

and enthusiastic support of LI Yanguang, engineer of the micro-area analysis laboratory of Xi'an Center of Geological Survey. The review experts and the editor put forward valuable suggestions to this paper. We are thankful to all the people mentioned above.

**First author:** WANG Xing, male, born in 1988; geological prospecting engineer; mainly engaged in regional geological survey; Email: star\_cug@126.com

Manuscript received on: 2018-05-21; Accepted on: 2019-02-24; Edited by: ZHANG Yuxu

**Doi:** 10.16509/j.georeview.2019.02.008

## 青岛灵山岛及邻区早白垩世大地构造演化

孟元库<sup>1,2)</sup>, 李日辉<sup>2)</sup>

1) 山东科技大学地球科学与工程学院, 山东青岛, 266590; 2) 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 山东青岛, 266071

**关键词:** 灵山岛; 法家莹组; 早白垩世; 断陷湖盆; 大地构造演化

灵山岛位于苏鲁造山带中段, 青岛市西南约 35 km 的南黄海之中, 总面积约 7.66 km<sup>2</sup>, 最高峰海拔 513.6 m, 是中国北方第一高岛。据山东省区域地质资料, 岛上的岩石主要由早白垩世河湖相碎屑岩及其上覆的中酸性火山岩组成(宋明春和王沛成, 2003; 钟建华, 2012)。吕洪波等(2011)对青岛灵山岛碎屑岩进行了深入的考察和研究, 认为其属于典型的深海—半深海沉积而非传统的河湖相沉积, 进一步指出灵山岛及其邻区在晚侏罗世至早白垩世时仍属于残余海(洋)盆, 并强调扬子和华北板块的最终缝合拼贴应该在早白垩世晚期。这一研究成果引起了苏鲁造山带新的地学热, 随后众多的专家、学者对灵山岛的碎屑岩、火山岩进行了考察研究, 特别是 2012 年古地理及沉积学学术会议在青岛召开, 灵山岛作为该次会议的野外考察点, 更是引起了地质学家的再一次关注, 也将苏鲁造山带的地学研究推到了一个新的高潮。自 2011 年至今, 已有 50 余篇学术论文对其进行了报道。笔者通过整理发现, 前人的研究对象绝大多数以发育软沉积变形的下白垩统法家莹组(K<sub>1</sub>f)为主(Yang Renchao and van Loon, 2016; 葛毓柱和钟建华, 2017), 而对上覆的含砾粗碎屑以及火山角砾熔岩研究(Wang Jun et al., 2014, 2015; Meng Yuanku et al., 2018)缺乏系统性。目前, 普遍的观点认为法家莹组上覆的火山角砾熔岩为青山期(K<sub>1</sub>q)岩浆活动的产物, 形成时代应明显晚于下伏莱阳群法家莹组(宋明春和王沛成, 2003; 吕洪波等, 2012, 2013; 张海春等, 2013)。然而, 笔者等近期最新的研究成果却表明(Meng Yuanku et al., 2018; 孟元库等, 2018), 下伏的法家莹组和上覆的含砾粗碎

屑岩以及火山角砾熔岩形成时代在误差范围内基本一致, 这为进一步重新认识灵山岛的大地构造格局提供了新的思路。在此基础上, 并结合区域地质, 笔者等提出了一个新的大地构造演化模型, 该模型能较好地回答灵山岛上目前存在的诸多争议, 并为灵山岛的进一步地学研究提供了可行性参考。

灵山岛上的火山熔岩形成于早白垩世与邻区陆上的大面积花岗岩形成时代基本一致(郭敬辉等, 2005; 张娟, 2011; Wang Jun et al., 2016; Meng Yuanku et al., 2018)。Wang Jun 等(2016)根据铝在角闪石中的含量( $P = 4.23 * \text{Total Al} - 3.46$ )计算了花岗岩侵位时的压力, 然后根据其压力间接换算了青岛地区崂山花岗岩的侵位深度。计算结果显示青岛地区崂山花岗岩侵位、结晶于地下 9.28 ~ 11.21 km, 平均侵位深度为 ~10 km 左右。锆石 U-Pb 年龄显示, 青岛地区的花岗岩类成岩时代主要为 120 ~ 110 Ma(郭敬辉等, 2005; 张娟, 2011; Wang Jun et al., 2016), 而灵山岛地区的火山岩和沉积岩与花岗岩形成的时代几乎一致(赵广涛等, 1997; 王世进等, 2010; Wang Jun et al., 2014, 2015, 2016; Meng Yuanku et al., 2018; 孟元库等, 2018)。野外地质调查显示, 早白垩世时灵山岛上的岩石主要形成于地表或者近地表, 完全不同于花岗岩, 暗示了它们在时空上的不同。现今, 胶南地区的花岗岩多已露出地表(例如大珠山), 暗示了从早白垩世成岩以来遭受了较为强烈的抬升和剥蚀, 其上 ~10 km 的壳源物质被剥蚀殆尽。灵山岛上保存完好的火山角砾熔岩和河流相沉积(图 1a, b)暗示了从早白垩世至今灵山岛地区没有遭受强烈的构造抬升, 处于一个相对平稳的构造环境, 这才导致了今天深成侵入的花岗岩与表层喷发的火山岩以及河流相沉积处于近乎一致的海拔高度(灵山岛对面的大珠山海拔约 500m)。对于火山角砾熔岩和花岗岩在时空上的这种特殊

注: 本文为中国博士后基金(编号: M2017612220)、山东省自然科学基金博士基金(编号: ZR2017BD033)资助项目和中国地质调查局工作项目(编号: 1212011220113)的成果。

收稿日期: 2018-12-22; 改回日期: 2019-02-02; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2019.02.021

作者简介: 孟元库, 男, 1986 年生, 博士, 主要从事构造地质学及岩石大地构造的教学和研究工作, Email: ykmeng@foxmail.com; myk@sdust.edu.cn。

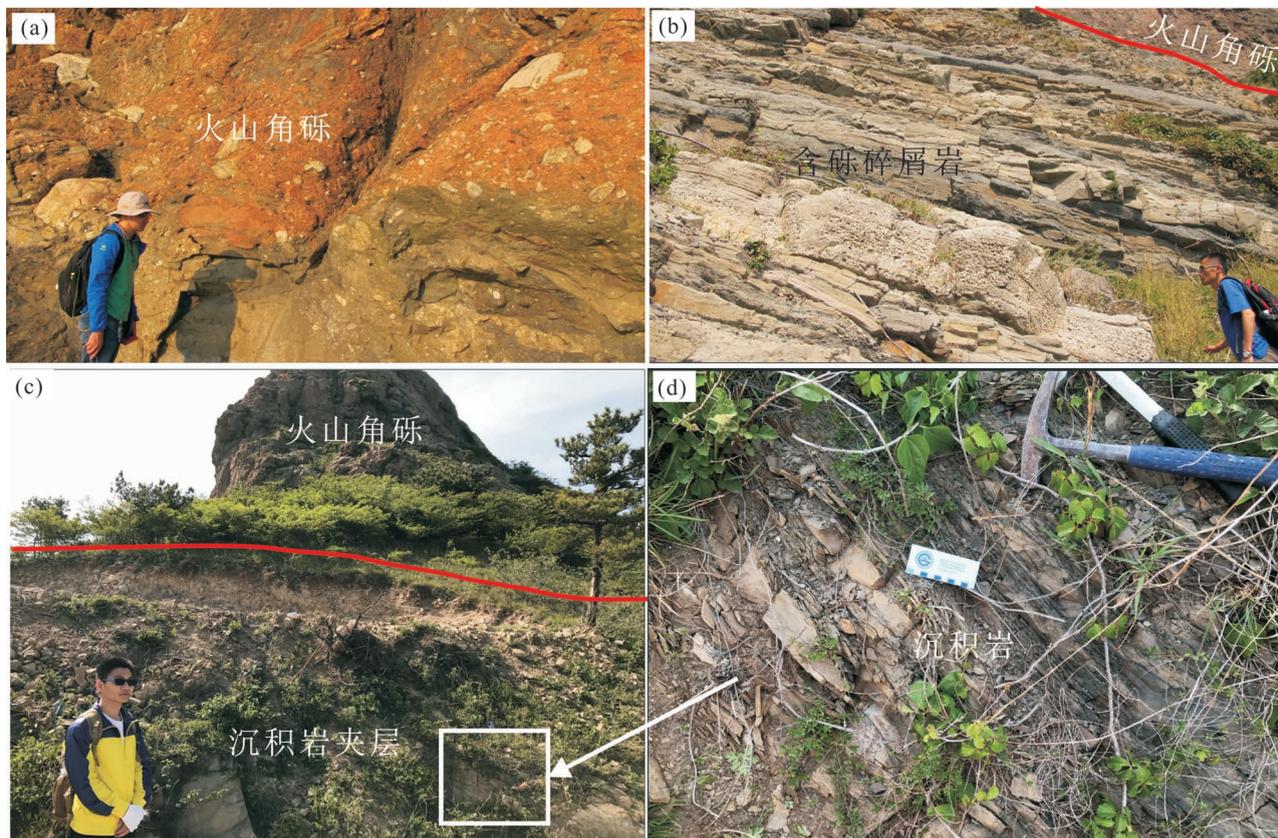


图 1 (a) 灵山岛法家莹组上覆火山角砾熔岩; (b) 灵山岛法家莹组上覆含砾粗碎屑岩; (c) 火山角砾岩熔岩中的沉积岩夹层; (d) 火山角砾岩熔岩中沉积岩夹层的局部照片

的空间关系,我们推测在灵山岛和胶南陆域地区存在着一个 NE 向区域断裂,该断裂形成于早白垩世,是控制灵山岛和胶南地区构造活动的主要因素。早白垩世时,该断裂形成(控盆断裂),灵山岛地区为典型的断陷湖盆,沉积了一套较厚的湖相沉积(研究区的莱阳群法家莹组)。该套湖相沉积主要由暗色的粉砂岩—泥岩组成,可见中华狼鳍鱼和叶肢介化石(李守军等, 2017; 孟元库等, 2018),此时湖盆处于饥饿期。到了断陷湖盆演化的晚期,湖相沉积之上发育了粗粒的河流相沉积,可见大型的交错层理和虫孔构造(孟元库等, 2018)。在沉积后不久,灵山岛地区发生了剧烈的火山活动,引起了强烈的地震( $>4.7 M$ ) (周瑶琪等, 2017; 孟元库等, 2018),喷发的火山熔岩和角砾岩不整合覆盖在河湖相沉积之上。锆石 U-Pb 定年显示,河湖相沉积和上覆的火山角砾熔岩形成于同一时代( $\sim 127 \text{ Ma}$ ) (Meng Yuanku et al., 2018; 孟元库等, 2018)。因此,锆石 U-Pb 定年结果进一步表明灵山岛火山喷发时,断陷湖盆的沉积时间不足 1 Ma。由于沉积时间较短,处于湖盆底部的细粒沉积物颗粒之间仍然富含水分(欠压实状),砂岩—泥岩仍没有遭受压实成岩,仍处于塑性状态(富水的状态)。随后,强烈的火山作用引发地震(Meng Yuanku et al., 2018),刚刚沉积不久的砂泥岩发生构造滑覆,形成大规模的软沉积变形。研究区早白垩世时的大地构造格局和现今的大地构造格局见图 2。综上所述,灵山岛地区

的沉积和火山作用是同步进行的,具有明显的穿时性。其中火山熔岩中的沉积岩夹层(图 1c、d)就很好地表明了陆相沉积与火山作用近乎同时进行。

**结论:**早白垩世时,青岛胶南地区由于岩石圈拆沉导致软流圈地幔物质上涌,导致地壳发生部分熔融,形成花岗质岩浆。随后,花岗质岩浆在地下 $\sim 10 \text{ km}$ 处侵位、冷却结晶成岩,而邻区的断陷湖盆则发育强烈的火山作用,引发地震,导致刚沉积的碎屑岩发生大规模滑塌,形成灵山岛上典型的软沉积变形构造。由于白垩纪晚期胶南地区强烈的构造抬升,导致下伏 $\sim 10 \text{ km}$ 的地壳被剥蚀殆尽,原来深埋地下的花岗岩被抬升至地表(大珠山、崂山等花岗岩体);与花岗岩相比,灵山岛上的沉积岩和火山角砾岩形成于地表浅层,至今仍然保留完好,暗示了从早白垩世至今灵山岛地区没有遭受强烈的构造剥蚀作用。根据区域抬升的差异性,我们推测灵山岛和胶南地区存在一个区域性断裂,该断裂早期是典型的控盆断裂,随后是区域上差异性剥蚀的主要控制因素。

**致谢:**侯方辉高级工程师、徐扬博士和曲中党博士参与了部分野外工作,对他们表示衷心感谢!此外,感谢山东科技大学李守军教授的指导!

## 参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a "&" is in Chinese)

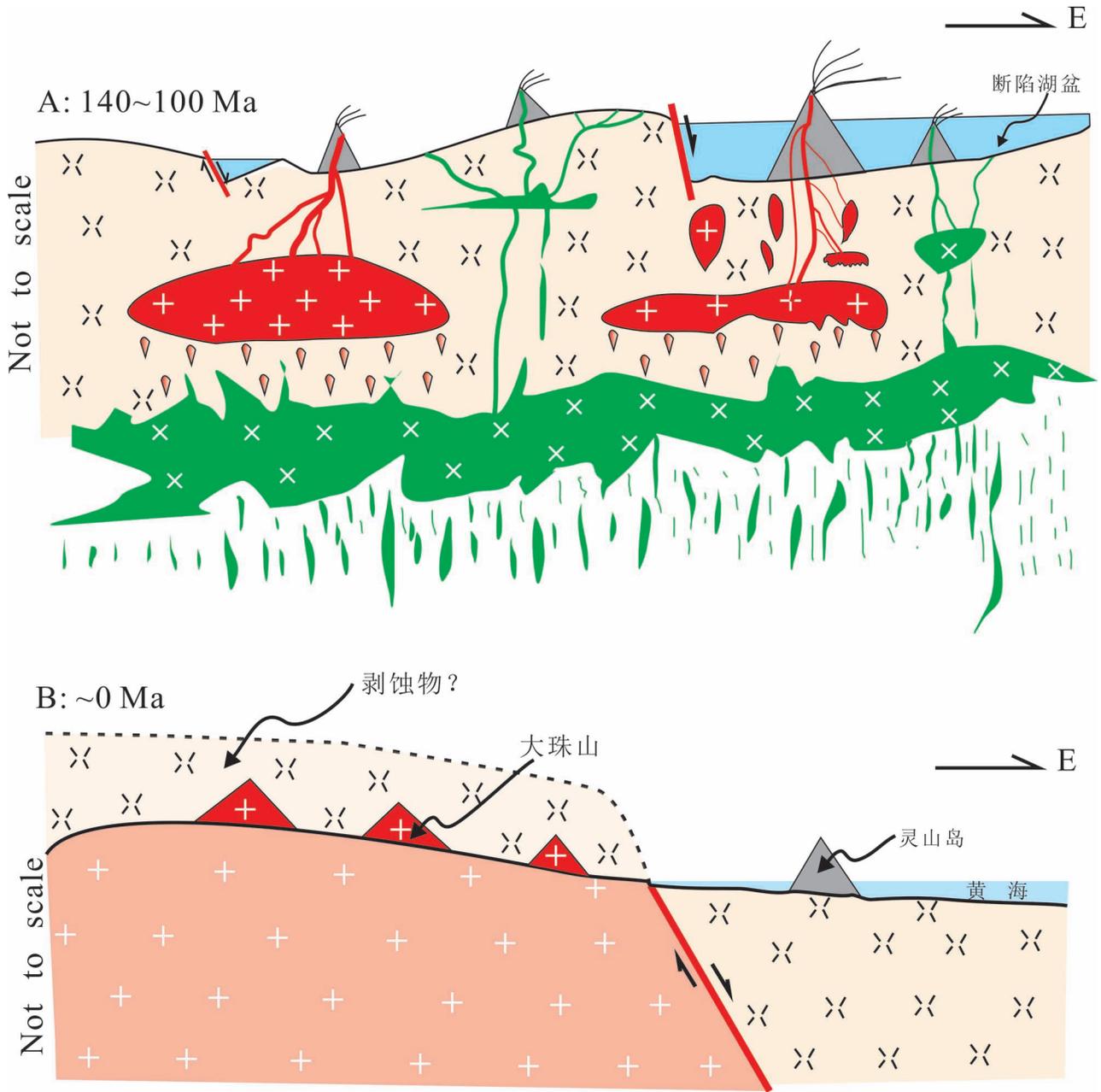


图 2 (a) 早白垩世 (140~100 Ma) 灵山岛及邻区大地构造演化模式图; (b) 灵山岛及邻区现今 (第四纪以来) 构造模式图

with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

葛毓柱, 钟建华. 2017. 灵山岛早白垩世软沉积物变形构造触发机制及其古环境意义探讨. 地质论评, 63(4): 927~940.

郭敬辉, 陈福坤, 张晓曼, Siebel W, 翟明国. 2005. 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. 岩石学报, 21(4): 1281~1301.

李守军, 张祥玉, 赵秀丽, 孙智新, 张道元, 章磊, 徐磊, 魏宁, 刘宝梅. 2017. 山东省青岛市灵山岛下白垩统中发现鱼类和叶肢介化石. 地质论评, 63(1): 1~6.

吕洪波, 王俊, 张海春. 2011. 山东灵山岛晚中生代滑塌沉积层的发现及区域构造意义初探. 地质学报, 85(6): 938~946.

吕洪波, 张海春, 王俊, 张素菁, 董晓朋, 张星. 2012. 灵山岛晚中生代

浊积岩中发现巨大滑积岩块. 地质论评, 58(1): 80~81.

吕洪波, 张海春, 王俊, 张素菁, 董晓朋, 张星. 2013. 灵山岛早白垩世复理石不是陆内三角洲沉积——答钟建华教授. 地质论评, 59(1): 11~14.

孟元库, 李日辉, 徐扬, 侯方辉. 2018. 山东青岛地区灵山岛早白垩世碎屑岩锆石 U-Pb-Hf 同位素特征及其大地构造意义. 地球科学, 43(9): 3302~3323.

宋明春, 王沛成. 2003. 山东省区域地质. 济南: 山东省地图出版社.

王世进, 万渝生, 王伟, 宋志勇, 王金光, 董春艳, 颀颜强, 刘德清. 2010. 山东崂山花岗岩形成时代——锆石 SHRIMP U-Pb 定年. 山东国土资源, 26(10): 1~5.

张海春, 吕洪波, 李建国, 王俊, 张素菁, 董晓朋, 张星, 黄振才, 舒云超, 任星民. 2013. 山东青岛早白垩世新地层单位——灵山岛组.

- 地层学杂志, 37(2): 216~222.
- 张娟. 2011. 苏鲁造山带中生代岩浆岩地球化学研究. 导师: 郑永飞, 中国科学技术大学博士学位论文: 1~163.
- 赵广涛, 曹钦臣, 王德滋, 李惠民. 1997. 崂山花岗岩锆石 U-Pb 年龄测定及其意义. 中国海洋大学学报(自然科学版), 27(3): 382~388.
- 钟建华. 2012. 灵山岛中生代沉积岩是深水远源浊积岩, 还是陆内三角洲沉积? ——与吕洪波教授商榷. 地质论评, 58(6): 1180~1182.
- 周瑶琪, 周腾飞, 张振凯, 梁钊, 梁文栋, 王安东, 于姗姗. 2017. 山东省灵山岛下白垩统青山群火山地震软沉积物变形构造特征及成因机制. 古地理学报, 19(4): 567~582.
- Ge Yuzhu, Zhong Jianhua. 2017. Discussion about triggers of Early Cretaceous soft-sediment deformation structures on the Lingshan Island and the implications for palaeo-environment. Geological Review, 63(4): 927~940.
- Guo Jinghui, Chen Fukun, Zhang Xiaoman, Siebel W, Zhai Mingguo. 2005. Evolution of syn- to post-collisional magmatism from north Sulu UHP belt, eastern China: zircon U-Pb geochronology. Acta Petrologica Sinica, 21(4): 1281~1301.
- Li Shoujun, Zhang Xiangyu, Zhao Xiuli, Sun Zhixin, Zhang Daoyuan, Zhang Lei, Xu Lei, Wei Ning, Liu Baomei. 2017. Discovery of fish and conchostracan fossils in Lower Cretaceous in Lingshan Island, Qingdao, Shandong. Geological Review, 63(1): 1~6.
- Lü Hongbo, Wang Jun, Zhang Haichun. 2011. Discovery of the Late Mesozoic slump beds in Lingshan Island, Shandong, and a pilot research on the regional tectonics. Acta Geologica Sinica, 85(6): 938~946.
- Lü Hongbo, Zhang Haichun, Wang Jun, Chang Suchin, Dong Xiaopeng, Zhang Xing. 2012. Discovery of the Late Mesozoic giant slump rocks of turbidite in Lingshan Island. Geological Review, 58(1): 80~81.
- Lü Hongbo, Zhang Haichun, Wang Jun, Chang Suchin, Dong Xiaopeng, Zhang Xing. 2013. The Early Cretaceous flysch doesn't belong to terrestrial delta deposits—Response to professor Zhong Jianhua. Geological Review, 59(1): 11~14.
- Meng Yuanku, Li Rihui, Xu Yang, Hou Fanghui. 2018. U—Pb—Hf isotopes and tectonic significance of Early Cretaceous detrital zircons on Lingshan Island, Qingdao of Shandong Province. Earth Science, 43(9): 3302~3323.
- Meng Yuanku, Santosh M, Li Rihui, Xu Yang, Hou Fanghui. 2018. Petrogenesis and tectonic implications of Early Cretaceous volcanic rocks from Lingshan Island in the Sulu Orogenic Belt. Lithos, 312~313: 244~257.
- Song Mingchun, Wang Peicheng. 2003. Regional Geology of Shandong Province. Jinan: Shandong Map Publishing House.
- Wang Jun, Chang Suchin, Lin Peijun, Zhu Xiaoqing, Fu Yongtao, Zhang Haichun. 2016. Evidence of Early Cretaceous transpression in the Sulu orogenic belt, eastern China. Tectonophysics, 687: 44~55.
- Wang Jun, Chang Suchin, Lü Hongbo, Zhang Haichun. 2014. Detrital zircon U-Pb age constraints on Cretaceous sedimentary rocks of Lingshan Island and implications for tectonic evolution of eastern Shandong, North China. Journal of Asian Earth Sciences, 96: 27~45.
- Wang Jun, Chang Suchin, Wang Kuolung, Lü Hongbo, Zhang Haichun. 2015. Geochronology and geochemistry of early cretaceous igneous units from the central Sulu orogenic belt: evidence for crustal delamination during a shift in the regional tectonic regime. Journal of Asian Earth Sciences, 112: 49~59.
- Wang Shijin, Wang Yusheng, Wang Wei, Song Zhiyong, Wang Jinguang, Dong Chunyan, Xie Hangqiang, Liu Deqing. 2010. Forming Ages of Granites in Laoshan Area of Shandong Province—Zircon SHRIMP U-Pb Dating. Land and Resources in Shandong Province, 26(10): 1~5.
- Yang Renchao, van Loon A J. 2016. Early Cretaceous slumps and turbidites with peculiar soft-sediment deformation structures on Lingshan Island (Qingdao, China) indicating a tensional tectonic regime. Journal of Asian Earth Sciences, 129: 206~219.
- Zhang Haichun, Lü Hongbo, Li Jianguo, Wang Jun, Zhang Sujing, Dong Xiaopeng, Zhang Xing, Huang Zhencai, Shu Yunchao, Ren Xingmin. 2013. The Lingshandao Formation: A New Lithostratigraphic Unit of the Early Cretaceous in Qingdao, Shandong Province, China. Journal of Stratigraphy, 37(2): 216~222.
- Zhang Juan. 2011. A Geochemical Study of Mesozoic magmatic rocks in the Sulu Orogen. Supervisor: Zheng Yongfei. Doctoral dissertation of University of Science and Technology of China: 1~163.
- Zhao Guangtao, Cao Qinchen, Wang Dezi, Li Huimin. 1997. Zircon U-Pb dating on the Laoshan Granitoids and its significance. Journal of Ocean University of Qingdao (Natural Sciences), 27(3): 382~388.
- Zhong Jianhua. 2012. Deep water source turbidity or continental delta of the Mesozoic sedimentary rocks in Lingshan Island? Geological Review, 58(6): 1180~1182.
- Zhou Yaoqi, Zhou Tengfei, Zhang Zhenkai, Liang Zhao, Liang Wendong, Wang Andong, Yu Shanshan. 2017. Characteristics and formation mechanism of soft-sediment deformation structures related to volcanic earthquakes of the Lower Cretaceous Qingshan Group in Lingshan Island, Shandong Province. Journal of Palaeogeography, 19(4): 567~582.

**MENG Yuanku, LI Rihui: Early Cretaceous tectonic evolution on Lingshan Island, Qingdao, and adjacent regions**

**Keywords:** Lingshan Island; Fajiyang Formation; Early Cretaceous; faulted-basin; tectonic evolution

**Doi:** 10.16509/j.georeview.2019.02.021