

胶莱盆地白垩系林寺山组砾岩沉积特征 及盆地演化意义

章朋^{1,2} 旷红伟¹ 柳永清¹ 彭楠¹ 许欢¹ 汪明伟³ 安伟¹ 王能盛¹

(1.中国地质科学院地质研究所 北京 100037; 2.中国地质大学(北京)地球科学与资源学院 北京 100083;

3.中国海洋石油总公司 湛江分公司 广东湛江 524057)

摘要 胶莱盆地白垩系莱阳群底部林寺山组主要由砾岩组成。通过对盆地及周缘 18 个地点林寺山组砾岩系统的调查,从砾岩组分、砾径和长轴排列方向的统计分析出发,研究该砾岩沉积相类型、盆地物源区、古水流及林寺山组上覆地层中砂岩碎屑锆石 U-Pb 年龄谱特点,并进一步讨论了盆地演化的意义。研究表明,林寺山组底部砾岩以冲积扇相为主,但不同地点亚、微相类型又有差异。原型胶莱盆地由莱阳、海阳—即墨和诸城—五莲 3 个独立盆地组成,被 6 个隆起区所分隔。莱阳盆地的物源主要来自胶北隆起和苏鲁造山带北部;海阳—即墨盆地以苏鲁造山带北部隆起区、即墨—牟平隆起、胶南隆起为主物源区;诸城—五莲盆地以胶南隆起和马山—李党家低隆起为主要物源区。林寺山组砾岩的出现标志着苏鲁造山带大规模塌陷和胶莱盆地的形成。

关键词 胶莱盆地 白垩系 林寺山组 砾岩 沉积特征 盆地演化

第一作者 章朋 男 1988 年出生 硕士研究生 沉积地质与盆地分析研究 E-mail: zhangp0927@126.com

通讯作者 旷红伟 女 教授 E-mail: kuanghw@126.com

中图分类号 P534.53 **文献标识码** A

0 引言

胶莱盆地恰处于华北克拉通东缘,东南缘通过苏鲁造山带与华南板块相接。胶莱盆地早白垩世莱阳群底部普遍发育一套底砾岩,命名为“林寺山组”砾岩。该砾岩在分析莱阳盆地形成演化历史中具特殊意义^[1-2],其出现与造山带的活动密切相关,记录着造山带塌陷成盆的启动时限,以往未有专门的类似研究,而对于胶莱盆地的研究多局限于地层划分对比、沉积序列以及火山岩年代学研究,在一系列问题上仍存有争议。

(1) 盆地原型的性质及形成机制。①胶莱盆地受到古太平洋板块 NW 向俯冲的影响,导致郯庐断裂发生大规模左旋活动、五莲—青岛断裂发生右旋活动而形成走滑—拉分盆地^[3-5],或者由盆地以某断裂系的单一右旋或左旋走滑运动控制形成走滑—拉分盆地^[6-11];②胶莱盆地是在苏鲁造山作用后期,由一系列正断层控制而形成的断陷盆地^[12-17];③胶莱该盆地是由于太平洋板块对欧亚板块的 NNW 向俯冲而形成的挠曲盆地^[18]。

(2) 原型盆地恢复不一致,盆地原始构造单元划分、沉积范围、沉积—沉降中心分布、物源区等方面存有较大争议^[14,17,19-28]。

(3) 控盆断裂认识不一致,包括沂沭断裂带、即墨—牟平断裂带、百尺河断裂、青岛—五莲断裂、五龙村断裂^[10,13,18,29-30]。

(4) 以往对苏鲁造山代的研究多集中于构造地质学、高压/超高压变质岩岩石学变等方面^[31-38],未能运用盆山耦合理论,通过胶莱盆地的沉积构造响应信息,反演出苏鲁造山构造演化历程。

本文在前人研究的基础上,通过对胶莱盆地林寺山组砾岩 18 个不同地点的详细调查,从砾岩组分、砾径和长轴排列方向的统计分析出发,研究该砾岩沉积相类型、砾石成分、古水流及林寺山组上覆地层中砂岩碎屑锆石 U-Pb 年龄谱特点,并进一步讨论了盆地演化的意义。研究成果揭示了胶莱盆地林寺山组砾岩源区、搬运过程和沉积环境,恢复了胶莱盆地形成初期的古水流系统,重建初期各盆地展布格局,最后讨论了莱阳盆地的形成机制及其对苏鲁造山带演化理解和启示。

1 地质概况

山东省位于华北克拉通中东部,沂水断裂带将其分隔为东西两部分,胶莱盆地发育于沂沭断裂带东侧(图1),总体走向为NE—SW向,南北夹于胶南隆起和胶北隆起之间,东部伸入黄海,以千里岩断裂为界,中部即墨—牟平断裂将盆地分为东西两部分,面积约 $1.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。原型盆地后期经历了热力改造、叠合理深改造、构造变形改造和隆升剥蚀改造等,而形成典型白垩纪复合改造型盆地^[4,29,39-40]。

胶莱盆地基底岩系为太古界胶东群、下元古界荆山群、粉子山群和上元古界蓬莱群,与上覆白垩系下统林寺山组砾岩多呈角度不整合接触或断层接触^[4,19]。白垩系地层主要为一套陆相碎屑岩—火山岩沉积,从下往上依次为下白垩统莱阳群、青山群和上白垩统王氏群。莱阳群为河湖相沉积,青山群为

中—酸性火山岩、火山碎屑岩夹沉积岩,王氏群以紫红色、红色碎屑岩为主的河湖相沉积。

莱阳群由下向上划分为六个组,依次为瓦屋乔组、林寺山组、止凤庄组、水南组、龙旺庄组和曲格庄组^[4]。瓦屋乔组为灰绿、灰黄色页岩、粉砂岩夹含细砾砂岩、砂砾岩沉积,含有大量叶肢介及植物化石^[14],野外调查发现,瓦屋乔组横向上与林寺山组应为相变关系。林寺山组主要为紫红色、浅紫红色、褐灰色粗—巨砾岩至细砾岩,夹紫红色或灰绿色砂岩,化石少见。止凤庄组下部为辫状河相沉积,主要为紫红色中砾岩、砂砾岩、粗砂岩,与林寺山组整合接触或相变接触,上部为三角洲相沉积,主要为紫红色、灰黄色细—粉砂岩砂岩,局部夹中—粗砂岩。水南组为湖泊相沉积,主要为灰绿色、灰黑色薄层状粉砂岩质页岩、粉砂岩和细砂岩沉积。龙旺庄组为灰紫色、灰绿色中细砂岩、粉砂岩、泥岩,夹含砾细砂岩。曲格庄组

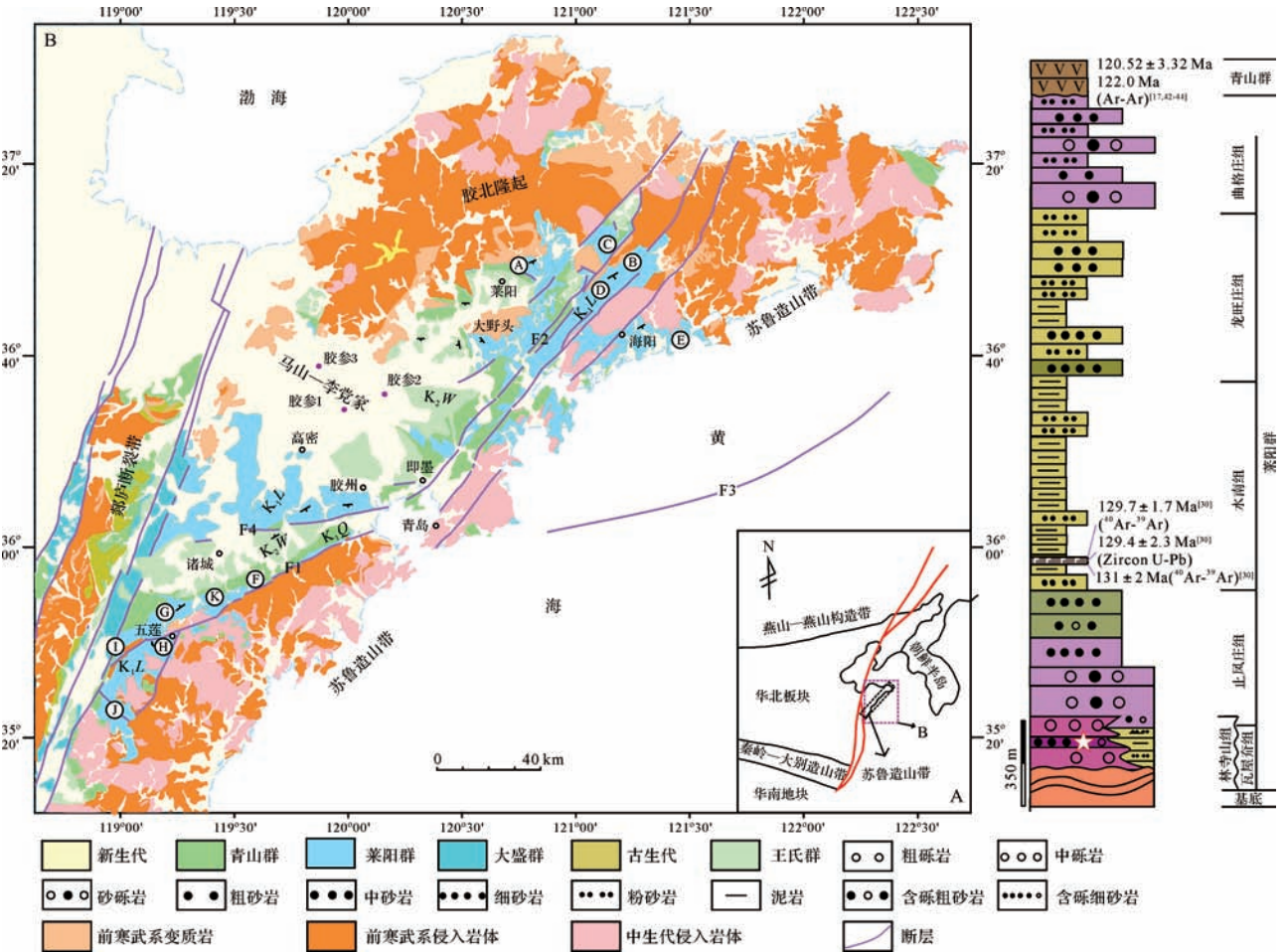


图1 胶莱盆地地质简图及莱阳群地层柱状简图

A.黄崖底;B.山角;C.郭城镇;D.宋吴镇;E.海阳桃源;F.皇华镇;G.许孟镇;H.五莲;I.桑园镇;J.柳黄沟;K.郝戈庄;F1.青岛—五莲断裂;F2.即墨—牟平断裂带;F3.千里岩断裂。

Fig.1 Sketch geological map of Jiaolai Basin and columnar section of the Laiyang Group

为河流相沉积,主要为紫红色砂砾岩、粗砂岩、中细砂岩组成的正韵律沉积。

因此,整个莱阳群由下至上表现为两个沉积旋回:退积型和进积型。张岳桥^[30]通过对水南组粉砂岩和泥岩中所夹玄武质火山岩的角闪石和锆石分别进行了⁴⁰Ar-³⁹Ar和锆石SHRIMP U-Pb测年分析,获得水南组年龄约为129~131 Ma;霍腾飞等^[41]通过对莱阳群底部瓦屋夬组碎屑锆石分析,获得最年轻的碎屑锆石加权平均谐和年龄为129 Ma;Xie等^[28]通过对龙旺庄组和曲格庄组大量碎屑锆石年龄分析,限定了莱阳群最大的沉积年龄为130±2 Ma。同时,大量的青山群测量数据显示青山群底界约为122 Ma^[17,42-44],因此莱阳群发育于早白垩世中期(K₁),林寺山组的沉积年龄约为130 Ma。

本文所研究的林寺山组由山东区域地质调查队王来明等(1992年)命名,它主要分布于胶北隆起南缘和胶南隆起北缘,由山麓洪积相的巨砾岩、粗砾岩、中砾岩组成,夹少量中—薄层砂岩,沉积厚度较薄,为一套边缘相沉积。该套地层与下覆盆地基底呈断层或角度不整合接触。

2 研究方法

(1) 对早白垩世中—晚期莱阳群沉积岩石组合、沉积构造等进行描述,并对林寺山组出露较好,地层连续的地区进行剖面实测,综合分析盆地沉积相类型和古地理环境。

(2) 对18个林寺山组砾岩测点的砾石成分、磨圆度、长轴长度、短轴长度进行统计和分析(表1、图1),每个测点统计面积不小于1 m²。根据各测点的砾石成分数据,绘制砾石成分含量饼状图,分析盆地的物源区。根据公式 $\phi = -\log_2(X)$ 获得各个测点砾石长轴长度的粒径 ϕ 值(X为砾石长轴长度,单位为mm),绘制各测点 ϕ 值的概率直方图和累计概率曲线图;然后依据福克和沃德所提出公式,分别计算各测点砾石的均值、标准方差、偏度、峰度值,研究林寺山组沉积时期水动力条件及沉积环境。

(3) 对莱阳群中叠瓦状砾石及交错层理产状进行测量,再经地层校正后制得古水流玫瑰花图,探讨盆地古地貌及物源剥蚀区位置。

(4) 为了从更高精度上限定盆地物源区,对林寺山组上覆砂岩中的碎屑锆石进行LA-ICP-MS锆石U-Pb测年。样品粉碎、锆石挑选与制靶在河北省廊坊诚信地质公司完成,锆石透射光、反射光图像及

LA-ICP-MS锆石U-Pb测试工作在中国地质科学院国家地质测试中心完成。数据用Glitter软件处理,并用Isoplot软件进行年龄计算和图谱制作,对于大于1 000 Ma的年龄采用 $100 \times ({}^{207}\text{Pb}/{}^{206}\text{Pb})/({}^{206}\text{Pb}/{}^{238}\text{U})$,小于1 000 Ma年龄采用 $100 \times ({}^{207}\text{Pb}/{}^{235}\text{Pb})/({}^{206}\text{Pb}/{}^{238}\text{U})$,分别计算锆石测年结果谐和度,谐和度在90%~110%之外的数据予以排除。

3 砾岩特征

3.1 砾石粒度

胶莱盆地18个不同地点中林寺山组砾岩粒度的系统观测获得了一系列参数,其中包括:磨圆度、分选、偏度、峰度等(表1)。

3.1.1 北部地区

胶莱盆地北缘黄崖底和山角两个测点分析结果显示,两地区砾石表现为棱角一次棱角状,粒径 ϕ 值跨度较大,为-7~1;粒度从下往上表现为多个细—粗的沉积旋回。黄崖底标准方差普遍比山角高,多为1.0以上,分选差或中等—差;山角标准方差多为1.0以下,分选中等或差—中等。黄崖底峰度为尖峰;山角峰度多为宽峰或中等宽峰。盆地北部边缘郭城镇、朱吴镇、桃源砾岩标准方差与黄崖底-3、黄崖底-4及山角所测值较为相近,峰度为中等宽峰状分布,与山角峰度值较为相似。

3.1.2 南部地区

五莲-1、五莲-2、桑园镇、柳黄沟等地下部砾岩粒径 ϕ 值处于-6~0之间,次圆状,标准方差0.9~1.01,分选中等—差,呈近对称分布,为中等宽峰或宽峰;上部五莲-3测点粒度偏小,粒径 ϕ 值为-4~2,次棱角状,标准方差0.91,分选中等—差,为宽峰,说明该测点砾岩沉积水动力条件较五莲-1、五莲-2测点砾岩弱。皇华镇和许孟镇测点砾岩粒度特点与前述测点相似,但标准方差要大于前者,最高可达1.21,表明水动力条件的稳定性要弱于前者。

3.2 砾石成分

通过对胶莱盆地10个地点(含18个测点)的2 241颗砾石成分统计可知(图2),北部黄崖底的砾石成分以基底岩系黑云片岩、透辉石岩、大理岩为主,含量高达93.1%,其次含少量花岗岩(图3a)。郭城镇以花岗岩和花岗片麻岩为主,约占85.7%,其次含少量石英岩。山角、朱吴镇以花岗片麻岩为主,约占62.2%~84.7%,其次为花岗岩和片麻岩(图3b,c)。海阳桃源的林寺山组砾石成分几乎全为燕

山期花岗岩(图3d),含量高达98.3%。南部皇华镇、许孟镇、五莲、柳黄沟主要以花岗岩和花岗片麻岩为主,约占68.5%~87.5%,其次含有少量石英岩、大理岩、片麻岩,以及少量再旋回砂岩和基性侵入岩(图3e,f)。

3.3 砾岩沉积相分析

根据各砾石测点统计结果(表1),结合砾岩的沉积充填序列、岩石结构(颗粒支撑类型、胶结类型)及沉积构造等特征,系统分析林寺山期的沉积相及沉积类型(表2)。

表1 胶莱盆地各砾石统计点砾石长轴 ϕ 值的粒度参数

Table 1 ϕ of the long axis of the conglomerate in the Jiaolai Basin

标号	地名	经度	纬度	砾石数	均值	标准方差	偏度	峰度	磨圆度	分选	偏度	峰度
A	黄崖底-1	120°47.826'	37°03.429'	121	-2.00	1.15	-0.19	1.12	棱角—次棱角	差	偏向粗粒	尖峰
	黄崖底-2	120°47.891'	37°03.315'	140	-3.52	1.16	0.07	1.23	棱角—次棱角	差	近对称	尖峰
	黄崖底-3	120°47.876'	37°03.240'	165	-2.93	1.02	0.04	1.28	次棱角	中等—差	近对称	尖峰
	黄崖底-4	120°47.617'	37°03.432'	167	-2.20	0.82	-0.16	1.25	次棱角	中等	偏向粗粒	尖峰
B	山角-1	121°06.660'	37°00.081'	139	-2.23	1.04	-0.11	1.24	棱角—次棱角	中等—差	偏向粗粒	尖峰
	山角-2	121°06.904'	37°00.453'	129	-3.47	0.89	0.12	0.85	棱角—次棱角	中等	偏向细粒	宽峰
	山角-3	121°07.063'	37°00.607'	120	-2.60	0.93	0.01	1.03	棱角—次棱角	中等—差	近对称	中等宽峰
	山角-4	121°07.399'	37°00.317'	120	-3.86	0.82	-0.06	0.95	棱角—次棱角	中等	近对称	中等宽峰
C	郭城镇	121°04.574'	37°04.055'	197	-1.21	0.88	-0.11	1.08	棱角—次棱角	中等	偏向粗粒	中等宽峰
D	朱吴镇	121°03.267'	36°57.361'	143	-2.66	1.05	-0.09	0.92	次圆状	中等—差	近对称	中等宽峰
E	桃源	121°28.107'	36°46.774'	120	-2.99	1.01	0.02	1.04	圆状—次圆状	中等—差	近对称	中等宽峰
F	皇华镇	119°27.448'	35°51.303'	137	-2.64	1.07	0.00	0.93	圆状—次圆状	中等—差	近对称	中等宽峰
G	许孟镇	119°19.010'	35°50.274'	1124	-2.85	1.21	-0.12	0.97	次圆状—圆状	差	偏向粗粒	中等宽峰
H	五莲-1	119°13.353'	35°41.058'	127	-2.58	0.90	-0.01	1.07	次棱角	中等	近对称	中等宽峰
	五莲-2	119°13.068'	35°44.664'	128	-1.05	0.86	-0.04	1.07	棱角	中等	近对称	中等宽峰
	五莲-3	119°13.440'	35°44.561'	121	-2.48	0.91	-0.09	0.86	次棱角	中等—差	近对称	宽峰
I	桑园镇	119°00.881	35°39.832'	123	-2.68	0.92	-0.01	0.79	次圆—次棱角	中等	近对称	宽峰
J	柳黄沟	19°02'4.26"	35°25'53"	120	-2.53	1.01	0.04	0.82	棱角—次棱角	中等—差	近对称	宽峰

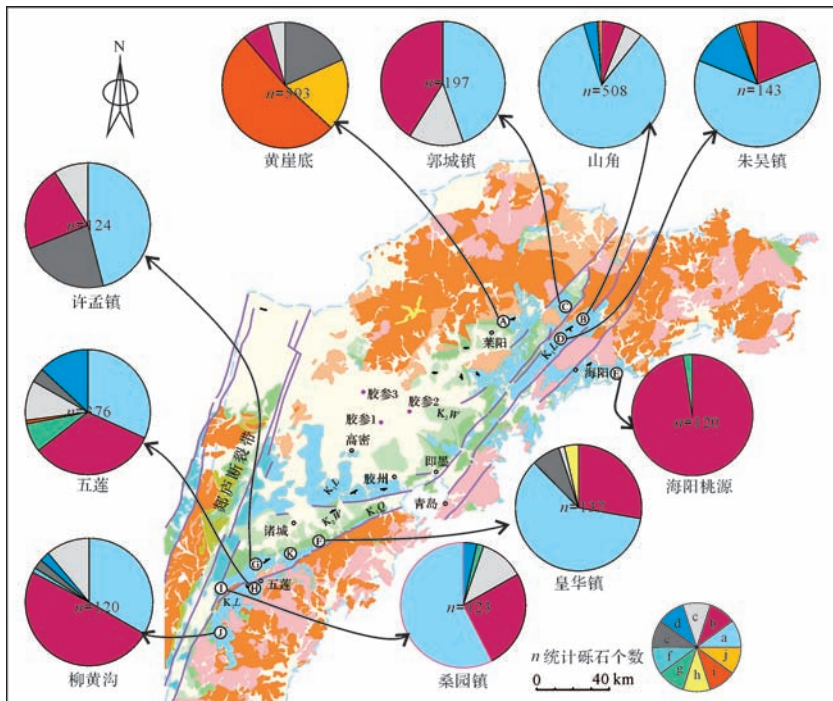


图2 胶莱盆地林寺山组砾石成分分布图

a. 花岗片麻岩; b. 花岗岩; c. 石英岩; d. 片麻岩; e. 大理岩; f. 片岩; g. 基性侵入岩; h. 砂岩; i. 黑云片岩; j. 透辉石岩。

Fig.2 The gravel components of the Linsishan Formation in the Jiaolai Basin

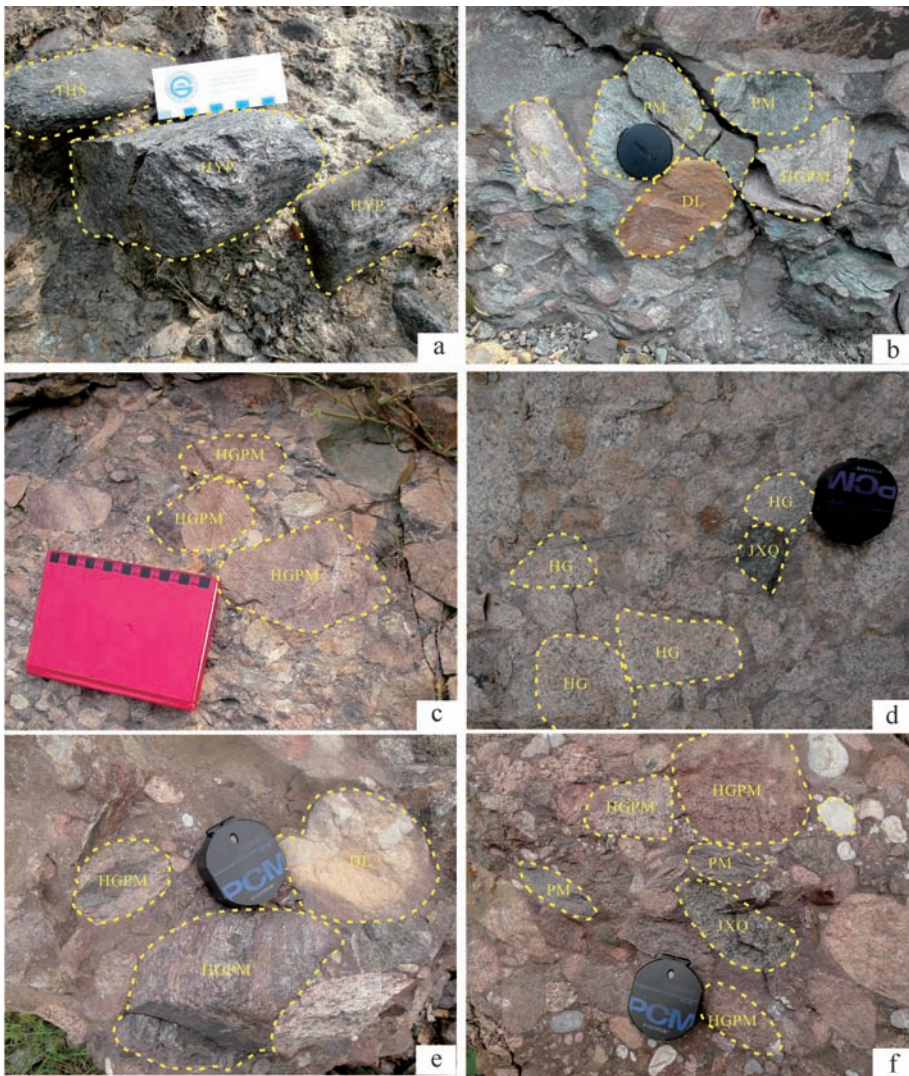


图3 胶莱盆地林寺山组砾岩砾石成分

a.黄崖底;b.朱吴镇;c.山角;d.海阳;e.许孟;f.五莲

THS.透辉岩;HYP.黑云片岩;SY.石英岩;PM.片麻岩;HGPM.花岗片麻岩;DL.大理岩;JXQ.基性侵入岩

Fig.3 Photos showing characteristics of the conglomerate from Linsishan Formation in Jiaolai Basin

莱阳黄崖底林寺山组砾岩(图4)粒度均值从下向上表现为多个细—粗的沉积旋回,偏度表现为多个偏粗粒分布—近对称分布变化旋回,表明当时水动力条件极不稳定,多期沉积事件相互叠加;砾岩峰度呈尖峰状分布,表明水动力条件极强,为干旱型冲积扇沉积;下部砾岩表现为扇根亚相,多为泥石流沉积,夹少量河道沉积(图4b,c);上部砾岩粒度、标准方差较下部有所减小,表明水动力强度较下部明显减弱,表现为扇中或扇端亚相,多为河道沉积和河道间湾沉积(图4d,e)。

山角、郭城镇、朱吴镇、桃源等地林寺山组砾岩(图4)粒度、标准方差、峰度等普遍较黄崖底小,说明

林寺山组沉积时山角水动力条件较黄崖底弱。下部多为扇根亚相,泥石流沉积(图4g);上部则为扇中亚相,以筛状沉积为主,夹漫流沉积和河道沉积(图4h~k),漫流沉积层厚度多为20~30 cm,平行层理或斜层理发育,一些漫流沉积层被水流撕裂、冲断,延伸不远即尖灭,上覆砾岩层表现为正粒序沉积,体现一种突变的水动力条件(图4j);而有些漫流沉积层厚度稳定,延伸较远,上覆砾岩层为逆粒序沉积,这反映一种渐变的水动力条件(图4h)^[45]。这种漫流沉积的发育充分的说明了当时水动力条件极不稳定,强弱转化频繁。

皇华镇和许孟镇林寺山组砾岩(图5)粒度特点

与山角相似,但沉积特征等方面与山角有显著区别,表现为湿润型冲积扇沉积。下部为扇根亚相,泥石流沉积(图 5b)。上部扇中亚相特征最为显著(图 5c, d, e),河道沉积与筛状沉积交互出现;顶部为扇端亚相,以河道沉积为主(图 5f, g),整套地层漫流沉积少见且厚度较薄(图 5e)。

五莲、桑园镇、柳黄沟地区林寺山组下部砾岩为较强水动力条件下的快速混杂堆积,为湿润型冲积扇扇根亚相沉积(图 6a, b, c)。整套沉积层序以发育一套扇三角洲相为特点,以扇三角洲前缘亚相为主(?),多表现为水下河道沉积(图 6d, e, f)。

4 盆地物源分析

4.1 砾石成分

砾岩一般属于近源沉积,砾石成分受外界改造较小,所以能直观地反应物源区母岩成分,揭示盆缘邻区山脉隆升和侵蚀演化的过程,恢复盆地初期的物源区。本次研究共统计了 10 地区(18 个测点)的砾岩成分数据(图 2)。

黄崖底林寺山组砾石成分以黑云片岩、透辉石岩为主,约占 70.4%,其次为大理岩,约为 18.3%,含少量花岗岩和石英岩,与下覆荆山群变质基底岩性一

表 2 胶莱盆地各地区林寺山组沉积特征及沉积相划分依据

Table 2 Sedimentary characteristics of Linsishan Formation in Jiaolai Basin and facies classification

地名	沉积相	亚相	岩石组合特征	岩石结构	沉积构造	沉积序列	沉积类型
黄崖底地区	干旱型冲积扇	扇根亚相	以灰褐色、灰色中—粗砾岩为主	棱角一次棱角状,分选差,可见最大粒径达 70 cm 的砾石“漂浮”于地层中;杂基支撑,基底式胶结;偶见含砾粗砂岩透镜体	呈块状,无定向性,混杂堆积,不显层理	多个细—粗沉积旋回,总体为粗—细沉积旋回	多为泥石流沉积,夹少量河道沉积
		扇中或扇端亚相	以灰褐色中—细砾岩为主,夹灰黄色薄层状粗砂岩、含砾粗砂岩	棱角一次棱角状;分选差—中等,砾径多为 2~5 cm,顶部砾岩层砾径可达 0.5~5 cm;杂基支撑,基底式胶结,基质含量高	多呈中厚层状,少量为薄层状;略显斜层理和平行层理	多个粗—细沉积旋回	多为河道沉积和河道间湾沉积
山角,郭城镇,朱吴镇,等地	干旱型冲积扇	扇根亚相	大套浅紫红中—粗砾岩	次棱角状,颗粒支撑,孔隙式胶结,分选差/中等,砾径多为 25~40 cm,部分可达 70~80 cm	呈块状,混杂堆积,缺乏侵蚀面	不显	泥石流沉积
		扇中亚相	大套浅紫红色中砾岩,偶见粗砾岩,下部夹大量薄层砂岩、含砾砂岩	颗粒支撑,孔隙式胶结,缺乏基质,呈棱角一次棱状,砾径以 5~15 cm 为主	呈块状或中厚层状,可见叠瓦构造,斜层理,正—反粒序层理	不显	以筛状沉积为主,夹漫流沉积和河道沉积
皇华镇和许孟镇地区	湿润型冲积扇	扇根亚相	浅紫红色单成分中—粗砾岩	杂基支撑,基底式胶结,分选差,砾径多为 4~20 cm,圆状—次圆状	呈块状,未见侵蚀构造	不显	泥石流沉积
		扇中亚相	以浅紫红色单成分中—粗砾岩为主	颗粒支撑—接触式胶结或颗粒支撑—接触式胶结,分选中等,最大粒径可达 40 cm,多为 8~25 cm,呈圆状—次圆状,结构成熟度较高	叠瓦构造发育,侵蚀构造不显	多个由粗—细沉积旋回	河道沉积与筛状沉积交互出现
五莲桑园镇柳黄沟地区	湿润型冲积扇	扇端亚相	紫红色含砾粗砂岩、粗砂岩、中砂岩为主,夹若干层厚约 10~20 cm 中砾岩条带	砾岩分选较好,砾径多为 4~6 cm,次圆状,杂基支撑,砂质充填,	薄—中层状,略显平行层理	总体表现下粗上细沉积旋回	河道沉积
		扇三角前缘(?)亚相	主要为紫红色中—细砾岩	粒径跨度较大,次棱角—棱角状,分选中等—差,胶结致密,砾石多呈片状,定向排列	正、反粒序层理,叠瓦构造,斜层理发育,每个粒序层理厚约 30 cm	总体由粗—细沉积旋回	水下河道沉积

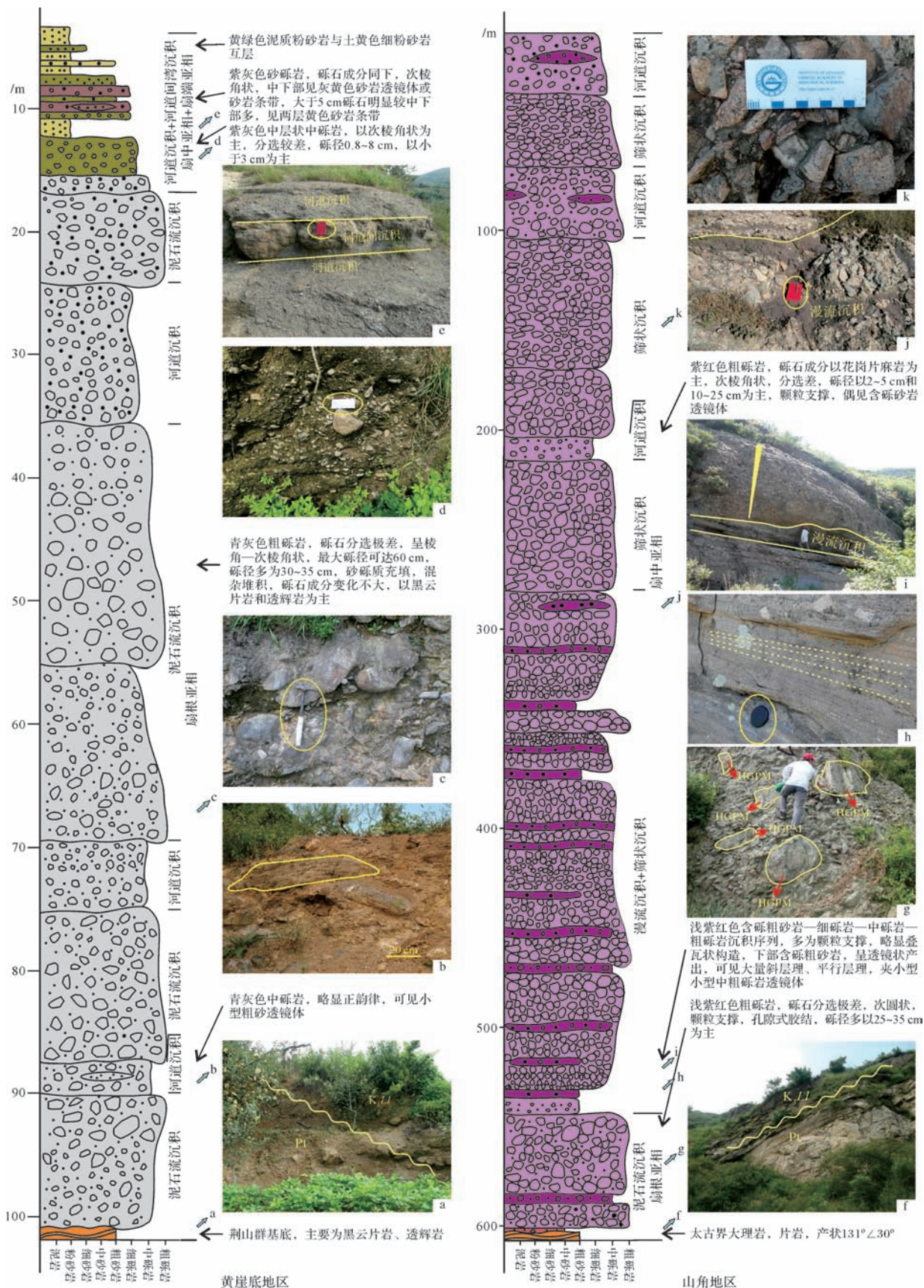


图 4 莱阳盆地北缘林寺山组沉积特征

Fig.4 Depositional characteristics of Linsishan Formation in the north of Jiaolai Basin

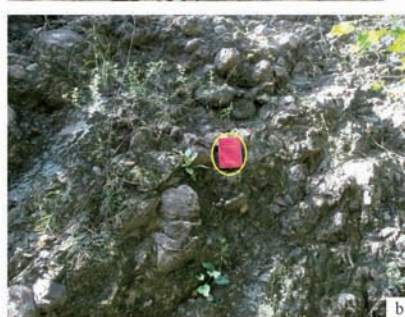
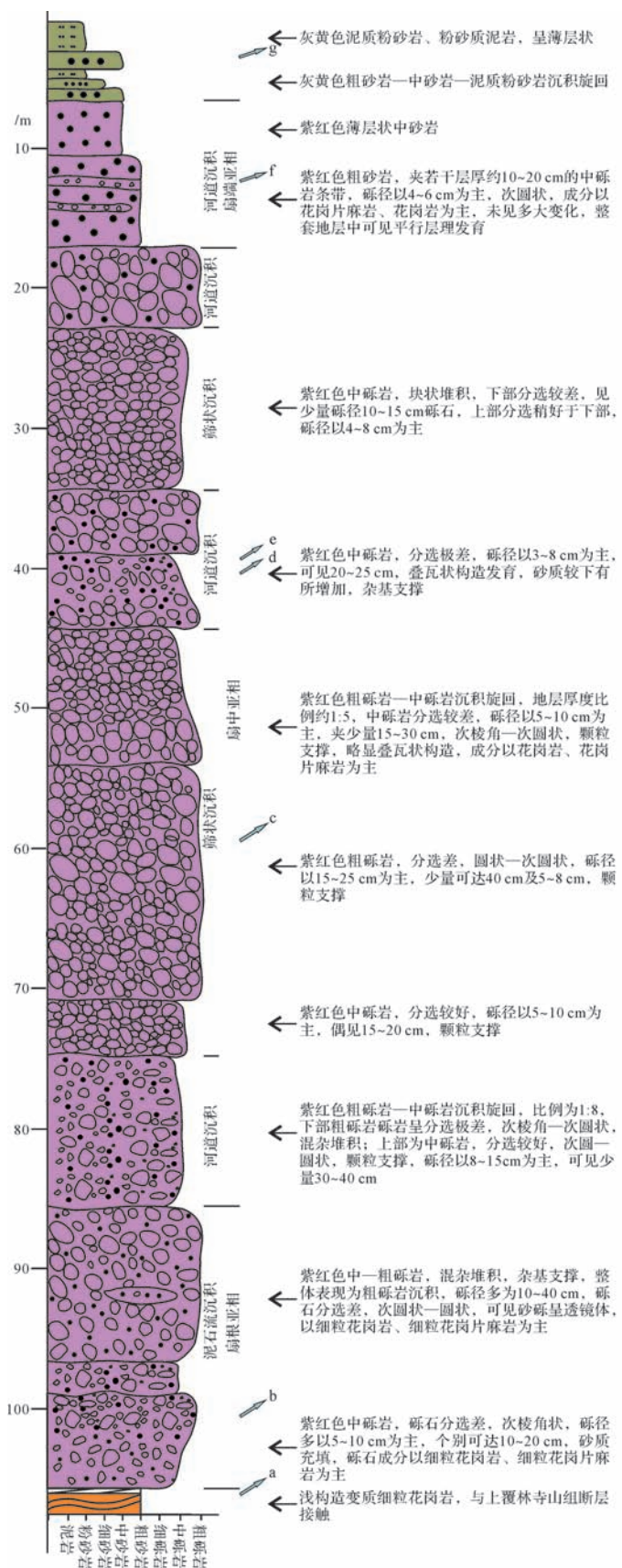


图5 莱阳盆地南缘诸城地区林寺山组沉积特征

Fig.5 Depositional characteristics of Linsishan Formation in Zhucheng, the south of Jiaolai Basin

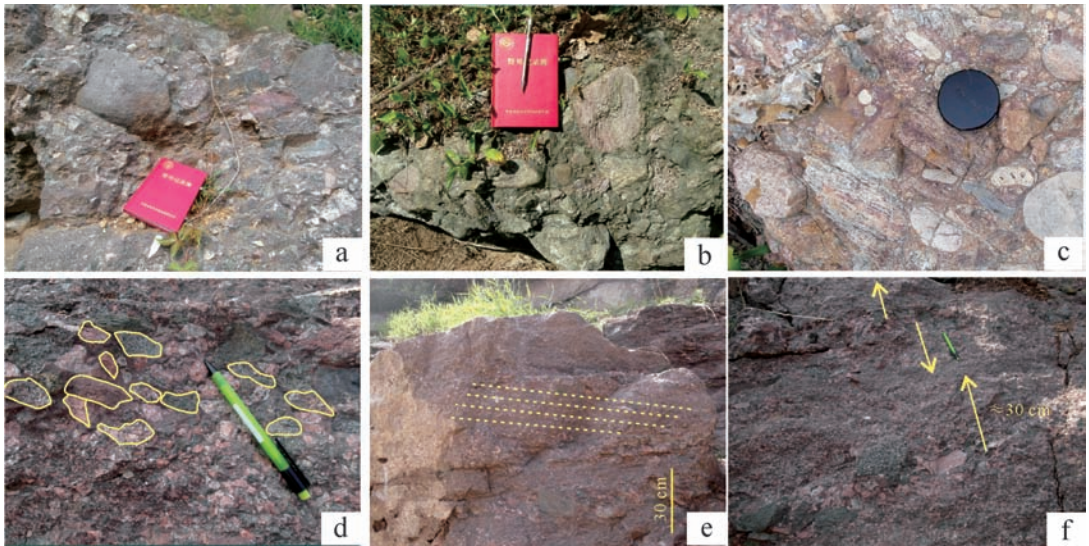


图6 莱阳盆地南缘林寺山组沉积特征

a.五莲市郊林寺山组下部冲积扇扇根亚相;b.柳黄沟村林寺山组下部冲积扇扇根亚相;c.桑园镇林寺山组下部冲积扇扇根亚相;d.五莲市郊林寺山组上部扇三角洲相(?),叠瓦构造;e.五莲市郊林寺山组上部近岸扇三角洲相(?),斜层理;f.五莲市郊林寺山组上部近岸扇三角洲相(?),正一反粒序层理。

Fig.6 Depositional characteristics of Linsishan Formation in the south of Jialai Basin

致,且砾石呈棱角—次棱角状,不具再旋回沉积砾岩特征,因此,推测黄崖底砾石可能主要来自邻近地区荆山群。桃源砾石成分以燕山期花岗岩为主,含量高达98.3%,恰好与邻近花岗岩发育特征及类型相一致,推断桃源林寺山组的物源区可能为苏鲁造山带北部地区。

其余8个统计点砾石成分较为一致,以花岗片麻岩、花岗岩为主,两者含量高达69%~85%,含少量大理岩、片麻岩等。前寒武纪花岗片麻岩及燕山期花岗岩在胶北隆起和苏鲁造山带都有大面积分布^[25,46],因此须结合古水流及砂岩碎屑锆石年代进一步分析和限定盆地物源区。

4.2 古水流

通过对林寺山组叠瓦构造和斜层理产状的实测与统计,绘制古水流玫瑰花图(图7)。由图可知,盆地北缘古流向具有明显的分带性,以即墨—牟平断裂为界,西部莱阳蒲格庄林寺山组中获得16个叠瓦数据,古流向显示为S,穴坊镇曲格庄组中获得17个斜层理数据,古流向显示为W或WS,指示莱阳北部胶北地区或东北部苏鲁造山带北部地区为古隆起,为莱阳地区提供物源。而断裂带东缘朱吴镇和山角地区林寺山组中获得的41斜层理数据,显示古水流为E或NE;桃源林寺山组和田横镇杨家庄组中获得的72个斜层理数据,古水流显示为NE—ES,优势方位为

E,表明在海阳西部存在一个古隆起(即墨—牟平隆起,并推测其基底性质与苏鲁造山北部地区相似,有相同的岩浆活动期次),为海阳地区提供物源。

盆地南缘五莲地区林寺山组中获得40个叠瓦数据,古水流自南向北流;诸城皇华镇地区、五莲许孟地区林寺山组中测得56个叠瓦数据及诸城郝戈庄地区、五莲羊角石沟村地区曲戈庄组测得16个斜层理数据,古水流较为一致,以NW为主,表明胶南隆起地势较高,可为诸城—五莲地区的提供物源。在马山地区曲戈庄组获得的32个数据中,显示为双向古水流,分别为NE和W,暗示即墨马山地区即为诸城提供物源也为即墨地区提供物源。

4.3 砂岩碎屑锆石

莱阳群各岩石地层之间多为整合接触关系,莱阳群沉积时期胶莱盆地构造运动稳定,盆山格局未发生较大变化。因此,可以借助林寺山组上覆地层砂岩中碎屑锆石U-Pb年龄来限定盆地物源区(图8,9)。

4.3.1 莱阳地区

莱阳地区莱阳群砂岩主要包含5个年龄段碎屑锆石:早白垩世(120~145 Ma)、晚三叠世(210~250 Ma)、新元古代(600~900 Ma)、古元古代(1 600~2 500 Ma)、太古宙(2 500~2 900 Ma)(图8a)。早白垩世碎屑锆石约占34.7%,与胶北隆起发育的108~173 Ma以及苏鲁造山带发育的142~161 Ma、68~135

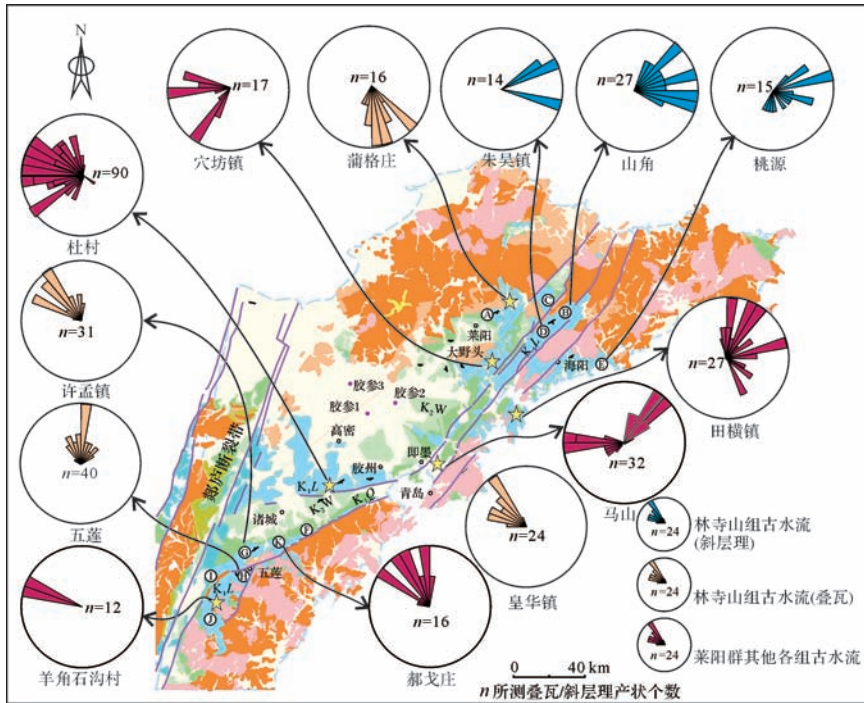


图7 胶莱盆地林寺山组古水流特征

Fig.7 Palaeocurrent of Linsishan Formation in Jiaolai Basin

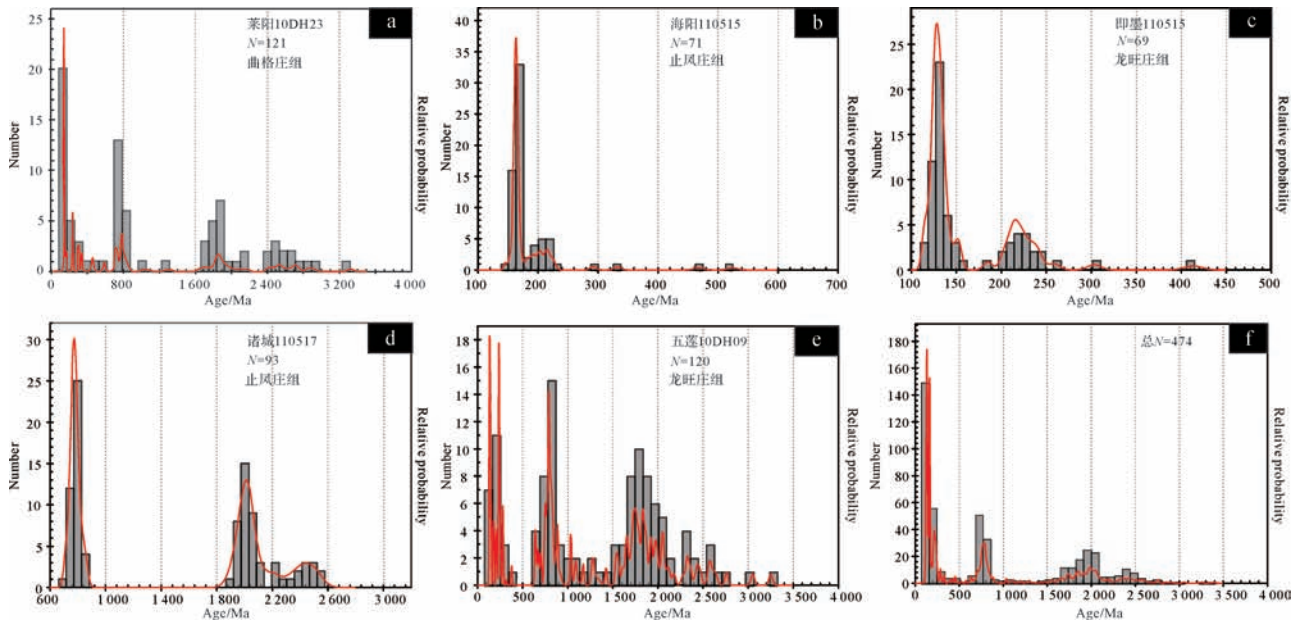


图8 胶莱盆地莱阳群砂岩碎屑锆石 U-Pb 年龄谱图

Fig.8 U-Pb age pedigree for detrital zircon from the sandstone of Laiyang Group in Jiaolai Basin

(a, e from Xie, *et al.* [28])

Ma 地质体年龄一致。晚三叠世及新元古代年龄段碎屑锆石含量可达 28%，胶北隆起区缺乏该年龄段地质体，而苏鲁造山带却含量丰富 (205~245.3 Ma, 605~888 Ma)，推测苏鲁造山带为莱阳地区三叠纪和新

元古代碎屑锆石的物源区。古元古代和太古宙年龄段碎屑锆石含量高达 28%，该年龄段地质体在胶北隆起含量丰富 (1 817~1 906 Ma, 2 468~2 537 Ma, 2 610~2 726 Ma, 2 846~2 862 Ma)，推断胶北隆起是

古元古代—太古宙年龄段碎屑锆石主要物源区。此外,可见少量古生代年龄段碎屑锆石,胶北隆起缺乏古生代岩浆作用记录,而研究表明苏鲁造山古生代发育一期岩浆活动^[28,38,47],可知莱阳地区古生代碎屑锆石可能来自于苏鲁造山带。

4.3.2 海阳—即墨地区

海阳地区莱阳群碎屑锆石 U-Pb 年龄分布与即墨地区具有一定的差异性(图 7b,c)。海阳地区以晚侏罗世碎屑锆石为主,含量达 53.5%,其次为晚三叠世—中侏罗世碎屑锆石,占 40.8%,缺失早—中三叠世、早白垩世碎屑锆石;而即墨地区主要为早白垩世

碎屑锆石,占 65%,其次为中—晚三叠世碎屑锆石,占 21.7%,缺乏中—晚侏罗世、早三叠世碎屑锆石。这种差异性刚好体现它们物源区的差异性。第一,靠近海阳地区的苏鲁造山带北部隆起区发育丰富的晚侏罗世地质体(145~161 Ma),而靠近即墨地区的胶南隆起区缺乏侏罗纪地质体;第二,胶南隆起发育大量与即墨地区碎屑锆石年龄相符早白垩世侵入体,苏鲁造山带北部隆起区缺失;第三,胶南隆起区发育中三叠世年龄段地质体,苏鲁造山带北部隆起区缺乏。综上可知,海阳地区以苏鲁造山带北部隆起区为主物源区,即墨地区以胶南隆起为主物源区。

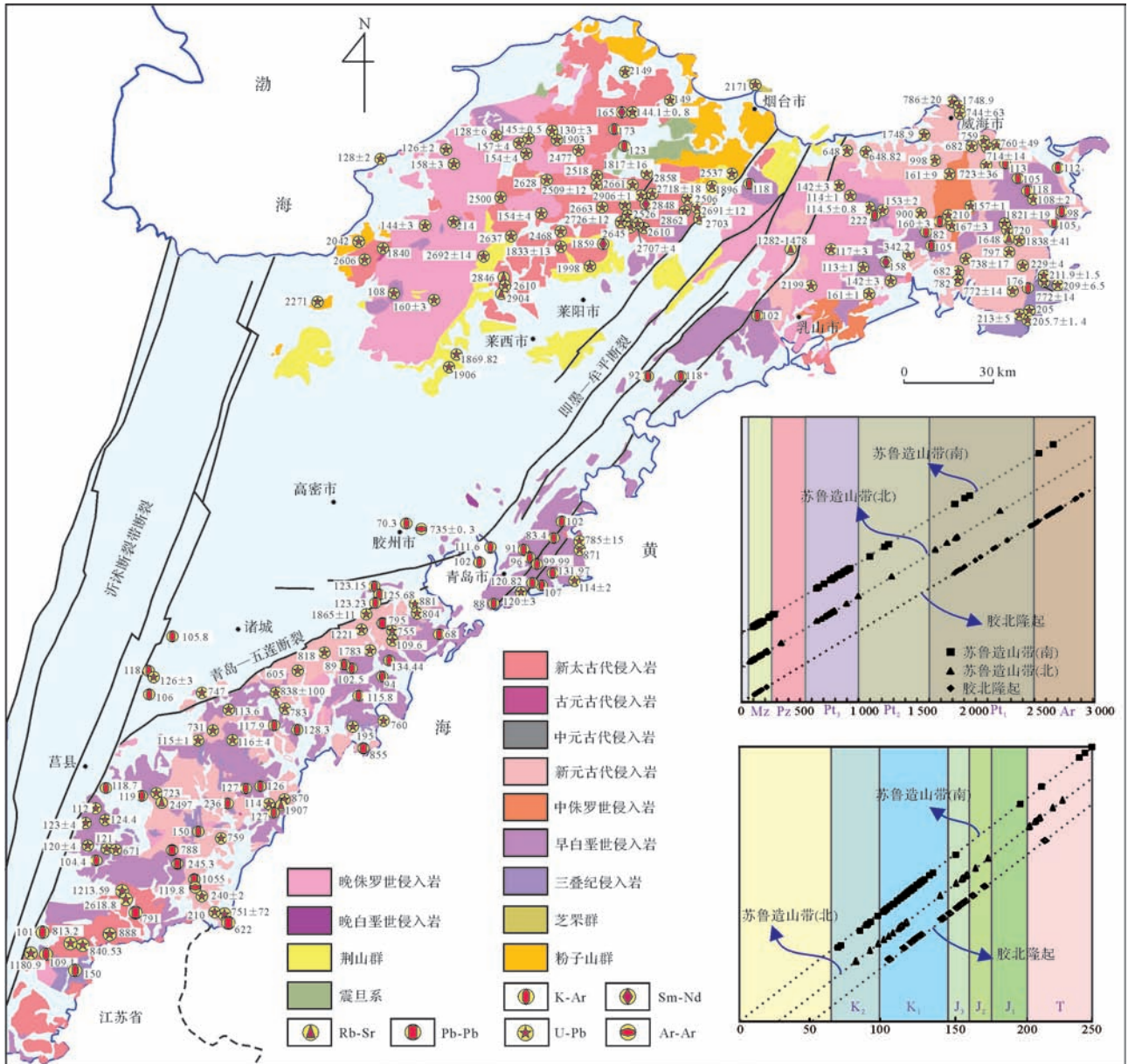


图 9 胶莱盆地各地质体年龄分布图

Fig.9 Age distribution of the geological mass in Jiaodong peninsula

4.3.3 诸城—五莲地区

诸城—五莲地区碎屑锆石(图7d,e)具有的共同特点:新元古代和古元古代碎屑锆石发育,由前文分析可知,新元古代年龄段(640~888 Ma)碎屑锆石物源区主要为苏鲁造山隆起区;古元古代年龄段碎屑锆石主要来自胶北隆起。同时在五莲地区可见少量中—晚三叠世211~244 Ma碎屑锆石颗粒,主要物源区为苏鲁造山带。

通过砾石成分、古水流、碎屑锆石U-Pb年龄三者的综合分析和相互验证可知,莱阳地区物源区主要为胶北隆起和苏鲁造山北部隆起区;海阳地区物源区主要为苏鲁造山带北部隆起区和即墨—牟平隆起区;即墨地区以胶南隆起为主要物源区;诸城—五莲地区以胶南隆起和胶北隆起隆起为主要物源区。

5 盆地及周缘造山带演化意义讨论

5.1 盆地边界探讨

莱阳地区黄崖底林寺山组为近源快速堆积,古水流为S或SW向,推测莱阳地区北缘即为林寺山期盆地北界,汇水中心位于莱阳地区南部。同时,即墨—海阳地区也表现为一套近源沉积,古水流为E向,由前面物源分析可知其北部边界和东部边界分别为苏鲁造山带北部隆起区和即墨—牟平隆起区。

多年来,众多地质学家对海阳地区的东部边界问题进行了深入探讨,通过大量重磁、地震等资料分析认为海阳地区北部和西部所出露的莱阳群仅为海阳地区一小部分,推测黄海海域还发育大量的莱阳群沉积地层^[3,19,17,20,48-49],叠置于苏鲁—千里岩隆起区之上,主要受控于千里岩—开城断裂(连云港—石岛断裂)^[27,49-51],从海阳地区北部和西部获得的一系列E、ES、EN向古水流也说明现今黄海海域当时应为汇水区,笔者推断在该断裂带为盆地东部边界:千里岩—开城隆起区。

胶南隆起区北缘和西缘虽多表现为冲积扇沉积,但是砾石磨圆度较好,代表一种较远距离搬运,以往认为它们受控于青岛—五莲断裂,但野外地质调查发现,五莲—青岛断裂及与基底接触断裂为后期形成,且可见莱阳群地层向南超覆于五莲—青岛断裂带南部基底之上,推断在盆地的南部边界应位于现今五莲—青岛断裂以南。

5.2 盆地展布格局

前人在马山—李党家区域钻探的3口深井(胶参1井、胶参2井、胶参3井)表明王氏群或青山群地

层直接覆盖在前寒武系基底之上,且马山—李党家区域南缘获得90个古水流数据,一致显示沿着马山—李党家区域南缘向西流,因此,推断马山—李党家区域在莱阳群沉积时期为低隆起(可能与胶北隆起性质相似,为诸城—五莲地区提供物源)^[20,26,51]。

通过前文对物源及盆地边界分析可知,盆地形成初期存在六个古隆起:胶北隆起、苏鲁造山带北部隆起、即墨—牟平隆起、胶南隆起、马山—李党家低隆起和千里岩—开城隆起,除马山—李党家隆起和千里岩—开城隆起因为覆盖严重,未见边缘相外,其他各隆起区均发育边缘相。结合胶莱盆地林寺山组残余地层厚度^[22]、古水流可知,胶盆地在林寺山组沉积时期存在三个汇水区,构成3个独立的湖盆:莱阳盆地、海阳—即墨盆地和诸城—五莲盆地(图10c)。

5.3 对周缘造山带演化的意义

胶莱盆地初期林寺山组的发育特点(沉积序列,物源等)对苏鲁造山带演化有哪些指示呢?胶莱盆地林寺山组(约130 Ma)砾岩中发育大量燕山期花岗岩砾石,莱阳群碎屑锆石组分多为岩浆成因的晚侏罗世—早白垩世年龄段锆石,说明林寺山组沉积之前(160~130 Ma),中侏罗世—早白垩世早期花岗侵入岩已剥露于地表。张华峰等^[52]通过胶东半岛中—晚侏罗世(160~140 Ma)和早白垩世早期(135~125 Ma)花岗岩侵入体的角闪石压力计和岩浆绿帘石压力计分析可知,它们的侵入深度大致在10~15 km,从而说明胶北隆起和苏鲁高压—超高压变质带在林寺山组沉积之前最小以0.3 km/Ma速度快速隆剥蚀(图10a)。

沉积序列是构造事件潜在的重要沉积指标,挤压构造背景下常形成向上变粗的沉积序列,拉张应力下常形成向上变细的沉积序列。整个胶莱盆地莱阳群总体表现为向上变细的沉积序列,盆地形成初期,构造极不稳定,由于拉张作用在各个盆地周缘形成狭小裂缝,沉积一套粗碎屑(林寺山组);随着进一步拉张,各盆地可容空间增大,逐渐转变为是一套细碎屑沉积,到达水南组沉积时期,湖相地层最为发育,为盆地壮年期。林寺山组垂向沉积厚度较薄,约100~200 m,向上迅速转变为河湖相沉积,体现为一种快速断陷成盆的构造环境,盆地基底快速沉降,物源补给速度较慢,导致可容纳空间迅速增大。此外,从盆地展布格局(图10c)可知,海阳—即墨盆地完全坐落在苏鲁造山带之上,莱阳盆地、诸城—五莲盆地林寺山组分别向北和向南超覆于造山带之上,由此可见,胶东

半岛在经历晚侏罗世—早白垩世早期快速隆升后,于早白垩世中期构造应力发生突变,整个胶东半岛,包括苏鲁造山带及胶北隆起发生了大规模的垮塌、成盆作用。这种造山带垮塌成盆作用不仅发生在苏鲁造山带,天山—兴蒙造山带、秦岭—大别造山带(图 10b)都有所表现^[53-54]。

秦岭—大别造山带垮塌时限与苏鲁造山带垮塌时限一致,早白垩世大别山造山带核部发育毛坦厂组、黑石渡组;毛毯厂组为一套火山岩夹沉积岩沉积,安山岩的 K-Ar 同位素年龄为 150~130 Ma,沉积岩中可见榴辉岩砾石^[55-58],火山岩地球化学特征显示为板块聚敛火山弧^[59],反应一种挤压环境;而上伏早白垩世中—晚期黑石渡组下部为近源碎屑流沉积,沉积厚度薄,上部为湖相沉积岩,欠补偿沉积,受大别造山带核部正断层控制,坐落于大别山造山带之上^[60-63],表明 130 Ma 之后大别山造山带核部发生了快速垮塌、成盆作用。此外,早白垩世中期,华北南缘—北秦岭造山带及邻近盆地依次朝 S、SW 迁移,沉积物超覆于造山带之上,下部同样沉积一套较薄的砾岩层,其后迅速转变为半深湖、深湖相泥页岩层,同样反映了一种快速、欠补偿成盆的特点。天山—兴蒙造山带垮塌时限早于南部秦岭—大别—苏鲁造山带垮塌时限,为晚侏罗世—早白垩世,同样表现出相似的沉积特征^[53,64-65],如东戈壁盆地^[66]。

华南板块于晚三叠世沿秦岭—大别—苏鲁造山带与华北克拉通发生拼合之后^[67-68],在侏罗纪经历

强烈构造挤压的方式折返^[69-71],并于早侏罗世折返到地表,向合肥及周缘盆地供给物源^[58,69,71-73]。随着挤压作用的持续进行,华北克拉通南部秦岭—大别—苏鲁造山带及邻区地壳强烈缩短^[53,63],岩石圈加厚,达到一定临界值后,造山带发生去根作用,进而软流圈物质上涌^[74],导致秦岭—大别—苏鲁造山带及邻区迅速垮塌成盆。此时,无论是胶东地区还是鲁西地块都发育大量的岩浆活动,表现为双峰式岩浆作用,构造应力由挤压为主转换为伸展为主。华北周缘及其内部发育大量的变质核杂岩,如:呼和浩特、云蒙山等,伸展方向与胶莱盆地一致,为 NW—SW^[15,17,30,75-76]。此时,伊泽纳崎板块的俯冲方向由 NE 转为 W^[77-78],也可能从一定程度上触发了造山带的去根作用。综上分析可知,早白垩世中期(约 130 Ma),为一重要构造转换时期,林寺山组的沉积标志着整个秦岭—大别—苏鲁造山带大规模塌陷成盆的开始(图 10b)。

6 结论

(1) 胶莱盆地林寺山组粒径均值主要集中在 -2.00~-3.86(4~14.6 cm),个别粒径达到 -6.29(78 cm)。标准方差、偏度、峰度的范围分别为 0.82~1.21, -0.11~0.12, 0.82~1.28,各个砾石测点之间存在差异性,反应它们形成环境的异同性。北部黄崖底的林寺山组砾石成分以黑云片岩、透辉石岩、大理岩为主,郭城镇以花岗岩和花岗片麻岩为主,山角、朱吴

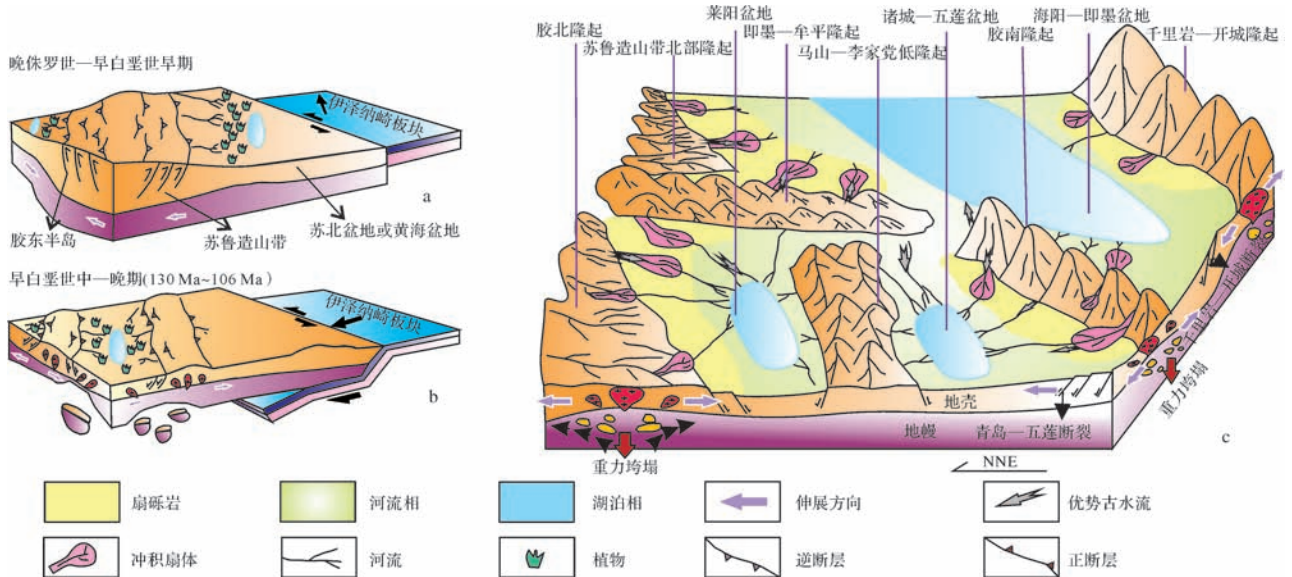


图 10 莱阳盆地林寺山组沉积时期的沉积模式

Fig.10 The depositional model of Jiaolai Basin in the sedimentary period of the Linsishan Formation

(图 a,b modified from Xu et al.^[78])

镇以花岗片麻岩为主,其次为花岗岩和片麻岩,海阳桃源几乎全为花岗岩。南部皇华镇、许孟镇、五莲、柳黄沟以花岗岩和花岗片麻岩为主。

(2) 黄崖底地区为干旱型冲积扇沉积,下部为扇根亚相,多为泥石流沉积,夹少量河道沉积;上部为扇中或扇端亚相,多为河道沉积和河道间湾沉积。山角、郭城镇、朱吴镇等地林寺山组为干旱型冲积扇沉积,下部多为扇根亚相,泥石流沉积;上部为扇中亚相,以筛状沉积为主,夹漫流沉积和河道沉积。盆地南缘皇华镇和许孟镇地区为湿润型冲积扇沉积,下部为扇根亚相,泥石流沉积;上部为扇中亚相,河道沉积与筛状沉积交互出现;顶部为扇端亚相,河道沉积为主。五莲、桑园镇、柳黄沟地区下部为湿润型冲积扇扇根亚相,泥石流沉积;上部为近源扇三角洲相,以水下辫状河道沉积为主。

(3) 胶莱盆地被六个隆起区分割成三个独立湖盆:莱阳盆地、海阳—即墨盆地、诸城—五莲盆地组成。莱阳盆地的物源区主要为胶北隆起和苏鲁造山带北部隆起;海阳—即墨盆地中海阳地区以苏鲁造山带北部隆起和即墨—牟平隆起为主物源区,即墨地区以胶南隆起为主物源区;诸城—五莲盆地以胶南隆起和胶北隆起为主要物源区。

(4) 早白垩世中期(约130 Ma)为一重要构造转换时期,标志着胶莱盆地的形成及秦岭—大别—苏鲁造山带大规模塌陷成盆作用的启动。

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的热情帮助和指导;另外,还要感谢本文审稿人提出的的评审意见和有益建议,以及编辑们负责、细致和辛苦的工作,在此一并表示衷心感谢。

参考文献 (References)

- 1 王建强,贾楠,刘池洋,等. 鄂尔多斯盆地西南部下白垩统宜君组砾岩砾组分析及其意义[J]. 沉积学报,2011,29(2):226-234. [Wang Jianqiang, Jia Nan, Liu Chiyang, et al. Fabric analysis of Yijun gravels of Lower Cretaceous in the southwestern Ordos basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(2): 226-234.]
- 2 赵学钦,杨树锋,陈汉林,等. 中国黑龙江东部鸡西盆地白垩纪多期砾岩特征及古地理意义[J]. 北京大学学报:自然科学版,2012,48(3):419-432. [Zhao Xueqin, Yang Shufeng, Chen Hanlin, et al. Features of multistage cretaceous conglomerate deposition and its Palaeogeographic significance in Jixi Basin of eastern Heilongjiang, NE China[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2012, 48(3): 419-432.]
- 3 陈清华,宋若微,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 Chinghua, Sun Nuowei, Dai Zhensheng, et al. Jiaolai Basin gravitic and magnetic data interpretation and structure analysis[J]. Progress in Geophysics, 1994, 9(3): 70-79.]
- 4 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 Jiusheng. The Formation and Development of the Jiaolai Basin[M]. Dongying: University of Petroleum Press, 1994: 1-174.]
- 5 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.]
- 6 刘和甫,夏义平,殷进垠,等. 走滑造山带与盆地耦合机制[J]. 地学前缘,1999,6(3):121-131. [Liu Hefu, Xia Yiping, Yin Jinyin, et al. Coupling mechanism of strike-slip orogen and basin[J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(3): 121-131.]
- 7 周建波,胡克,申宁华,等. 郯庐断裂中段石场——中楼拉分盆地的确定[J]. 地质科学,1999,34(1):18-28. [Zhou Jianbo, Hu Ke, Shen Ninghua, et al. Determination of Shichang-Zhonglou pull-apart basin in middle section of Tancheng-Lujiang Fault[J]. Scientia Geologica Sinica, 1999, 34(1): 18-28.]
- 8 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):345-347. [Liao Yuantao. The pattern and tectonic evolution of Jiaolai Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2002, 23(4): 345-347.]
- 9 Zhang Y Q, Dong S W, Shi W. Cretaceous deformation history of the middle Tan-Lu fault zone in Shandong Province, eastern China[J]. Tectonophysics, 2003, 363(3/4): 243-258.
- 10 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):123-133. [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 Frontiers, 2004, 11(3): 123-133.]
- 11 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 Huafeng, 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.]
- 12 黄太岭. 胶莱盆地地区地球物理场特征及构造单元划分[J]. 山东地质,2000,16(3):41-47. [Huang Tailing. Characteristic of regional geophysical field in Jiaolai Basin and its tectonic unit division[J]. Geology of Shandong, 2000, 16(3): 41-47.]
- 13 翟慎德. 胶莱盆地形成演化与油气形成条件[D]. 广州:中国科学院研究生院(广州地球化学研究所),2003:1-185. [Zhai Shende. Formation and evolution of Jiaolai Basin and formation condition of combination gas[D]. Guangzhou: Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 2003: 1-185.]
- 14 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.]
- 15 任凤楼,张岳桥,邱连贵,等. 胶莱盆地白垩纪构造应力场与转换机制[J]. *大地构造与成矿学*, 2007, 31(2): 157-167. [Ren Fenglou, Zhang Yueqiao, Qiu Liangui, et al. Evolution of the structural stress field in Jiaolai Basin in Cretaceous[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2007, 31(2): 157-167.]
 - 16 佟彦明. 胶莱盆地莱阳期古构造应力场分析及模拟[J]. *大庆石油地质与开发*, 2007, 26(1): 6-9. [Tong Yanming. The paleotectonic stress field at Laiyang Stage in Jiaolai Basin and the simulation[J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2007, 26(1): 6-9.]
 - 17 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, 82(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, 82(9): 1229-1257.]
 - 18 姜同海. 胶莱盆地构造特征及演化[D]. 青岛: 山东科技大学, 2005: 1-45. [Jiang Tonghai. The structural characteristics and evolution of Jiaolai Basin[D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2005: 1-45.]
 - 19 姜在兴,熊继辉,王留奇,等. 胶莱盆地白垩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.]
 - 20 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.]
 - 21 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.]
 - 22 李金良. 胶莱盆地沉积分析及构造演化[D]. 北京: 中国地质科学院, 2006: 1-165. [Li Jinliang. Analysis of sedimentary and tectonic evolution of the Jiaolai Basin[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2006: 1-165.]
 - 23 李凌. 胶莱盆地莱阳期原型盆地格局[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2006: 1-78. [Li Ling. The pattern of prototype basin during the period of Laiyang Formation in Jiaolai Basin[D]. Qingdao: China University of Petroleum, 2006: 1-78.]
 - 24 任凤楼,柳忠泉,邱连贵,等. 胶莱盆地莱阳期原型盆地恢复[J]. *沉积学报*, 2008, 26(2): 221-233. [Ren Fenglou, Liu Zhongquan, Qiu Liangui, et al. The prototype character of Jiaolai Basin in Cretaceous Laiyang Period[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2008, 26(2): 221-233.]
 - 25 李双应,孟庆任,李任伟,等. 山东胶莱盆地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 Shuangying, 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.]
 - 26 许克民. 山东胶莱盆地白垩纪构造层序地层与盆地形成演化[D]. 武汉: 中国地质大学(武汉), 2008: 1-42. [Xu Kemin. Tectonic sequence stratigraphy and basin formation and evolution of Cretaceous in Jiaolai Basin Shandong[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2008: 1-42.]
 - 27 侯方辉,李日辉,张训华,等. 胶莱盆地向南黄海延伸——来自南黄海地震剖面的新证据[J]. *海洋地质前沿*, 2012, 28(3): 12-16. [Hou Fanghui, Li Rihui, Zhang Xunhua, et al. Jiaolai Basin Extending into South Yellow Sea: Evidence from a new seismic profile in South Yellow Sea[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2012, 28(3): 12-16.]
 - 28 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.
 - 29 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. Detachment systems in deep of Jiaolai Basin and their regional tectonic significance[J]. *Oil & Gas Geology*, 2006, 27(4): 504-511.]
 - 30 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(3): 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(3): 289-300.]
 - 31 Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L, et al. Exhumation of ultrahigh-pressure continental crust in east central China: Late Triassic-Early Jurassic tectonic unroofing[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2000, 105(B6): 13339-13364.
 - 32 Hacker B R, Wallis S R, Ratschbacher L, et al. High-temperature geochronology constraints on the tectonic history and architecture of the ultrahigh-pressure Dabie-Sulu Orogen[J]. *Tectonics*, 2006, 25(5), doi: 10.1029/2005TC001937.
 - 33 Hacker B R, Wallis S R, McWilliams M O, et al. ⁴⁰Ar/³⁹Ar Constraints on the tectonic history and architecture of the ultrahigh-pressure Sulu orogen[J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 2009, 27(9): 827-844, doi: 10.1111/j.1525-1314.2009.00840.x.
 - 34 林伟,王清晨,石永红. 大别山-苏鲁碰撞造山带构造几何学、运动学和岩石变形分析[J]. *岩石学报*, 2005, 21(4): 1195-1214. [Lin Wei, Wang Qingchen, Shi Yonghong. Architecture, kinematics and deformation analysis in Dabie-Sulu collision zone[J]. *Acta Petrologica*

- Sinica, 2005, 21(4): 1195-1214.]
- 35 刘顺生, Ulrich G, 许志琴, 等. 苏鲁超高压变质岩的构造热历史: 中国大陆科学钻探工程 (CCSD) 主孔 (MH) 和先导孔 (PP2) 的磷灰石裂变径迹约束[J]. 岩石学报, 2009, 25(7): 1612-1618. [Liu Shunsheng, Ulrich G, Xu Zhiqin, et al. Thermotectonic history of Sulu UHP metamorphic rock: Apatite fission track constraints from MH and PP2 of CCSD[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(7): 1612-1618.]
- 36 Xu Z Q, Yang W C, Ji S C, et al. Deep root of a continent - continent collision belt: Evidence from the Chinese Continental Scientific Drilling (CCSD) deep borehole in the Sulu ultrahigh-pressure (HP-UHP) metamorphic terrane, China[J]. Tectonophysics, 2009, 475(2): 204-219.
- 37 Yang W C. The crust and upper mantle of the Sulu UHPM belt[J]. Tectonophysics, 2009, 475(2): 226-234.
- 38 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 drillholes[J]. Tectonophysics, 2009, 475(2): 359-382.
- 39 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.]
- 40 李金良, 张岳桥, 柳宗泉, 等. 胶莱盆地改造作用与油气保存条件[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2008, 32(6): 28-32, 39. [Li Jinliang, Zhang Yueqiao, Liu Zongquan, et al. Reformation and hydrocarbon preservation conditions of Jiaolai Basin[J]. Journal of China University of Petroleum, 2008, 32(6): 28-32, 39.]
- 41 霍腾飞, 杨德斌, 许文良, 等. 胶莱盆地早白垩世瓦屋组砂岩中碎屑锆石 U-Pb-Hf 同位素组成及其构造意义[J/OL]. 北京: 中国科技论文在线 [2014-01-02]. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201401-59>. [Huo Tengfei, Yang Debin, Xu Wenliang, et al. Detrital Zircon U-Pb-Hf isotope of the sandstone from the Early Cretaceous Wawukuang Formation in the Jiaolai Basin, Shandong province and its tectonic implications[J/OL]. Beijing: Sciencepaper Online [2014-01-02]. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201401-59>.]
- 42 邱检生, 王德滋, 罗清华, 等. 鲁东胶莱盆地青山组火山岩的⁴⁰Ar-³⁹Ar 定年——以五莲分岭火山机构为例[J]. 高校地质学报, 2001, 7(3): 351-355. [Qiu Jiansheng, Wang Dezi, Lou Qinghua, et al. ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating for volcanic rocks of Qingshan Formation in Jiaolai Basin, eastern Shandong province: A case study of the Fenshingshan volcanic apparatus in Wulian county[J]. Geological Journal of China Universities, 2001, 7(3): 351-355.]
- 43 凌文黎, 谢先军, 柳小明, 等. 鲁东中生代标准剖面青山群火山岩锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 2006, 36(5): 401-411. [Ling Wenli, Xie Xianjun, Liu Xiaoming, et al. The zircon U-Pb age of the Qingshan Group volcano and the tectonic significance from Mesozoic standard section in Easter of Shandong[J]. Science China (Seri.D): Earth Sciences, 2006, 36(5): 401-411.]
- 44 匡永生, 庞崇进, 罗震宇, 等. 胶东青山群基性火山岩的 Ar-Ar 年代学和地球化学特征: 对华北克拉通破坏过程的启示[J]. 岩石学报, 2012, 28(4): 1073-1091. [Kuang Yongsheng, Pang Chongjin, Luo Zhenyu, et al. ⁴⁰Ar-³⁹Ar geochronology and geochemistry of mafic rocks from Qingshan Group, Jiaodong area: Implications for the destruction of the North China Craton[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(4): 1073-1091.]
- 45 周江羽, 李思田, 杨士恭, 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, north-east border of Jiaolai Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(1): 140-146.]
- 46 薛怀民, 刘福来, 许志琴. 苏鲁超高压变质带西北缘五莲断裂外侧浅变质花岗片麻岩的地球化学特征与原岩成因研究[J]. 中国地质, 2005, 32(2): 249-258. [Xue Huaimin, Liu Fulai, Xu Zhiqin. Geochemical characteristics of weakly metamorphosed orthogneisses outside the Wulian boundary fault along the northwestern margin of the Sulu UHP metamorphic belt and their protolith petrogenesis[J]. Geology in China, 2005, 32(2): 249-258.]
- 47 Liu F L, Liou J G. Zircon as the best mineral for P-T-time history of UHP metamorphism: a review on mineral inclusions and U-Pb SHRIMP ages of zircons from the Dabie-Sulu UHP rocks[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011, 40(1): 1-39.
- 48 唐华风, 程日辉, 白云风, 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.]
- 49 徐贵忠, 蔡燕杰, 周瑞, 等. 山东胶莱盆地形成的动力学条件及其与金成矿作用的相关性讨论[J]. 现代地质, 2004, 18(1): 8-16. [Xu Guizhong, Cai Yanjie, Zhou Rui, et al. Discussion on the dynamic conditions of Formation of Jiaolai Basin and its relation to gold mineralization[J]. Geoscience, 2004, 18(1): 8-16.]
- 50 林钧堂. 对鲁东大地构造单元划分的建议[J]. 山东地质, 1991, 7(1): 38-51. [Lin Juntang. Proposal concerning division of the tectonic units in Shandong[J]. Geology Shandong, 1991, 7(1): 38-51.]
- 51 吴琳, 许红, 何将启, 等. 北黄海盆地与朝鲜安州盆地和中国胶莱盆地的对比[J]. 海洋地质动态, 2004, 20(8): 22-26. [Wu Lin, Xu Hong, He Jiangqi, et al. Comparison of the North Yellow Sea Basin with Anju Basin of Korea and Jiaolai Basin of China[J]. Marine Geology Letters, 2004, 20(8): 22-26.]
- 52 张华锋, 李胜荣, 翟明国, 等. 胶东半岛早白垩世地壳隆升剥蚀及其动力学意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(2): 285-295. [Zhang Huafeng, Li Shengrong, Zhai Mingguo, et al. Crust uplift and its implications in the Jiaodong Peninsula, eastern China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(2): 285-295.]
- 53 孟庆任, 胡健民, 袁选俊, 等. 中蒙边界地区晚中生代伸展盆地的结构、演化和成因[J]. 地质通报, 2002, 21(4/5): 224-231. [Meng

- Qingren, Hu Jianmin, Yuan Xuanjun, et al. Structure, evolution and origin of Late Mesozoic extensional basins in the China-Mongolia border region[J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(4/5): 224-231.]
- 54 旷红伟, 柳永清, 刘燕学, 等. 兴蒙造山区及邻区早白垩世盆地岩石地层格架与沉积古地理演化[J]. *地质通报*, 2013, 32(7): 1063-1084. [Kuang Hongwei, Liu Yongqing, Liu Yanxue, et al. Stratigraphy and depositional palaeogeography of the Early Cretaceous basins in Da Hinggan Mountains-Mongolia orogenic belt and its neighboring areas[J]. *Geological Bulletin of China*, 2013, 32(7): 1063-1084.]
- 55 杨为民, 杨有根. 北淮阳地区的中生界[J]. *安徽地质*, 1995, 5(4): 11-17. [Yang Weimin, Yang Yougeng. The Mesozoic group of the Beihuaiyang area[J]. *Geology of Anhui*, 1995, 5(4): 11-17.]
- 56 金福全, 刘因, 王道轩, 等. 关于三尖铺组——大别山北麓的侏罗纪地层问题[J]. *安徽地质*, 1999, 9(4): 241-249. [Jin Fuquan, Liu Yin, Wang Daoxuan, et al. On the Sanjianpu Formation-A problem of the Jurassic strata at the northern foot of the Dabieshan MTS[J]. *Geology of Anhui*, 1999, 9(4): 241-249.]
- 57 李双应, 岳书仓, 王道轩, 等. 大别造山带超高压变质岩折返隆升的地层学证据——毛坦厂组榴辉岩砾石的启示[J]. *地质论评*, 2002, 48(4): 345-352. [Li Shuangying, Yue Shucang, Wang Daoxuan, et al. Stratigraphic evidence of the exhumation and uplift of Ultrahigh-Pressure Metamorphic Rocks in the Dabie Orogenic Belt: Enlightenment from eclogite gravels in the Maotanchang Formation[J]. *Geological Review*, 2002, 48(4): 345-352.]
- 58 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 Shuangying, 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.]
- 59 张艳, 王璞珺, 程日辉, 等. 合肥盆地上侏罗统毛坦厂组火山岩地球化学特征及其对盆地性质的指示作用[J]. *世界地质*, 2005, 25(3): 237-244. [Zhang Yan, Wang Pujun, Cheng Rihui, et al. Geochemistry of Late Jurassic volcanic rocks of Maotanchang Formation and its indication to Hefei Basin[J]. *Global Geology*, 2006, 25(3): 237-244.]
- 60 李双应, 王道轩, 刘因, 等. 大别造山带北缘中生代冲积体系对源区构造的沉积响应[J]. *地质通报*, 2002, 21(8/9): 541-546. [Li Shuangying, Wang Daoxuan, Liu Yin, et al. Sedimentological response of Mesozoic alluvial depositional systems to tectonism in the source area on the northern margin of the Dabie orogenic belt[J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(8/9): 541-546.]
- 61 李双应, 李任伟, 王道轩, 等. 大别山北缘早白垩世黑石渡组沉积体系研究[J]. *沉积学报*, 2004, 22(4): 566-572. [Li Shuangying, Li Renwei, Wang Daoxuan, et al. Depositional system of Early Cretaceous Heishidu Formation in the north margin of the Dabie Mountains[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(4): 566-572.]
- 62 Liu S F, Zhang G W, Ritts B D, et al. Tracing exhumation of the Dabie Shan ultrahigh-pressure metamorphic complex using the sedimentary record in the Hefei Basin, China[J]. *GSA Bulletin*, 2010, 122(1/2): 198-218.
- 63 刘少峰, 张国伟. 大别造山带周缘盆地发育及其对碰撞造山过程的指示[J]. *科学通报*, 2013, 58(1): 1-26. [Liu Shaofeng, Zhang Guowei. Mesozoic basin development and its indication of collisional orogeny in the Dabie orogen[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 58(1): 1-26.]
- 64 Meng Q R. What drove Late Mesozoic extension of the northern China-Mongolia tract? [J]. *Tectonophysics*, 2003, 369(3/4): 155-174.
- 65 Meng Q R, Hu J M, Jin J Q, et al. Tectonics of the late Mesozoic wide extensional basin system in the China-Mongolia border region [J]. *Basin Research*, 2003, 15(3): 397-415.
- 66 Graham S A, Hendrix M S, Johnson C L, et al. Sedimentary record and tectonic implications of Mesozoic rifting in southeast Mongolia[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2001, 113(12): 1560-1579.
- 67 朱日祥, 杨振宇, 吴汉宁, 等. 中国主要地块显生宙古地磁视极移曲线与地块运动[J]. *中国科学(D辑): 地球科学*, 1998, 28(增刊1): 1-16. [Zhu Rixiang, Yang Zhengyu, Wu Hanning, et al. The primary block of paleomagnetism polar Wander Path and the block in China[J]. *Science China (Seri.D): Earth Sciences*, 1998, 28(Suppl.1): 1-16.]
- 68 Meng Q R, Zhang G W. Timing of collision of the North and South China blocks: Controversy and reconciliation[J]. *Geology*, 1999, 27(2): 123-126.
- 69 孟庆任, 李任伟, 李双应. 中生代合肥盆地南部的沉积过程与大别山变质地体的剥露[J]. *岩石学报*, 2005, 21(4): 1145-1156. [Meng Qingren, Li Renwei, Li Shuangying. Mesozoic sedimentation of the southern Hefei Basin and exhumation of the Dabieshan metamorphic terrane [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 21(4): 1145-1156.]
- 70 Meng Q R, Li S Y, Li R W. Mesozoic evolution of the Hefei basin in eastern China: Sedimentary response to deformations in the adjacent Dabieshan and along the Tanlu fault[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2007, 119(7/8): 897-916.
- 71 李任伟, 孟庆任, 李双应. 大别山及邻区侏罗和石炭纪时期盆—山耦合: 来自沉积记录的认识[J]. *岩石学报*, 2005, 21(4): 1133-1143. [Li Renwei, Meng Qingren, Li Shuangying. Coupling of the Jurassic and Carboniferous basins with the orogens in the Dabie Shan and adjacent area: constraints from sedimentary record[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 21(4): 1133-1143.]
- 72 Li R W, Wan Y S, Cheng Z Y, et al. Provenance of Jurassic sediments in the Hefei Basin, east-central China and the contribution of high-pressure and ultrahigh-pressure metamorphic rocks from the Dabie Shan[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2005, 231(3/4): 279-294.
- 73 任凤楼. 合肥盆地中生界沉积物物源分析及构造意义[J]. *地质科技情报*, 2008, 27(2): 25-33. [Ren Fenglou. Provenance analysis of Mesozoic Hefei Basin and tectonic significance[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2008, 27(2): 25-33.]
- 74 冀文斌, 林伟, 石永红, 等. 大别山早白垩世变质核杂岩的结构与演化[J]. *地质科学*, 2011, 46(1): 161-180. [Ji Wenbin, Lin Wei,

- Shi Yonghong, et al. Structure and evolution of the Early Cretaceous Dabieshan metamorphic core complex [J]. Chinese Journal of Geology, 2011, 46(1): 161-180.]
- 75 Lin W, Wang Q C. Late Mesozoic extensional tectonics in the North China Block: A crustal response to subcontinental mantle removal? [J]. Bulletin de la Société Géologique de France, 2006, 177(6): 287-294.
- 76 林少泽,朱光,严乐佳,等. 胶东地区玲珑岩基隆升机制探讨[J]. 地质论评, 2013, 59(5): 832-844. [Lin Shaoze, Zhu Guang, Yan Lejia, et al. Discussion on uplifting mechanism of the Linglong Batholith in eastern Shandong[J]. Geological Review, 2013, 59(5): 832-844.]
- 77 肖庆辉,刘勇,冯艳芳,等. 中国东部中生代岩石圈演化与太平洋板块俯冲消减关系的讨论[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 1092-1101. [Xiao Qinghui, Liu Yong, Feng Yanfang, et al. A preliminary study of the relationship between Mesozoic lithosphere evolution in eastern China and the subduction of the Pacific plate[J]. Geology in China, 2010, 37(4): 1092-1101.]
- 78 Xu W L, Pei F P, Wang F, et al. Spatial-temporal relationships of Mesozoic volcanic rocks in NE China: constraints on tectonic overprinting and transformations between multiple tectonic regimes[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2013, 74: 167-193, doi: 10.1016/j.jseas.2013.04.003.

Conglomerates on the Base Linsishan Formation of the Middle Early Cretaceous in Jiaolai Basin of Eastern Shandong, and Implications for Basin Evolution

ZHANG Peng^{1,2} KUANG HongWei¹ LIU YongQing¹ PENG Nan¹ XU Huan¹
WANG MingWei³ AN Wei¹ WANG NengSheng¹

(1. Institute of Geology, China Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China;

3. Zhanjiang Branch of CNOOC Ltd., Zhanjiang, Guangdong 524057, China)

Abstract: The Linsishan Formation, belonging to the bottom of the middle Early Cretaceous Laiyang Group in Jiaolai basin, Eastern Shandong, consists dominantly of a variety of conglomerates. Based on the petrological compositions, grain sizes and orientation of gravels within conglomerates at least 18 observation localities and a combination of detrital zircon dates of sandstones overlying the Linsishan Formation, this research reports a comprehensive results of the sedimentary facies, provenances, paleocurrents and implications of basin evolution. This study indicates that the Linsishan Formation mainly comprises of alluvial fan conglomerates with a variation of sedimentary microfacies in basin scale. The synsedimentary Jiaolai basin in term of paleogeography was constituted by three individual basins, i.e., the Laiyang, Haiyang-Jimo and Zhucheng-Wulian basins, separated by the six paleo-uplifts. Provenance of the Laiyang basin are derived from Jiaobei uplift and the northern Sulu Orogenic Belt; source of the Haiyang-Jimu basin provided by northern Sulu Orogenic Belt, Jimo-Mouping uplift and Jiaonan uplift; Provenance of the Zhucheng-Wulian basin are derived from Jiaonan uplift and Mashan-Lijiadang low uplift. Finally, initiation of conglomerates of the Linsishan Formation in Eastern Shandong is a sign of formation of the synsedimentary Jiaolai basin and further, implies a large-scale collapse of the Sulu Orogenic Belt resulted from vast extensional crustal detachment and lithosphere thinning in East China because of destruction of North China Craton.

Key words: Jiaolai Basin; Cretaceous; Linsishan Formation; Conglomerate; sedimentary characteristics; basin evolution