城南部下白垩统止凤庄组的砂岩样品110517-1中的大多数锆石粒度在100~150 μm,少数超过150 μm。锆石外形次棱角—次圆状,多数保持较自形的棱柱状(图6),指示较差的磨圆和较近的源区。在107颗锆石颗粒上分析了107个点,其中93个不谐和度小于10%的分析点被选入进行年龄统计(图7)。CL图像显示测试分析的锆石多数



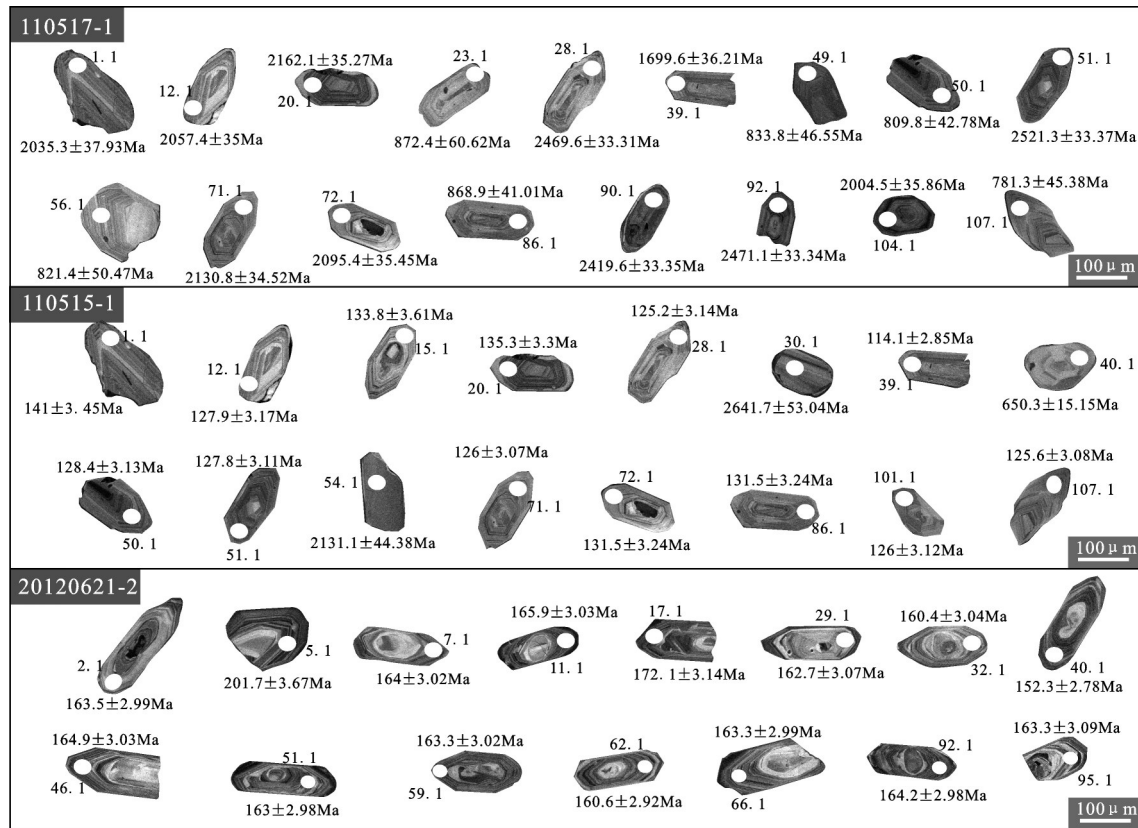


图6 胶莱盆地早白垩世莱阳群砂岩典型碎屑锆石CL图像

Fig.6 Typical detrital zircon cathodoluminescence (CL) images of sandstones from Early Cretaceous Laiyang Group in Jiaolai Basin

具有明显的震荡环带结构,同时具有高的Th/U比值,为岩浆成因,个别的锆石结构不明显,表明可能为变质成因锆石。这些分析点的年龄值分布在753.9~2570.3 Ma区间内,集中在三个峰值区750~900 Ma,1900~2100 Ma和2100~2600 Ma(图8)。其中750~900 Ma的锆石42颗,Th/U值绝大多数>0.60,个别颗粒在0.20~0.40;年龄在1900~2100 Ma的锆石32颗,同样多数锆石具有高的Th/U值,个别颗粒<0.10;2100~2600 Ma的锆石19颗,Th/U值绝大多数在0.10~0.60,个别颗粒>0.60,表明其可能经历了变质重结晶作用。

(2) 样品 110515-1

取自即墨东南部下白垩统杨家庄组的钙质砂岩110515-1中的锆石颗粒大小较为均匀,多在100~130 μm,外形呈现次棱角-次圆状(图6)。CL图像显示多数锆石为具有震荡环带的岩浆锆石,并具有高的Th/U。在107颗锆石颗粒上分析测试了107个点,其中96个不谐和度小于10%的分析点被选入进

行年龄统计(图7)。这些分析点的年龄值分布在114~2680.8 Ma,集中在114~145 Ma(46颗)和200~250 Ma(17颗)两个年龄峰值区,另外,还有4颗锆石年龄在150~190 Ma,1颗锆石年龄303 Ma,1颗锆石年龄413 Ma,9颗锆石年龄在600~950 Ma,7颗锆石年龄在1700~1950 Ma,11颗锆石年龄在2000~2700 Ma(图8)。但是也有少量锆石特别是年龄段在200~240 Ma,Th/U值多小于0.60,甚至小于0.30,说明其部分锆石可能经历了变质作用,也有个别的锆石内部结构呈现均一性,反映其很可能为变质成因锆石。

(3) 样品 20120621-2

取自乳山东南部下白垩统的止凤庄组砂岩20120621-2中的锆石多为次棱角长柱状或棱柱状的自形晶,粒度大小主要在140~200 μm,显示其较差的磨圆,可能来自较近的源区。CL图像显示多数锆石为具有震荡环带或扇形结构的岩浆锆石(图6),并具有高的Th/U。在98颗锆石颗粒上分析测

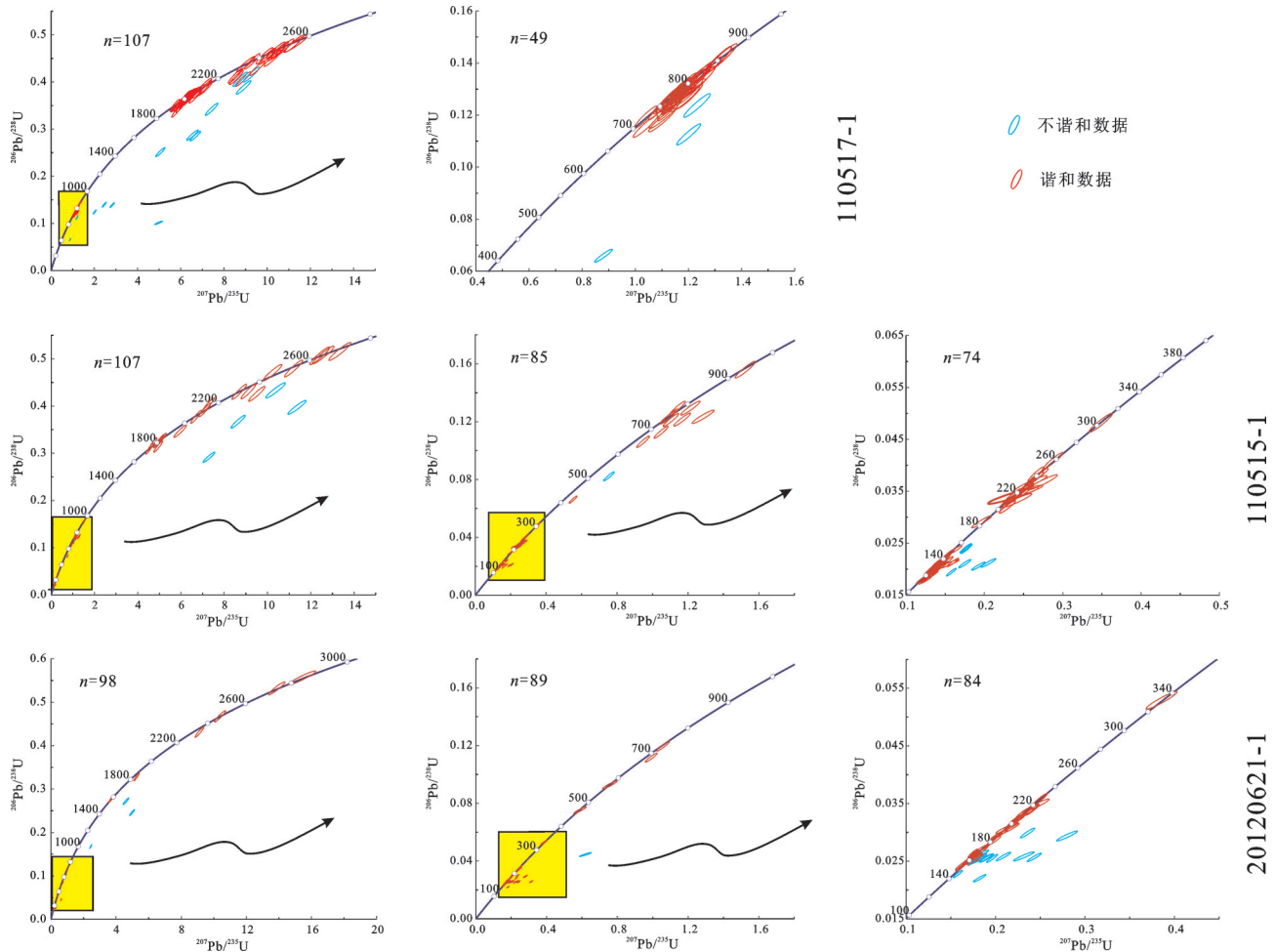


图7 胶莱盆地早白垩世莱阳群砂岩碎屑锆石U-Pb年龄谐和图  
Fig.7 U-Pb concordia diagrams of zircons from Lower Cretaceous Laiyang Group, Jiaolai basin

试了98个点,其中81个不谐和度小于10%的分析点被选入进行年龄统计(图7)。这些分析点的年龄值分布在145.2~2943.5 Ma, 150~180 Ma区段锆石最多(49颗),主要集中在150~165 Ma。另外,1颗145.2 Ma锆石,17颗锆石年龄在200~230 Ma,1颗291.8 Ma锆石,1颗332.4 Ma锆石,1颗468 Ma锆石,2颗500~600 Ma锆石,3颗600~800 Ma锆石,6颗>1700 Ma锆石(图8)。

归纳之,研究区下白垩统砂岩碎屑锆石年龄主要集中在早白垩世114~145 Ma,中晚侏罗世150~180 Ma,三叠纪200~250 Ma,新元古代750~900 Ma,古元古代—太古宙晚期1900~2600 Ma,零星出现古生代年龄的锆石。对比周边的地质体,盆地南北两侧分布的大量前寒武纪变质岩基底、燕山期花岗岩<sup>[23-25, 27-31, 36]</sup>和少量的三叠纪花岗岩<sup>[31-32]</sup>,这些都

可能成为胶莱盆地早白垩世沉积物的物源。

## 5 物源分析

### 5.1 五莲—诸城地区

五莲—诸城地区及其东部的胶州一带的砾岩均表现出的以花岗片麻岩、大理岩和片岩为主的砾石成分,与苏鲁造山带上主要分布的岩石组合类型相似。同时,大量的750~900 Ma扬子型碎屑锆石的出现以及较为稳定的由南向北的古水流,都表明苏鲁造山带在盆地形成时已经隆起,并成为其主要的物源区,这同前人的研究认识是一致的<sup>[18-19]</sup>。另外,少量来自1900~2200 Ma的碎屑锆石,其形成时代明显早于华北克拉通1800 Ma左右的岩浆热事件,也主要来自于扬子克拉通地区<sup>[37-38]</sup>。而零星的2400~2600 Ma间的碎屑锆石,则主要来自于亲华北的胶

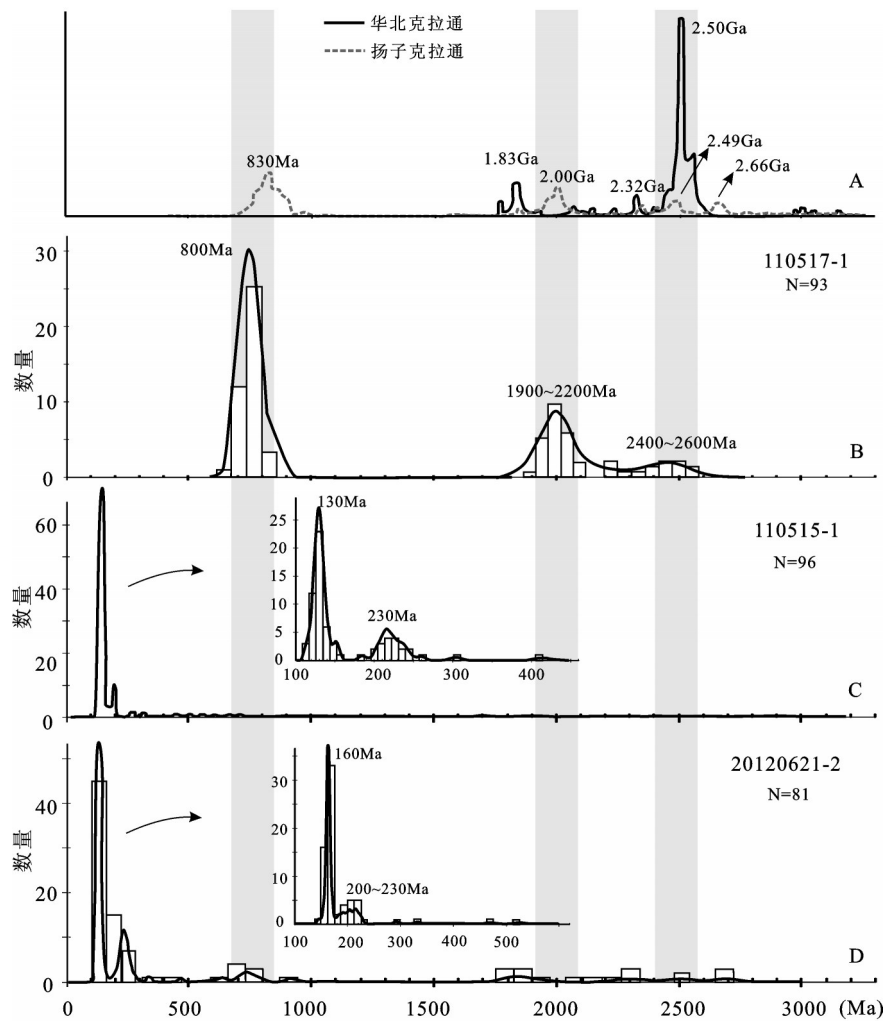


图8 胶莱盆地早白垩世砂岩碎屑锆石U-Pb年龄谱特征(图A数据引自[44])  
 Fig.8 U-Pb age histograms of detrital zircons of Early Cretaceous samples from the Jiaolai basin  
 (data in Fig. 8A after reference [44])

北隆起早前寒武纪古老基底<sup>[39]</sup>(图8)。由此来看,早白垩世莱阳期五莲—诸城地区的物源由来自苏鲁造山带的高压—超高压变质岩、浅变质杂岩等组成。除此外,该区内还发现有少量的辉长岩砾石,同时在东部乳山地区也有少量发现,这些可能源自苏鲁造山带内中生代中期侵入的基性岩体,如威海—乳山—荣成地区发育的年龄在211~213 Ma的碱性辉长岩<sup>[31]</sup>。

### 5.2 莱阳地区

止风庄组沉积时期,莱阳地区砾石成分主要由花岗岩、花岗片麻岩、石英岩、角闪岩为主,南、北双向的古流向,以及大量的700~800 Ma<sup>[19]</sup>和150~170 Ma碎屑锆石的出现,均表明其当时应该受到两个

物源区的同时控制,北部的胶北隆起基底变质岩、晚侏罗世花岗岩体和南部苏鲁造山带的高压—超高压变质岩。杨家庄组沉积时期,莱阳地区还出现了大量的变质中—基性岩砾石,这些成分来自古元古代侵入到胶东荆山群、粉子山群和太古宙变质基底,后遭绿片岩相—角闪岩相变质的中—基性侵入岩<sup>[40]</sup>。另外,在砾石中还有不少凝灰岩组分,尽管胶莱盆地内以安山岩、流纹岩、凝灰岩等为主的一套火山岩建造主要发育在早白垩世晚期(青山群),晚于莱阳群发育的主体时间,但是在莱西地区已发现有侵位于水南组中的130 Ma的玄武质火山岩<sup>[14]</sup>,说明在莱阳组沉积的早期盆地内也存在火山岩喷发,并可能成为莱阳期沉积后期的物源。至曲格庄组沉

积时期,莱阳地区的砾石成分复杂多样,说明当时由多个物源区向其提供物源。

### 5.3 即墨—海阳—乳山地区

林寺山组—止风庄组沉积时期,海阳地区存在与诸城—五莲地区相似的变质岩砾石组成及古水流流向,暗示其二者拥有共同的物源区。但在乳山地区花岗岩砾石占据了绝对优势,同时其碎屑锆石年龄显示峰值区在中晚侏罗世,古水流以向东为主,明显不同于诸城—五莲地区,说明两个地区拥有不同的物源区。乳山地区的物源应主要来自燕山早期的花岗岩,另外,乳山地区砂岩中的碎屑锆石颗粒形态多以棱角—次棱角状为主(图6),说明是近源沉积,未经历长距离的搬运,结合古流向推断其应来自乳山西部发育的花岗岩体。此外,少量200~250 Ma的碎屑锆石与苏鲁造山带东端石岛杂岩的形成年龄相近<sup>[41]</sup>,表明中晚三叠世华南与华北板块后碰撞花岗岩也是其物源组成。

杨家庄组沉积时期,海阳西部地区的砾岩中花岗岩砾石成分相对减少,但是砂岩中碎屑锆石年龄却集中在120~130 Ma,而中晚侏罗世年龄段的锆石微量,这与乳山地区的特征不一致,这可能是此时燕山晚期(早白垩世)花岗岩体取代燕山早期(中晚侏罗世)的花岗岩体成为主物源,或者是两个地区分别受到不同近物源体影响所致。

另外,此次在杨家庄组沉积物中还发现有灰岩砾石,虽然前人认为其来自扬子陆块古生代地层<sup>[42]</sup>,但是至今未在亲扬子的苏鲁造山带上发现有古生代地层的记录。而莱阳北部的蓬莱群中发育有部分未变质结晶的灰岩体,并且古水流上也显示存在SW向的特征,所以推测其灰岩砾石更有可能来自北部蓬莱群。

除此外,还有5颗古生代的碎屑锆石(晚古生代3颗,早古生代2颗)可能为继承性锆石,这些继承性锆石前人也曾在苏鲁造山带高压超高压岩和副片麻岩中获得过<sup>[43]</sup>。

归纳之,①早白垩世胶莱盆地物源主要来自南、北两个方向,南部物源区由苏鲁造山带的高压—超高压变质岩、浅变质杂岩、燕山期花岗岩组成为主,北部物源区由胶北隆起的基底变质岩组成为主。②南部物源还表现出较为明显的地区差异性,即东部(即墨—乳山)和西部(五莲—诸城)分别受

到不同的近物源体影响,这一点在古水流、砾石组成和碎屑锆石组成方面都有体现。

## 6 地质意义

### 6.1 苏鲁造山带抬升时限

苏鲁造山带多认为是大别造山带在郯庐断裂东侧的延续。有关大别造山带在早侏罗世时已经隆起的认识有了较为扎实的证据<sup>[45-47]</sup>,但是关于苏鲁造山带隆起的时间还未有确切的定论。由于苏鲁造山带北侧的胶莱盆地形成于早白垩世,并没有三叠纪—侏罗纪地层记录。因此只能依据苏鲁造山带本身及胶莱盆地中的早白垩世沉积物来判断其隆起的时间。苏鲁造山带内超高压变质岩显示在212~205 Ma,这些变质岩已经折返至25 km的中下地壳深处<sup>[48]</sup>,而在本次胶莱盆地早白垩世莱阳群沉积物中发现了大量的来自苏鲁造山带的变质岩岩石,表明苏鲁造山带在晚三叠世时期还没有抬升至地表,而在早白垩世初期已经隆起并具有了一定的规模,所以苏鲁造山带更可能是在侏罗纪时期抬升至地表的。虽然在鲁东胶莱盆地内没有侏罗纪地层的记录,但是在鲁西地区可见残余的侏罗纪地层,前人<sup>[49-50]</sup>通过对鲁西中晚侏罗世坊子组砂岩碎屑锆石及中生代地层碎屑组分的分析,认为当时有来自苏鲁造山带的物质组分,但是含量不是很高,不是主要物源区。所以综合这些特征,苏鲁造山带在中晚侏罗世时期已经抬升至地表,但是规模可能有限,其初始抬升可能在早侏罗世时期,跟大别造山带隆起的时间是一致的。

### 6.2 苏鲁造山带可能存在的差异性隆起

前文关于盆地物源组成的分析得到,诸城—五莲地区与海阳—乳山地区存在着不同的物源区,这在砾石组成、碎屑锆石年龄分布,特别是古水流方面均有明显的体现(表1),这种现象暗示当时苏鲁造山带在抬升及抬升后呈现差异性的隆起,即苏鲁造山带西南段(南苏鲁造山带)隆升幅度大并且稳定,东北段(北苏鲁造山带)表现出较为低缓的隆起或者局部的小隆起并且后期可能经历塌陷。究其原因,这可能跟郯庐断裂带早期活动和鲁东地区早白垩世中期的岩石圈减薄有密切关系。郯庐断裂带在早白垩世初期的左行走滑运动<sup>[51-52]</sup>所带来的向北分力,驱使南苏鲁造山带向北运动,但因受华北

表1 五莲—诸城与海阳—乳山地区早白垩世沉积物源组分差异对比

Table 1 The difference of Early Cretaceous provenance between the Wulian-Zhucheng and Haiyang-Rushan

地区	砾石组成	碎屑锆石年龄分布	古流向
五莲—诸城	花岗岩麻岩、大理岩、石英岩为主	主要集中在700~900 Ma, 另还有1900~2100 Ma和2400~2600 Ma	稳定的由南向北古水流
海阳—乳山	早期以花岗岩为主, 晚期成分复杂, 见石英岩、花岗岩麻岩、大理岩、灰岩等	主要集中在120~130 Ma和150~170 Ma, 少量集中在200~230 Ma	以近东—西向为主, 早期出现少量的由南到北的古水流

板块刚性地体的阻止,从而引起南苏鲁造山带自身的挤压快速隆升。而北苏鲁造山带,由于其离郯庐断裂带较远,受其分力影响作用小,所以隆升程度就远小于南苏鲁造山带。同时,早白垩世中晚时期,中国东部发生了岩石圈的巨量减薄<sup>[53-54]</sup>,在鲁东地区表现为胶莱伸展型盆地的形成、特别是其东部地区的一些重要断裂带的伸展转变,如牟平—即墨断裂带<sup>[55]</sup>,发育有大量的110~130 Ma的伸展型花岗质岩浆岩,除此之外在海阳朱吴地区莱阳群下部地层中发育的代表陆内伸展裂谷环境产物的玄武质粗面安山岩<sup>[14]</sup>等等,这些都说明当时在鲁东的东部地区(海阳—乳山及附近地区)伸展减薄程度要大于鲁东的西部地区(五莲—诸城地区),也造成早期已经部分抬升至地表的北苏鲁造山带的垮塌。这些都影响或制约着当时盆山的演化格局。

### 6.3 鲁东地区盆—山古地理面貌演化

胶莱盆地发育初期(林寺山组沉积时期),诸城—五莲地区表现出较为一致的由南向北的古水流体系,表明其南部的苏鲁造山带此时已经处于相对稳定的隆起状态,向北部的诸城地区发育断陷沉积区提供物源。砾石磨圆度和分选方面,诸城地区主要表现为圆—次圆状,分选差,表明砾石经历了一定距离的搬运,但是形成于快速堆积,所以推断原始盆地的南部界线较现今靠南,目前的盆山界线是由后期构造运动改造而成,同时也造成莱阳群底部林寺山组与基底岩多呈现断层接触。在海阳—乳山呈现出NE—E向的古水流,说明该地区地势相对于诸城—五莲地区要更低,莱阳东南地区表现出的N向古水流,可能跟当时盆地内孤零残存的古隆起有关(图9-A)。

盆地发育早期(止风庄组沉积时期),虽然在诸城—五莲地区没有古流向和砾石成分组成的直接

证据,但是从碎屑锆石年龄谱上大量的新元古代碎屑锆石的出现,表明其南部的苏鲁造山带隆起区依然存在。在即墨—乳山及莱阳南部地区则表现为统一的E—SE向古水流,并且海阳地区沉降速率(317 m/Ma)要明显大于诸城(231.3 m/Ma)、高密(58.4 m/Ma)和莱阳地区(59.1 m/Ma)的沉降速率<sup>[56]</sup>以及该地区早白垩世地层沉积厚度大于5000 m<sup>[18]</sup>等都说明该地区逐渐演变成成为胶莱盆地的沉降沉积中心。造成这一现象的原因是跟苏鲁造山带碰撞后的应力松弛和构造垮塌作用有密切联系,由于重力势不均衡,在NW—SE向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<sup>[18,56]</sup>(图9-B)。

盆地发育的中期(水南组/杨家庄—龙旺庄组沉积时期),此时的湖泊沉积范围更为广泛,盆地面积更大,其东部的盆地边缘可能达到现处于海底的千里岩隆起北侧<sup>[57]</sup>。早期盆地东部所表现出的较为一致的古水流,此时也演变为不均一性,除表现出E向的古流向外,还出现NW向的古水流,暗示东部有抬升的可能性,这种不稳定的局部抬升变化也造成了盆地的沉积中心和沉降中心在空间上的分离(图9-C)。

盆地发育晚期(曲格庄组/杜村组沉积时期),除在五莲、胶州地区显示的NW向古水流,暗示南部苏鲁造山带雏形隆起区的依然存在外,在莱阳、胶州—高密地区表现为W—NWW向的古水流,说明在盆地发育晚期,相比早期古地理面貌发生了改变,由早期的西高东低演变为晚期的东高西低。另外从沉积范围看,这个时期在诸城、高密一带,盆地沉积范围一直在扩张,盆地范围比水南段沉积时期盆地范围要大<sup>[13]</sup>,这些都说明盆地的古地貌发生了变化、沉积沉降中心存在迁移现象(图9-D)。

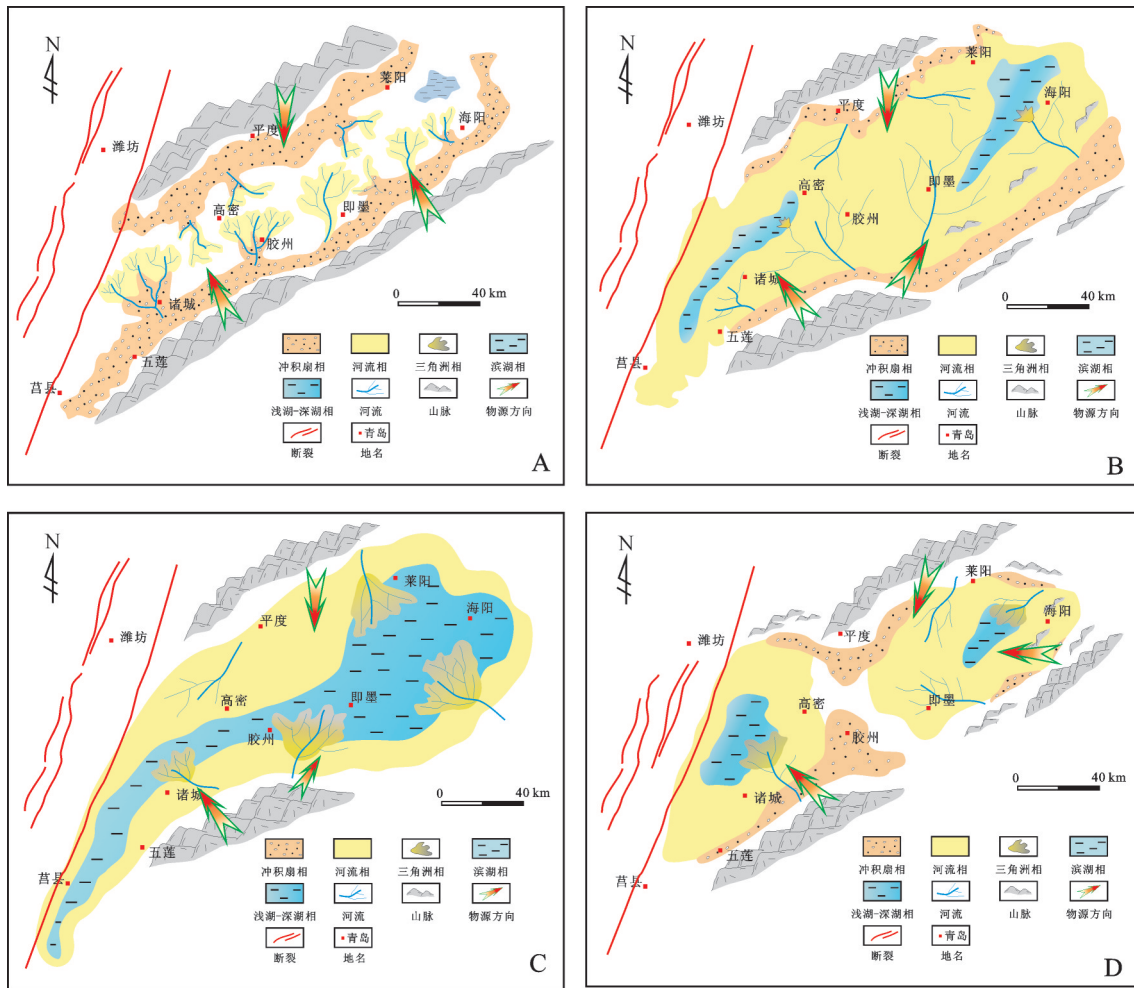


图9 胶莱盆地早白垩世莱阳群沉积-古地理演化示意图(据文献[58]修改)

(A—林寺山组沉积期;B—止凤庄组沉积期;C—水南组/杨家庄组沉积期;D—龙旺庄组—曲格庄组沉积期)

Fig.9 The model of paleogeographic evolution in the Early Cretaceous Laiyang Stage, Jiaolai Basin (modified after reference [58]) (A—Depositional stage of Lisishan Formation; B—Depositional stage of Zhifengzhuang Formation; C—Depositional stage of Shuinan Formation and Yangjiazhuang Formation; D—Depositional stage of Longwangzhuang Formation and Qugezhuang Formation)

### 7 结论

(1)胶莱盆地早白垩世沉积物源主要来自早南、北两个方向,南部物源区以苏鲁造山带的高压—超高压变质岩、浅变质杂岩、燕山期(J<sub>2-3</sub>—K<sub>1</sub>)花岗岩组成为主,北部物源区由胶北隆起亲华北型基底变质岩组成为主。

(2)诸城—五莲地区与海阳—乳山地区的早白垩世莱阳群沉积物在砾石组成、碎屑锆石年龄分布,特别是古水流方面存在着明显的差异,这种现象表明当时苏鲁造山带的南、北段在抬升及抬升后

可能存在着差异性的隆起,表现为苏鲁造山带南段(南苏鲁造山带)隆升幅度大并且稳定,北段(北苏鲁造山带)表现出较为低缓的隆起或者局部的小隆起并且后期经历较大规模的塌陷。

(3)早白垩世莱阳群沉积时期,胶莱盆地呈现出西高东低的古地貌特征,直到莱阳群沉积晚期,盆地东部才有所抬升,并且盆地内沉积沉降中心存在一定的迁移现象。

**致谢:**在野外调查工作中山东省国土资源厅地质调查研究院许克民高级工程师给予了热情的帮助和指导;另外,还要感谢审稿专家和编辑部李亚

萍老师提出的宝贵修改意见。

### 参考文献(References):

- [1] 刘明渭, 染恒彦, 迟培星, 等. 山东省侏罗—白垩纪岩石地层清理意见[J]. 山东地质, 1994, 10(增): 53–69.  
Liu Mingwei, Ran Hengyan, Chi Peixing, et al. On the division and correlation of the Jurassic–Cretaceous lithostratigraphic units in Shandong Province[J]. *Geology of Shandong*, 1994, 10(suppl.): 53–69(in Chinese with English abstract).
- [2] 刘明渭, 张庆玉, 宋万千. 山东省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).
- [3] 李守军, 谢传礼. 山东莱阳盆地莱阳组时代讨论[J]. 地层学杂志, 1997, 20(3): 233–238.  
Li Shoujun, Xie Chuanli. A discussion on the age of the Laiyang Formation in Laiyang Basin, Shandong[J]. *Journal of Stratigraphy*, 1997, 20(3): 233–238(in Chinese with English abstract).
- [4] 姜在兴, 熊继辉, 王留奇, 等. 胶莱盆地地下白至统莱阳组沉积作用和沉积演化[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1993, 17(2): 8–16.  
Jiang Zaixing, Xiong Jihui, Wang Liuqi, et al. Sedimentology and sedimentary evolution of Lower Cretaceous Laiyang Formation in Jiaolai basin[J]. *Journal of the University of Petroleum, China*, 1993, 17(2): 8–16(in Chinese with English abstract).
- [5] 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 deposition 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).
- [6] 殷秀兰, 杨天南. 胶州—莱阳盆地白垩纪莱阳群中的震积岩及构造意义讨论[J]. 地质论评, 2005, 51(5): 5–11.  
Yin Xiulan, Yang Tiannan. Seismites in the Laiyang Group in the Jiaozhou–Laiyang basin, Shandong Province, and their tectonic implications[J]. *Geological Review*, 2005, 51(5): 5–11(in Chinese with English abstract).
- [7] 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 units 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).
- [8] 陈清华, 宋若徽, 戴俊生, 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 gravitic and magnetic data interpretation and structure analysis[J]. *Progress in Geophysics*, 1994, 9(3): 70–79(in Chinese with English abstract).
- [9] 陈书平, 戴俊生, 宋全友, 等. 胶莱盆地构造应力场特征及数学模拟[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1998, 22(3): 19–27.  
Chen Shuping, Dai Junsheng, Song Quanyou, et al. Features of tectonics stress fields in Jiaolai basin[J]. *Journal of the University of Petroleum, China*, 1998, 22(3): 19–27(in Chinese with English abstract).
- [10] 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).
- [11] 唐华凤, 程日辉, 白云凤, 等. 胶莱盆地构造演化规律[J]. 世界地质, 2003, 22(3): 246–251.  
Tang Huafeng, Cheng Rihui, Bai Yunfeng, et al. Tectonic evolution of the Jiaolai Basin[J]. *Global Geology*, 2003, 22(3): 246–251(in Chinese with English abstract).
- [12] 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 & Experiment*, 2003, 25(2): 137–142(in Chinese with English abstract).
- [13] 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.
- [14] 张田, 张岳桥. 胶北隆起晚中生代构造—演化历史[J]. 地质学报, 2008, 82(9): 1210–1228.  
Zhang Tian, Zhang Yueqiao. Late Mesozoic Tectono–Magmatic evolution history of the Jiaobei Uplift Shandong Peninsula[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(9): 1210–1228(in Chinese with English abstract).
- [15] 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(2): 504–511.  
Zhang Yueqiao, Li Jinliang, Zhang Tian, et al. Cretaceous to Paleocene tectono–sedimentary evolution of the Jiaolai Basin and the contiguous areas of the Shandong Peninsula (North China)

- and its geodynamic implications[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(9): 1229–1257(in Chinese with English abstract).
- [16] 廖远涛. 胶莱盆地的盆地样式及构造演化[J]. *新疆石油地质*, 2002, 23(4): 345–348.  
Liao Yuantao. The pattern and tectonic evolution of Jiaolai basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2002, 23(4): 345–348(in Chinese with English abstract).
- [17] 唐华风, 程日辉, 王璞珺, 等. 走滑拉分盆地层序构成特征——以胶莱盆地莱阳群为例[J]. *沉积与特提斯地质*, 2006, 26(3): 31–36.  
Tang Huanfeng, Cheng Rihui, Wang Pujun, et al. Sequence stratigraphy in a strike-slip ( pull-apart ) basin: An example from the Laiyang Group in the Jiaolai Basin[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2006, 26(3): 31–36(in Chinese with English abstract).
- [18] 李双应, 孟庆任, 李任伟, 等. 山东胶莱盆地地下白垩统莱阳组物质组分特征及其对源区的制约[J]. *岩石学报*, 2008, 24(10): 2395–2406.  
Li Shuangyin, Meng Qingren, Li Renwei, et al. Characteristics of material components from the Lower Cretaceous Laiyang Formation in Jiaolai basin, Shandong province, eastern China and constraints to the provenance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(10): 2395–2406(in Chinese with English abstract).
- [19] Xie S W, Wu Y B, Zhang Z M. et al. U–Pb ages and trace elements of detrital zircons from Early Cretaceous sedimentary rocks in the Jiaolai Basin, north margin of the Sulu UHP terrane: Provenances and tectonic implications[J]. *Lithos*, 2012, 154: 346–360.
- [20] 山东省地质矿产局. 山东省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991: 1–526.  
Shandong Provincial Bureau of Geology & Mineral Resources. *Regional Geology of Shandong Province*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991: 1–526(in Chinese).
- [21] Zhou J B, Wilde S A, Zhao G C. et al. SHRIMP U–Pb zircon dating of the Neoproterozoic Penglai Group and Archean gneisses from the Jiaobei Terrane, North China, and their tectonic implications[J]. *Precambrian Research*, 2008, 160: 323–340.
- [22] Jahn B M, Liu D Y, Wan Y S. et al. Archean crustal evolution of the Jiaodong Peninsula, China, as revealed by zircon SHRIMP geochronology, elemental and Nd–isotope geochemistry[J]. *American Journal of Science*, 2008, 308: 232–269.
- [23] 苗来成, 罗镇宽, 黄佳展, 等. 山东招掖金矿带内花岗岩类侵入体锆石 SHRIMP 研究及其意义[J]. *中国科学(D辑)*, 1997, 27(3): 207–212.  
Miao Laicheng, Luo Zhenkuan, Huang Jiazhan, et al. Zircon Sensitive High Resolution Ion Microprobe (SHRIMP) study of granitoid intrusions in Zhaoye Gold Belt of Shandong Province and its implication[J]. *Science in China(Series D)*, 1997, 40(6): 361–369.
- [24] 苗来成, 罗镇宽, 关康, 等. 玲珑花岗岩中锆石的离子质谱 U–Pb 年龄及其岩石学意义[J]. *岩石学报*, 1998, 14(2): 198–206.  
Miao Laicheng, Luo Zhenkuan, Guan Kang, et al. The implication of the SHRIMP U–Pb age in zircon to the petrogenesis of the Linglong granite, east Shandong Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1998, 14(2): 198–206(in Chinese with English abstract).
- [25] 关康, 罗镇宽, 苗来成, 等. 胶东招远郭家岭型花岗岩锆石 SHRIMP 年代学研究[J]. *地质科学*, 1998, 33(3): 318–328.  
Guan Kang, Luo Zhenkuan, Miao Laicheng, et al. Shrimp in zircon chronology for Guojialing suite granite in Jiaodong Zhaoye District[J]. *Chinese Journal of Geology*, 1998, 33(3): 318–328(in Chinese with English abstract).
- [26] Zhang R Y, Hirajima T, Banno S, et al. Petrology of ultrahigh-pressure rocks from the Southern Su–Lu Region, Eastern China[J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 1995, 13: 659–675.
- [27] 胡世玲, 王松山, 桑海清, 等. 山东玲珑和郭家岭岩体的同位素年龄及其地质意义[J]. *岩石学报*, 1987, 3: 83–89.  
Hu Shiling, Wang Songshan, Sang Haiqing, et al. Isotopic ages of Linglong and Guojialing batholiths in Shandong Province and their geological implication[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1987, 3: 83–89(in Chinese with English abstract).
- [28] 徐洪林, 张德全, 孙桂英. 胶东昆崙山花岗岩的特征、成因及其与金矿的关系[J]. *岩石矿物学杂志*, 1997, 16(2): 131–143.  
Xu Honglin, Zhang Dequan, Sun Guiying. Characteristics and genesis of Kunyushan granite and its relation with gold deposits in Jiaodong[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 1997, 16(2): 131–143(in Chinese with English abstract).
- [29] Zhao G T, Wang D Z, Cao Q C, et al. Thermal evolution and its significance of I–A type granitoid complex——the Laoshan granitoid as an example[J]. *Science in China (Series D)*, 1998, 41(4): 529–536.
- [30] 周建波, 郑永飞, 赵子福. 山东五莲中生代岩浆岩的锆石 U–Pb 年龄[J]. *高校地质学报*, 2003, 9(2): 185–194.  
Zhou Jianbo, Zheng Yongfei, Zhao Zifu. Zircon U–Pb dating on Mesozoic Granites at Wulian, Shandong Province[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2003, 9(2): 185–194(in Chinese with English abstract).
- [31] 郭敬辉, 陈福坤, 张小曼, 等. 苏鲁超高压带北部中生代岩浆侵入活动与同碰撞–碰撞后构造过程: 锆石 U–Pb 年代学[J]. *岩石学报*, 2005, 21(4): 1281–1301.  
Guo Jinghui, Chen Fukun, Zhang Xiaoman, et al. Evolution of syn- to post-collisional magmatism from north Sulu UHP belt, eastern China: zircon U–Pb geochronology[J]. *Acta Petrologica*



- Sinica, 2005, 21(4): 1281–1301(in Chinese with English abstract).
- [32] Chen J F, Zhen X, Li H M, et al. U–Pb zircon ages for a collision-related K-rich complex at Shidao in the Sulu ultrahigh pressure terrane, China[J]. *Geochemical Journal*, 2003, 37(1): 35–46.
- [33] Yang J H, Zhong S L, Wilder S A, et al. Petrogenesis of post-orogenic syenites in the Sulu orogenic belt, East China: geochronology, geochemical and Nd–Sr isotopic evidence[J]. *Chemical Geology*, 2005, 214: 99–125.
- [34] 张岳桥, 李金良, 张田, 等. 胶东半岛牟平—即墨断裂带晚中生代运动学转换历史[J]. *地质论评*, 2007, 53(5): 289–300.  
Zhang Yueqiao, Li Jinliang, Zhang Tian, et al. Late Mesozoic kinematic history of the Muping—Jimo Fault Zone in Jiaodong Peninsula, Shandong Province, East China[J]. *Geological Review*, 2007, 53(5): 289–300(in Chinese with English abstract).
- [35] 孟繁聪, 史仁灯, 李天福, 等. 南苏鲁晚中生代花岗岩的形成年龄及源区[J]. *地质学报*, 2006, 80(12): 1867–1876.  
Meng Fancong, Shen Rendeng, Li Tianfu, et al. The Ages and Sources of Late Mesozoic Granites in Southern Sulu Region[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(12): 1867–1876(in Chinese with English abstract).
- [36] Wang L G, Qiu Y M, McNaughton N J, et al. Constraints on crustal evolution and gold metallogeny in the Northwestern Jiaodong Peninsula, China, from SHRIMP U–Pb zircon studies of granitoids[J]. *Ore Geology Reviews*, 1998, 13: 275–291.
- [37] Zhang S B, Zheng Y F, Wu Y B, et al. Zircon U–Pb age and Hf–O isotope evidence for Paleoproterozoic metamorphic event in South China[J]. *Precambrian Research*, 2006, 151: 265–288.
- [38] Wu Y B. Multistage evolution of continental collision orogen: a case study for western Dabie orogeny[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2009, 54: 2568–2579.
- [39] 徐扬, 冯岩, 李日辉. 胶北地块前寒武纪基底研究新进展[J]. *现代地质*, 2011, 25(5): 965–974.  
Xu Yang, Feng Yan, Li Rihui. Main progresses in the Study of Precambrian basement of Jiaobei Terrane, Eastern China[J]. *Geoscience*, 2011, 25(5): 965–974(in Chinese with English abstract).
- [40] 董春艳, 王世进, 刘敦一, 等. 华北克拉通古元古代晚期地壳演化和荆山群形成时代制约——胶东地区变质中—基性侵入岩锆石 SHRIMP U–Pb 定年[J]. *岩石学报*, 2010, 27(6): 1699–1706.  
Dong Chunyan, Wang Shijin, Liu Dunyi, et al. Late Palaeoproterozoic crustal evolution of the North China Craton and formation time of the Jingshan Group: Constraints from SHRIMP U–Pb zircon dating of meta–intermediate–basic intrusive rocks in eastern Shandong Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 27(6): 1699–1706(in Chinese with English abstract).
- [41] 陈竟志, 姜能. 胶东晚三叠世碱性岩浆作用的岩石成因—来自锆石 U–Pb 年龄、Hf–O 同位素的证据[J]. *岩石学报*, 2011, 27(12): 3557–3574.  
Chen Jingzhi, Jiang Neng. Petrogenesis of the Late–Triassic alkaline magmatism in the Jiaodong area: Evidence from U–Pb age, Hf–O isotopes of zircons[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(12): 3557–3574(in Chinese with English abstract).
- [42] 郭振一, 孙秀珠. 胶莱拗陷南缘晚侏罗世鲕状灰岩中有孔虫、鲕化石的发现及其大地构造意义[J]. *地质论评*, 1985, 31(2): 179–181.  
Guo Zhenyi, Sun Xiuzhu. Discovery of oölitic limestone gravels and foraminifer and fusulinid fossils in the Upper Jurassic on the southern margin of the Jiaolai depression, eastern Shandong and their tectonic significance[J]. *Geological Review*, 1985, 31(2): 179–181(in Chinese with English abstract).
- [43] Yang J S, Li T F, Chen S Z, et al. Genesis of garnet peridotites in the Sulu UHP belt: examples from the Chinese continental scientific drilling project—main hole, PP1 and PP3 drill holes[J]. *Tectonophysics*, 2009, 475: 359–382.
- [44] 耿显雷, 高山, 陈晨. 华北克拉通东部及苏鲁造山带的地壳生长: 来自现代河流碎屑锆石的 U–Pb 定年和 Hf 同位素证据[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2011, 36(3): 483–496.  
Geng Xianlei, Gao Shan, Chen Chen. Crustal growth of the Eastern North China Craton and Sulu Orogen as revealed by U–Pb dating and Hf isotopes of detrital zircons from modern rivers[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2011, 36(3): 483–496(in Chinese with English abstract).
- [45] 李任伟, 万渝生, 陈振宇, 等. 根据碎屑锆石 SHRIMP U–Pb 测年恢复早侏罗世大别造山带源区特征[J]. *中国科学(D辑)*, 2004, 34(4): 320–328.  
Li Renwei, Wan Yusheng, Chen Zhengyu, et al. The Dabie orogeny as the early Jurassic sedimentary provenance: constraints from the detrital zircon SHRIMP U–Pb dating[J]. *Science in China(Series D)*, 2004, 34(4): 320–328 (in Chinese).
- [46] 李双应, 王道轩, 刘因, 等. 大别造山带折返剥露历史来自合肥盆地南缘中生界变质岩碎屑的证据[J]. *地质科学*, 2005, 40(4): 518–531.  
Li Shuangyin, Wang Daoxuan, Liu Yin, et al. Exhumation and denudation of the Dabie orogenic belt: constraints from metamorphic clasts of Mesozoic sedimentary rocks in the southern margin of Hefei basin[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2005, 40(4): 518–531(in Chinese with English abstract).
- [47] 陈振宇, 周剑雄, 李任伟, 等. 合肥盆地早侏罗世防虎山组沉积岩碎屑锆石的矿物包裹体及内部结构[J]. *矿物学报*, 2005, 25(1): 89–64.

- Chen Zhenyu, Zhou Jianxiong, Li Renwei, et al. Mineral inclusions and internal structures of detrital zircons from Lower Jurassic sedimentary rocks of the Fanghushan Formation in the Hefei Basin[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2005, 25(1): 89–94 (in Chinese with English abstract).
- [48] 刘福来, 薛怀民. 苏鲁一大别超高压岩石中 SHRIMP U–Pb 定年研究——综述和最新进展[J]. *岩石学报*, 2007, 23(11): 2737–2756.
- Liu Fulai, Xu Huaimin. Review and prospect of SHRIMP U–Pb dating on zircons from Sulu–Dabie UHP metamorphic rocks[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(11): 2737–2756 (in Chinese with English abstract).
- [49] 卜香萍, 石永红, 李忠. 鲁西隆起区晚中生代地层碎屑石榴石分析及物源区构造演化示踪[J]. *沉积学报*, 2012, 30(6): 999–1009.
- Bu Xiangping, Shi Yonghong, Li Zhong. Fragment garnet analysis and tectonic evolution of its provenance in Late Mesozoic strata in the Luxi uplift[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 23(11): 2737–2756.
- [50] Yang D B, Xu W L, Xu Y G, et al. Provenance of sediments from Mesozoic basins in western Shandong: Implications for the evolution of the eastern North China Block[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 76: 12–29.
- [51] 朱光, 牛漫兰, 刘国生, 等. 郯庐断裂带肥东段走滑运动的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  法定年[J]. *地质学报*, 2005, 79(3): 303–316.
- Zhu Guang, Niu Manlan, Liu Guosheng, et al.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating for the strike–slip movement on the Feidong part of the Tan–Lu Fault Belt[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2005, 29(3): 303–316 (in Chinese with English abstract).
- [52] 谢文雅, 牛漫兰, 曹洋. 郯庐断裂带早白垩世岩浆活动与断裂带的活动关系[J]. *合肥工业大学学报(自然科学版)*, 2009, 32(3): 293–296.
- Xie Wenya, Niu Manlan, Cao Yang. Research on early Cretaceous magmatic activity in the middle–southern segment of the Tan Lu fault zone and its evolution[J]. *Journal of Hefei University of Technology*, 2009, 32(3): 293–296 (in Chinese with English abstract).
- [53] 邓晋福, 苏尚国, 赵海玲, 等. 华北地区燕山期岩石圈减薄的深部过程[J]. *地学前缘*, 2003, 10(3): 41–50.
- Deng Jinfu, Su Shangguo, Zhao Hailing, et al. Deep processes of Mesozoic Yanshanian lithosphere thinning in North China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2013, 10(3): 41–50 (in Chinese with English abstract).
- [54] 许文良, 王清海, 王冬艳, 等. 华北克拉通东部中生代岩石圈减薄的过程与机制: 中生代火成岩和深源捕虏体证据[J]. *地学前缘*, 2004, 11(3): 309–317.
- Xu Wenliang, Wang Qinghai, Wang Dongyan, et al. Processes and mechanism of Mesozoic lithospheric thinning in eastern North China Craton: evidence from Mesozoic igneous rocks and deep-seated xenoliths[J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(3): 309–317 (in Chinese with English abstract).
- [55] 张勇, 任凤楼, 龚淑云, 等. 牟平—即墨断裂带白垩纪构造应力场及转化机制[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2013, 33(2): 79–85.
- Zhang Yong, Ren Fenglou, Gong Shuyun, et al. Cretaceous stress field of the Muping–Jimo fault belt and its implication for tectonic evolution[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2013, 33(2): 79–85 (in Chinese with English abstract).
- [56] 李金良, 张岳桥, 柳宗泉, 等. 胶莱盆地沉积–沉降史分析与构造演化[J]. *中国地质*, 2007, 34(2): 240–250.
- Li Jinliang, Zhang Yueqiao, Liu Zongquan, et al. Sedimentary–subsidence history and tectonic evolution of the Jiaolai basin, eastern China[J]. *Geology in China*, 2007, 34(2): 240–250 (in Chinese with English abstract).
- [57] 廖晶, 岳保静, 施剑. 千里岩隆起在海区延伸问题探讨[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2013, 33(2): 153–162.
- Liao Jing, Yue Baojing, Shi Jian. Extension of Qianliyan uplift in the south Yellow Sea[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2013, 33(2): 153–162 (in Chinese with English abstract).
- [58] 张岳桥, 李金良, 张田, 等. 胶莱盆地及其邻区白垩纪—古新世沉积构造演化历史及其区域动力学意义[J]. *地质学报*, 2008, 9: 1229–1257.
- Zhang Yueqiao, Li Jinliang, Zhang Tian, et al. Cretaceous to Paleocene tectono–sedimentary evolution of the Jiaolai basin and the contiguous areas of the Shandong Peninsula (North China) and its geodynamic implications[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 9: 1229–1257 (in Chinese with English abstract).