中国科学: 地球科学 2017 年 第 47 卷 第 4 期: 406 ~ 411
SCIENTIA SINICA Terrae earthcn.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS
评 述 华夏山水的由来专题

东海的来历

李家彪[1,2*], 丁巍伟[1,2], 吴自银[1,2], 孙湫词[1]

1. 国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012;
2. 国家海洋局海底科学重点实验室, 杭州 310012

* E-mail: jbli@sio.org.cn

收稿日期: 2017-02-13; 接受日期: 2017-03-01; 网络版发表日期: 2017-03-23
国家重点研发计划深地资源勘查开采重点专项项目(编号: 2016YFC0600402)、国家海洋局全球变化与海气相互作用专项项目(编号: GASI-GEOGE-01)和国家自然科学基金项目(批准号: 41676027)资助

摘要 东海是中国东部的大型边缘海, 具有复杂的陆架盆地、特殊的沉积构成, 以及西太平洋陆缘典型的沟-弧-盆构造体系, 记录了大量大陆边缘演化、盆地形成和环境气候演变的信息. 研究表明, 在晚白垩世之前, 华南大陆以东并无东海, 而是古太平洋相伴. 晚白垩世之后原始的东海开始形成, 其后漫长的地质历史时期先后经历了晚白垩世至早始新世的被动陆缘阶段, 以及中始新世以来的太平洋板块和菲律宾海板块两期俯冲和弧后扩张, 奠定了现今东海西部为水深小的宽陆架, 东部为水深较大的冲绳海槽的构造格局. 现代的东海是在末次冰期(15ka BP)之后形成的, 海平面的变迁塑造了现代东海的海底地貌.

关键词 东海, 晚中生代以来, 被动陆缘, 弧后扩张, 沧海桑田

1 引言

从有文字记载开始, 东海便进入了我国先民们的视线, 如果要找寻一块中华海洋文明的发祥地, 东海当之无愧. 远古时期所谓的东海, 即陆地东边之海, 范围北起山东半岛, 南至闽浙沿海. 《庄子·外物》中记载的任公子“蹲乎会稽, 投竿东海”, 会稽就是今天的浙江绍兴会稽山; 晋代葛洪的《神仙传》中曾借麻姑之口道出“已见东海三为桑田, 复到蓬莱”, 蓬莱即今天的山东半岛, 可见当时东海范围之广, 范围涵盖了现今的黄海. 其后无论是《史记》还是《汉书》, 东海都屡屡见诸于史学家笔端, 源远流长. 自南宋后黄河改道夺淮入海, 最终稳定由江苏入海的300年间, 大量泥沙汇入东海, 使这片原本湛蓝的海域渐渐变成了“黄水洋”, “黄海”之名才逐渐与东海区别开来, 至20世纪初, 我国的地图上已分别使用黄海和东海的名称. 现今的东海是中国东部的大型边缘海, 分布于21°54′~33°17′N, 117°05′~131°03′E之间, 自东北向西南长约1300km, 自西向东宽约740km, 面积约770000km^2. 平均水深370m, 最大水深2322m. 东海北部以长江口北岸的启东嘴至韩国济州岛西南角的连线与黄海相连; 东北以济州岛东南端至日本福江岛及长崎半岛野母崎角的连线为界, 并经朝鲜海峡、对马海峡与日本海相通; 东及东南以日本九州岛、琉球群岛及我国台湾岛的连线与

中文引用格式: 李家彪, 丁巍伟, 吴自银, 孙湫词. 2017. 东海的来历. 中国科学: 地球科学, 47: 406–411, doi: 10.1360/N072017-00006
英文引用格式: Li J B, Ding W W, Wu Z Y, Sun Q C. 2017. Origin of the East China Sea (in Chinese). Scientia Sinica Terrae, 47: 406–411, doi: 10.1360/N072017-00006

© 2017 《中国科学》杂志社 www.scichina.com

太平洋相接; 西濒上海市、浙江省、福建省; 西南由广东与福建海岸线交界处至台湾猫鼻头的连线与南海相通(李家彪, 2008).

东海在地形上复杂多变, 既有西部平坦宽阔的大陆架, 水深变化在200m之内, 又有东部水深超过1000m, 最深达2716m的长条状冲绳海槽; 既有广泛发育槽脊相间的线性沙脊, 又有陆坡区切割很深的海底峡谷(图1). 那么东海究竟如何形成? 本文将从太平洋板块和欧亚板块的相互作用、构造与沉积作用的变迁以及海平面的升降等方面由里及表进行阐述, 来探讨东海的陆架如何诞生, 深海槽如何形成以及海陆变迁中现代水体的形成.

2　古大洋相伴

对俯冲带及上伏板块岩浆弧的研究表明, 岩石圈沿海沟向下俯冲的过程中, 随着深度和温度的增加, 一些易熔物质逐渐进入固熔线, 并发生局部熔融, 形成岩浆, 上升成为火山弧的主要物质供给(Hilde等, 1977; Emery, 1971). 随着深度和温度的进一步加大, 难熔的物质向深部进入固体岩石循环. 因此, 岩浆弧与海沟的距离(弧沟间隔)不是无限的, 而是在一定范围内变化的, 一般在150~350km之间. 岩浆弧与海沟的距离受俯冲带的俯冲角度和俯冲物质中的水和挥发物的影响, 热、轻的岩石圈俯冲角度小, 弧沟间隙大, 冷、重的岩石圈俯冲角大, 弧沟间隙小(Stern, 2002), 但这一规律也会因沉积物和水分的进入的多少而复杂化(Stern, 2002).

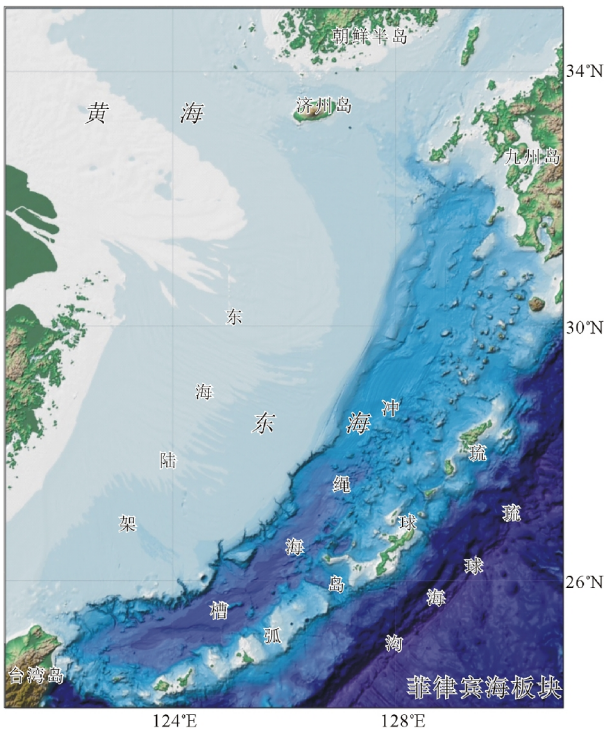

图 1　东海三维地形图

绝大多数研究者认为, 在侏罗纪-早白垩世中期, 古太平洋板块向欧亚板块的俯冲, 华南陆缘为安第斯型陆缘, 并形成了中国东部最为壮观的地质现象-浙闽中生代岩浆岩, 该岩浆岩带主要由晚侏罗世-早白垩世中酸性侵入岩和火山岩组成, 主体年龄分布在~190Ma至~88Ma之间, 并有向海逐渐变年青的趋势(Stern, 2004; 牛耀龄等, 2015). 如果考虑正常情况下岩浆弧与海沟之间距离, 那么当时的中生代太平洋俯冲带不可能在现在琉球海沟的位置, 应该离浙闽岩浆岩带不会太远, 而可能在现今东海陆架盆地范围内.

实际上国内学者很早就提出中国东南沿海基底构造与华南大陆的差异性(Li Z X和Li X H, 2007; 周祖翼, 1989), 也意识到华南大陆东缘存在中生代的俯冲带(Hilde等, 1977). 但对于俯冲带位置有多种观点, 如郭令智等(1983)根据浙、闽、粤沿海的大地构造研究结果, 认为古俯冲带位置在浙闽沿海40m水深等深线附近. 王培宗和陈耀安(1993)利用台湾海峡深部地球物理资料进一步佐证该观点, 并提出滨海断裂带是其的继承发展. 而涉及到台湾中央山脉东侧大南澳基底杂岩的玉里带研究都支持玉里带是古缝合带位置(王培宗和陈耀安, 1993; 曹荣龙和朱寿华, 1990). 牛耀龄等(2015)认为该俯冲带大致沿中国东南海岸线展布. Li等(2017) [1)]根据东海地球物理场及地壳结构特征的研究认为古俯冲带的位置在中国东南海岸线向海约100km处, 大致沿东海西部坳陷与浙闽岩浆岩带之间的构造界限展布. 这些均说明中生代华南大陆的东缘并非是现在的陆架海, 而是广袤的古太平洋, 处于华南大陆与古大洋相伴的阶段.

1) Li J B, Ding W W, Wu Z C, Lin X B. 2017. Transformation of the eastern continental margin of China from Andean-type to Western Pacific-type since the late MesozoicIs the East China Sea an allochthon? Int Geolog Rev (in review)

3 陆架海的诞生

在晚白垩世以来, 华南大陆东缘大面积的岩浆活动停止, 平静期一直持续至60~50Ma左右(牛耀龄等, 2015; Li等, 2017[1]); Niu等, 2015). 在该阶段华南大陆东缘及东海收到张性应力场的控制, 发育了一系列规模较小的断陷盆地, 如浙江省的金衢盆地(Niu和Tang, 2016), 以及东海陆架盆地的西部坳陷(祖辅平等, 2011). 钻井资料表明西部坳陷在古新世便开始发育海相沉积(李家彪, 2008), 表明东海开始出现原始的陆架海. 对西部坳陷的研究表明其形成受控于一系列北西倾的正断层, 呈现南东方向断北西方向超、南东方向厚北西方向薄的箕状断陷的特征(李家彪, 2008). 在该区的灵峰一井资料表明, 该区的主要沉积层为古新统, 厚度可达5000m以上, 而中生代及更早为隆起.

这种箕状断陷盆地与南海北部陆缘陆架区的盆地类型十分类似, 比如珠江口盆地的珠二坳陷(金翔龙, 1992), 而与东部坳陷在盆地结构和沉积上都有差别. 东部坳陷在晚白垩世-古新世期间未发生大规模的张裂运动, 古新世的沉积很薄, 而只有在始新世后才开始发育断陷盆地, 盆地的结构也以地堑为主(李家彪, 2008).

我们认为在该时期太平洋板块并未向华南大陆之下俯冲, 而是转为NNW向, 向先期的勘察加半岛和阿留申群岛西部之下俯冲. 整个华南陆缘及东海处原始的陆架海处于被动陆缘阶段, 从而发育了类似南海陆缘的箕状断陷, 并缺失岩浆活动.

4 深海槽的形成

中始新世以来太平洋板块的俯冲方向发生大幅度逆时针偏转, 由NNW向转为NWW向, 该转折可以从夏威夷-皇帝海山链的在46Ma左右的转向得到确认(丁巍伟等, 2009). 太平洋板块的俯冲重新开始, 该阶段俯冲角度较大, 形成了老的沟-弧-盆体系, 古琉球岛弧和中部低隆起由于弧后拉张作用开始裂离, 东海的东部出现狭长的深海槽, 也即东海的东部坳陷. 沉积了厚度超过10km的晚始新世-中新世的地层, 盆地的形态也与西部坳陷不同(图2). 西部坳陷区在该阶段处于长时间的隆升剥蚀阶段, 大约经历了30Ma, 缺失了中始新世-早中新世的地层. 该构造反转可能与局部块体的旋转相关, 即作为构造肩部的中部低隆起、西部坳陷发生隆升作用, 而东部坳陷发生弧后扩张而下降.

中中新世以来整个东海开始进入区域沉降阶段. 菲律宾海板块经过长时期的NNW向漂移, 在5Ma以来开始与欧亚大陆东缘发生碰撞, 东海陆架和古琉球岛弧开始受到菲律宾海俯冲带的控制(Sharp和Clague, 2006), 进入新一轮的岛弧岩浆活动阶段, 古琉球岛弧开始发生裂离, 形成了西侧作为不活动残留岩浆弧的钓鱼岛隆褶带和外缘的现今琉球岛弧, 冲绳海槽也随之形成(图2)(李家彪, 2008; Hall等, 1995; 金翔龙和喻普之, 1987). 冲绳海槽的第一次拉张发生在晚中新世-早更新世, 并逐渐向南迁移, 海槽的南部地壳在晚上新世至早更新世被拉开. 台湾东部的弧陆碰撞使得冲绳海槽南段强烈的弧后扩张活动一直持续至今, 并已进入初始海底扩张阶段.

5 海陆变迁

东海陆架盆地和冲绳海槽的形成奠定了东海的骨架, 而其上水体的形成则几经变迁, 沧海桑田一说原本就来自东海, “已见东海三为桑田”更是借神仙之口讲述了漫漫历史中的海陆变迁, 体现了我国先民的

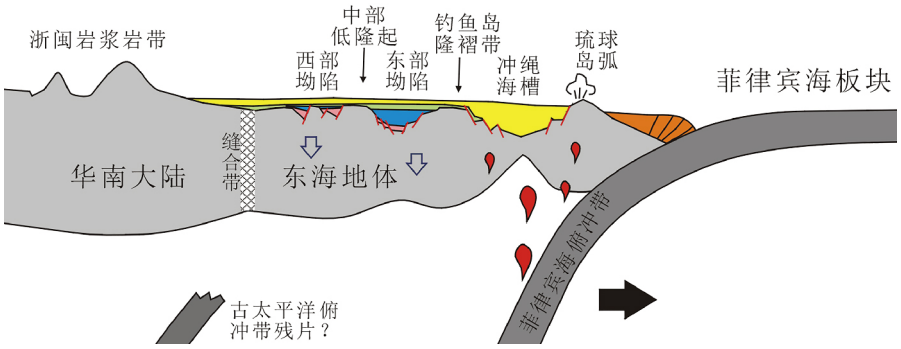

图 2　东海现今构造横剖面示意图及主要构造单元

无穷智慧. 在漫长的地质演化史映照下, 我们的先民或许在东海陆架上行走、耕种, 或许目睹了良田被沧海淹没的过程, 这种神奇的变迁让我们见证自然的力量和地质的魅力.

李家彪(2008)根据单道地震剖面和钻井岩性分析定量恢复了45ka以来东海陆架的海平面升降历史, 并分为了三个阶段: 40~24ka的相对高海平面期、24~12ka的相对低海平面期和12ka至今的相对高海平面期(图3).

东海陆架45ka BP来海平面变化曲线(图3)显示, 距今15ka BP左右的末次盛冰期, 东海陆架基本成为陆地, 甚至有学者认为东海陆架一度出现沙漠化环境, 相对海平面一度下降至现水深150m左右, 古岸线基本接近现陆架坡折线. 其时东海的海水主要在水深较大的冲绳海槽, 形成“小东海”, 由河流携带的沉积物可以直接通过分布于陆坡区的海底峡谷下泻到冲绳海槽(高金耀等, 2002).

盛冰期过后, 海平面迅速回升, 多数研究认为距今7.5ka BP左右, 海平面已上升到现代岸线位置. 7.5ka BP以后曾有几次降温事件(如新仙女木冷事件)和几次小冰期, 可能造成了东海海平面在短期内产生波动, 但海平面总体上处于高水位期. 现代的“大东海”已经成型.

第四纪以来海平面的多次升降使得东海大陆架在海进海退的过程中塑造出大片类型各异的陆架地貌, 包括古水下三角洲、沙脊群、近岸泥楔带等各类地貌单元(图4). 早更新世初期, 长江三角洲已具有雏形. 中更新世早期, 东海陆架为海水所掩没, 海进初期潮水在古长江口塑造了潮流沙脊. 中更新世晚期(里斯冰期), 陆架出露成陆, 海岸线在大约100m深处变动. 距今约7.5万年的晚更新世早期(末次间冰期), 海平面升高发生海侵, 在目前水深50~60m、30°N~32°N地带发育了潮流沙脊(吴自银等, 2014). 距今约7万年时进入末次冰期早期, 海退开始. 早玉木冰期为一个强侵蚀夷平时期, 它对前期形成的地貌进行了较大规模的改造. 自3万年以来, 东海海面缓慢波动下降, 岸线在海退过程中在110m和130~140m深处皆有波动. 距今2.5~1.5万年, 海岸线退至目前150~160m深处. 在海面下降过程中, 海岸线在东海外陆架平原的不同位置上多次停顿, 塑造了多级古海滩阶地、古沙坝-泻湖体系. 由于低海面时古长江等河系在大陆架上的活动, 在整个外陆架由北到南的广阔区域内都留下了大量古河道的遗迹, 经后期沉积覆盖后成为埋藏古河道. 末次冰期结束后, 海平面快速回升, 距今约1.3万年时, 海水回升到目前水深110m附近, 开始塑造规模巨大的古潮流沙脊群. 距今约1.2万年时, 海面曾长期停留在50~60m水深地带, 在124°30′E~125°15′E的海区内形成了分布规模最大的古潮流沙脊群. 在整个末次海侵过程中, 伴随着海平面的不断上升, 陆架古海滨平原和古潮流沙脊群完成了最后的塑造(吴自银等, 2010).

海平面稳定后, 在现代海洋动力条件下, 长江口发育了现代水下三角洲. 浙闽一带沿岸河流的入海泥沙与波浪、潮汐及浙闽沿岸流的共同作用建造了浙闽近岸泥楔带(图4). 东海外陆架及陆架北部区域则以黑潮的作用为主, 对海底残留地貌进行改造.

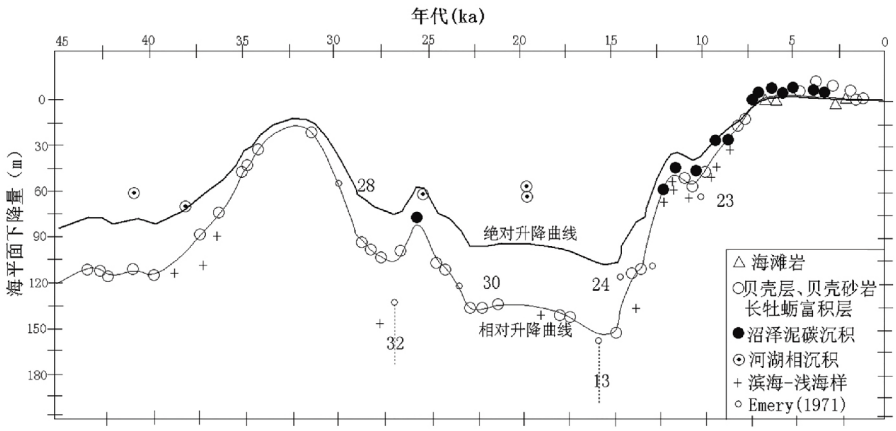

图 3　东海陆架45ka以来海平面变化曲线

海平面相对变化曲线据冯应俊改绘(增加收集的表层样资料); 海平面绝对变化曲线是据相对变化曲线计算, 已扣除均衡因素

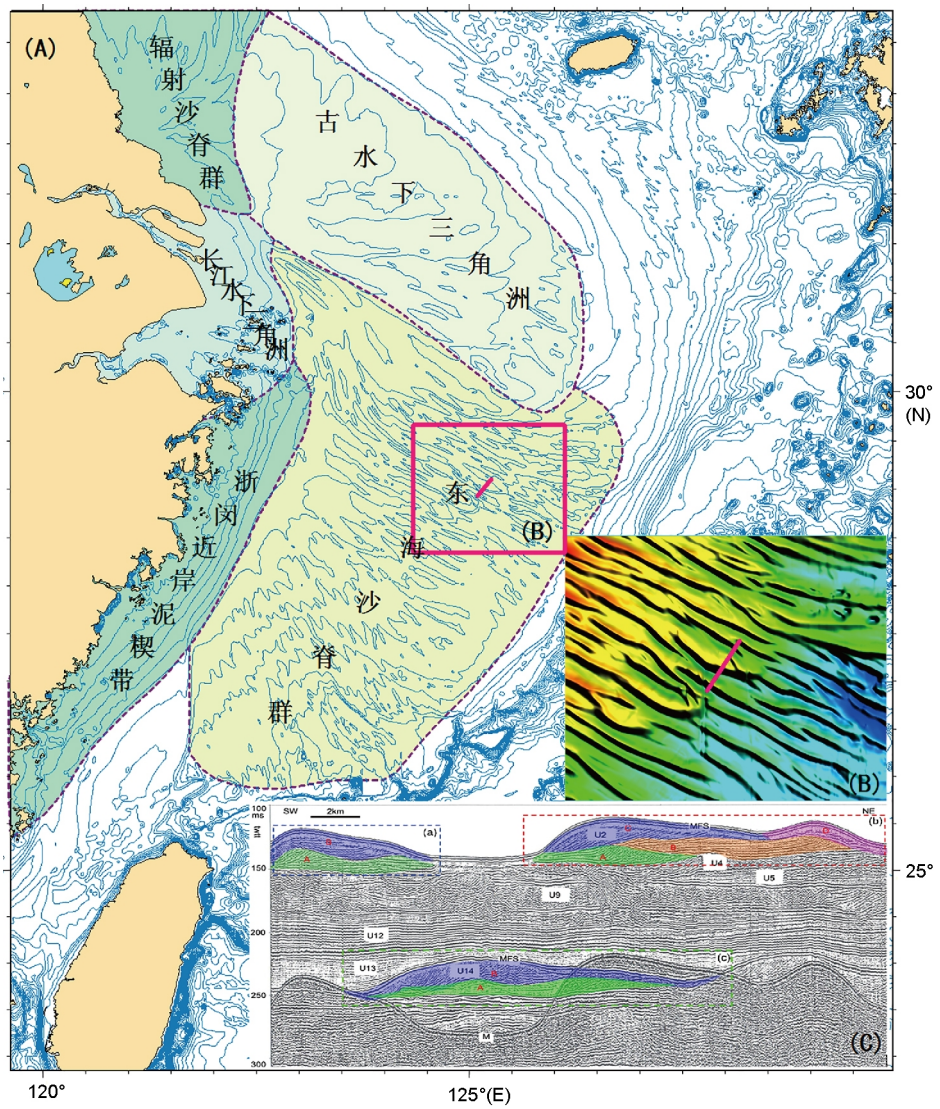

图 4　东海海底主要地貌单元

(B)框中为海底线性沙脊群例图, 位置见图中红框; (C)框内为线性沙脊横剖面图, 位置见红框图中红色实线

6　结语

东海的形成, 是构造作用、沉积作用和海平面变化共同塑造的结果. 在早白垩世之前, 华南大陆东缘是浩瀚的古太平洋, 晚白垩世以来西向运动的东海块体最终与华南大陆发生拼贴, 并在其后漫长的地质历史时期形成了现今东海的陆架盆地和冲绳海槽, 奠定了东海陆架、陆坡和沟-弧-盆构造地貌体系. 海平面的升降刻画了东海海底的地形地貌, 尤其是15ka BP末次冰期结束后, 海平面一直上升, 不仅形成了现今东海宽广的水域, 而且也因为陆源沉积输入和海洋动力的共同作用而形成了包括水下三角洲, 陆架广泛发育的线性潮流沙脊, 以及陆坡区的峡谷群等在内的丰富地貌.

参考文献

曹荣龙, 朱寿华. 1990. 中国东南沿海及台湾中生代古构造体系. 科学通报, 35: 130–134

丁巍伟, 黎明碧, 何敏, 唐勇, 方银霞. 2009. 南海中北部陆架-陆坡区新生代构造-沉积演化. 高校地质学报, 15: 339–350

高金耀, 李家彪, 林长松. 2002. 南冲绳海槽岩石圈构造动力作用机制探讨. 海洋与湖沼, 33: 349–355

郭令智, 施央申, 马瑞士. 1983. 西太平洋中, 新生代活动大陆边缘和岛弧构造的形成及演化. 地质学报, 57: 11–21
金翔龙, 喻普之. 1987. 冲绳海槽的构造特征与演化. 中国科学 B辑, 2: 196–203
金翔龙. 1992. 东海海洋地质. 北京: 海洋出版社. 56
李家彪. 1999. 南海地体系迁移与碰撞. 见: 许东禹, 主编. 海洋地质学与古海洋学, 第30届国际地质大会论文集. 北京: 地质出版社. 24–34
李家彪. 2008. 东海区域地质. 北京: 海洋出版社
牛耀龄, 刘益, 薛琦琪, 邵凤丽, 陈硕, 段梦, 郭鹏远, 龚红梅, 胡妍, 胡振兴, 孔娟娟, 李继永, 刘金菊, 孙普, 孙文礼, 叶蕾, 肖媛媛, 张宇. 2015. 中国大陆架基底起源于外来地体: ~100Ma随俯冲板块飘移而来的大洋高原或微陆块. 科学通报, 60: 3634–3635
王培宗, 陈耀安. 1993. 福建省地壳-上地幔结构及深部构造背景的研究. 福建地质, 6: 79–158
吴自银, 金翔龙, 曹振轶, 李家彪. 2010. 东海陆架沙脊分布及其形成演化. 中国科学: 地球科学, 40: 188–198
吴自银, 李家彪, 金翔龙, 尚继宏, 李守军. 2014. 冲绳海槽海底地形地貌界限特征及影响因素. 中国科学: 地球科学, 7: 1477–1487
周祖翼. 1989. 东南沿海基底研究述评. 福建地质, 8: 46–53
祖辅平, 舒良树, 沈骥千, 李成. 2011. 金衢盆地的原型及其含油气前景. 沉积学报, 29: 644–657
Emery K O. 1971. Relict sediment on continental shelves of the world. AAPG Bull, 52: 445–464
Hall R, Ali J R, Anderson C D, Baker S J. 1995. Origin and motion history of the Philippine Sea Plate. Tectonophysics, 251: 229–250
Hilde T W C, Uyeda S, Kroenke L. 1977. Evolution of the western pacific and its margin. Tectonophysics, 38: 145–165
Li Z X, Li X H. 2007. Formation of the 1300-km-wide intracontinental orogen and postorogenic magmatic province in Mesozoic South China: A flat-slab subduction model. Geology, 35: 179–182
Lo C H, Yui T F U. 1996. $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating of high-pressure rocks in the Tananao basement complex, Taiwan. J Geol Soc China, 39: 13–30
Niu Y, Liu Y, Xue Q, Shao F, Chen S, Duan M, Guo P, Gong H, Hu Y, Hu Z, Kong J, Li J, Liu J, Sun P, Sun W, Ye L, Xiao Y, Zhang Y. 2015. Exotic origin of the Chinese continental shelf: new insights into the tectonic evolution of the western Pacific and eastern China since the Mesozoic. Sci Bull, 60: 1598–1616
Niu Y, Tang J. 2016. Origin of the Yellow Sea: an insight. Sci Bull, 61: 1076–1080
Sharp W D, Clague D A. 2006. 50-Ma Initiation of Hawaiian-Emperor bend records major change in Pacific Plate Motion. Science, 313: 1281–1284
Stern R. 2004. Subduction initiation: Spontaneous and induced. Earth Planet Sci Lett, 226: 275–292
Stern R J. Subduction zones. Rev Geophys, 40: 1–38