

doi: 10.12029/gc20170605

李学杰, 王哲, 姚永坚, 高红芳, 李波. 2017. 西太平洋边缘构造特征及其演化[J]. 中国地质, 44(6): 1102-1114.

Li Xuejie, Wang Zhe, Yao Yongjian, Gao Hongfang, Li Bo. 2017. The tectonic features and evolution of the west Pacific margin[J]. Geology in China, 44(6): 1102-1114(in Chinese with English abstract).

西太平洋边缘构造特征及其演化

李学杰 王哲 姚永坚 高红芳 李波

(广州海洋地质调查局/国土资源部海底矿产资源重点实验室, 广东 广州 510760)

摘要:西太平洋边缘构造带是地球上规模最大最复杂的板块边界,以台湾和马鲁古海为界,自北往南大致可以分为3段。北段是典型的沟-弧-盆体系,千岛海盆、日本海盆及冲绳海槽均为典型的弧后扩张盆地。中段菲律宾岛弧构造带为双向俯冲带,构造复杂,新生代经历大的位移和重组,使得欧亚大陆边缘的南海、苏禄海和苏拉威西海成因存在很大的争议。南段新几内亚-所罗门构造带是太平洋板块、印度-澳大利亚及欧亚板块共同作用的结果,既有不同阶段的俯冲、碰撞,也有大规模的走滑与弧后的扩张,其间既有新扩张的海盆,又有正在俯冲消亡的海盆。台湾岛处于枢纽部位,欧亚板块在此被撕裂,南部欧亚大陆边缘南海洋壳沿马尼拉海沟俯冲于菲律宾岛弧之下,而北部菲律宾海洋壳沿琉球海沟俯冲欧亚大陆之下。马鲁古海是西太平洋板块边界又一转折点,马鲁古海板块往东下插于哈马黑拉之下,往西下插于桑义赫弧,形成反U形双向俯冲汇聚带,其洋壳板块已基本全部消失,致使哈马黑拉弧与桑义赫弧形成弧-弧碰撞。

关键词:西太平洋边缘构造;新生代;沟-弧-盆体系;双向俯冲带

中图分类号:P542

文献标志码:A

文章编号:1000-3657(2017)06-1102-13

The tectonic features and evolution of the west Pacific margin

LI Xuejie, WANG Zhe, YAO Yongjian, GAO Hongfang, LI Bo

(Guangzhou Marine Geological Survey/ Key Laboratory of Marine Mineral Resources, MLR,
Guangzhou 510760, Guangdong, China)

Abstract: The structural zone of the western Pacific margin is the biggest and most complex plate boundary in the earth. Bounded at Taiwan and the Molucca Sea, it can be divided into 3 sections from the north to the south. The north part, from Kurile to Ryukyu, is a typical trench-arc-basin system, and Kurile basin, Japan Sea and Okinawa trough constitute back arc basin. The central part, the Philippine structural zone, is characterized by complex double subduction. It underwent large displacement and reconstruction in Cenozoic and resulted in much debate for the origin of the South China Sea, Sulu Sea and Celebes Sea. The south part, the New Guinea-Solomon structural zone, resulted from compression and collision among Pacific, Indian and Eurasian plate, with large amounts of strike and back arc spreading. There are new spreading basins and subducting basins among the structural zones. The Taiwan Island is located at the junction, in which the Eurasian plate was torn. Eurasian plate margin subducted eastward beneath the

收稿日期:2016-09-01; 改回日期:2017-03-30

基金项目:中国地质调查局项目(DD20160138)资助。

作者简介:李学杰,男,1964年生,博士,教授级高工,主要从事海洋地质调查与研究工作;E-mail: xuejieli@yeah.net。

Philippine arc along Manila Trench in the south, while Philippine Sea plate subducted northeastward beneath Eurasian plate along Ryukyu Trench in the north. Molucca Sea is another junction on the west Pacific margin, in which the oceanic lithosphere plate subducted westward beneath Sangihe arc and eastward beneath Halmahera arc, forming reversal U-shaped double subduction zone. Halmahera arc collided with Sangihe arc due to the almost disappearance of the oceanic plate.

Key words: structural zone of the western Pacific margin; Cenozoic; trench-arc-basin; double subduction zone

About the first author: LI Xuejie, male, born in 1964, professor, engages in marine geological research and survey; E-mail: xuejieli@yeah.net.

Fund support: Supported by China Geological Survey Project (No. DD20160138).

1 引言

西太平洋板块边缘,北起千岛海沟,往南包括日本海沟、南海海槽、琉球海沟、菲律宾海沟、新几内亚海沟、马努斯海沟、北所罗门海沟等一系列俯冲带,绵延数千千米,构成地球上规模最大最复杂的板块边界(图1)。该边缘构造带,地震活动强烈,是中生代以来太平洋板块与欧亚板块、印度-澳大利亚板块长期演化的结果,包含极其复杂俯冲、碰撞、增生以及弧后扩张等构造过程。

长期以来,西太平洋板块边界一直是地学界关注的热点,许多学者从不同方面对其进行了大量的研究(Hall, 2002; Honza et al., 2004; Yin, 2010; Pubellier et al., 2013; 李三忠等, 2013),但至今依然存在较多的科学问题有待解决。比如:边缘海的扩张模式;花东海盆与加瓜脊的性质及其演化、菲律宾岛弧演化、澳大利亚板块与东南亚块体的碰撞等问题尚需进一步研究。

西太平洋边缘最为特征的构造是沟-弧-盆体系,其核心之一是边缘海。边缘海的成因长期以来是地学界关注的焦点,最为接受的观点是弧后扩张说,如冲绳海槽、日本海等。作为西太平洋边缘最大的边缘海,南海的成因更是受到极大的关注(栾锡武等, 2009; 任建业等, 2010; 汪品先, 2012; 李三忠等, 2012),虽也曾认为是菲律宾岛弧的弧后扩张盆地(Ben-Avrhama et al., 1973; 郭令智, 1983),但经过深入研究之后,发现显然不可能是菲律宾岛弧的弧后扩张的产物,因为菲律宾岛弧是后来随着菲律宾海板块北移的结果。

同样,南海南侧的苏禄海和苏拉威西海的成因也存在很大的争议。尽管通常认为苏禄海是弧后盆地,但有苏拉威西海往西俯冲和古南海往南俯冲

两种截然不同的观点(Rangin, 1989; Ranginet al., 1991)。那么西太平洋边缘海是否存在同一成因,显然西太平洋边缘海成因,仅从各边缘海本身难以取得完整的认识,必须从整个大陆边缘构造出发,开展系统研究。

西太平洋边缘构造带,依据其特征,以台湾岛和马鲁古海为界,大致可以分为3段(图1):北段,千岛群岛-琉球群岛,主体呈北东向,是典型的沟-弧-盆体系,太平洋板块/菲律宾板块向西北俯冲,导致其后形成岛弧和弧后盆地;中段,菲律宾群岛,呈北北西走向,为双向俯冲带,构造复杂;南段,新几内亚群岛往东南,呈北西西走向,构造更复杂,不仅有不同时期双向俯冲,还伴随大规模走滑和弧间盆地的扩张。

2 北段沟-弧-盆体系

西太平洋边缘北段,从堪察加半岛至台湾岛,绵延达5000 km,总体呈北东分布,是太平洋板块、菲律宾海板块向西北俯冲的结果。从北往南,俯冲带大致可以分为3段:千岛海沟、日本海沟-南海海槽和琉球海沟俯冲带(图1)。

2.1 千岛海沟-岛弧-弧后盆地

太平洋板块沿日本海沟和千岛海沟的俯冲,导致其弧后扩张,形成日本海和鄂霍次克海(图2)。鄂霍次克海只有千岛海盆属洋壳,规模小,水深度3200~3300 m(郝天珧等, 2001),没有明显的磁条带,其东北部可能为拉伸减薄的陆壳(Baranov et al., 2002)。千岛盆地没有深海钻探,其扩张时间争议很大。Kimura and Tamaki (1986)认为千岛盆地形成与日本海同时。Baranov et al. (2002)认为其扩张始于晚渐新世早期,持续至晚中新世早期。

鄂霍次克海盆北部有古新世和始新世的沉积

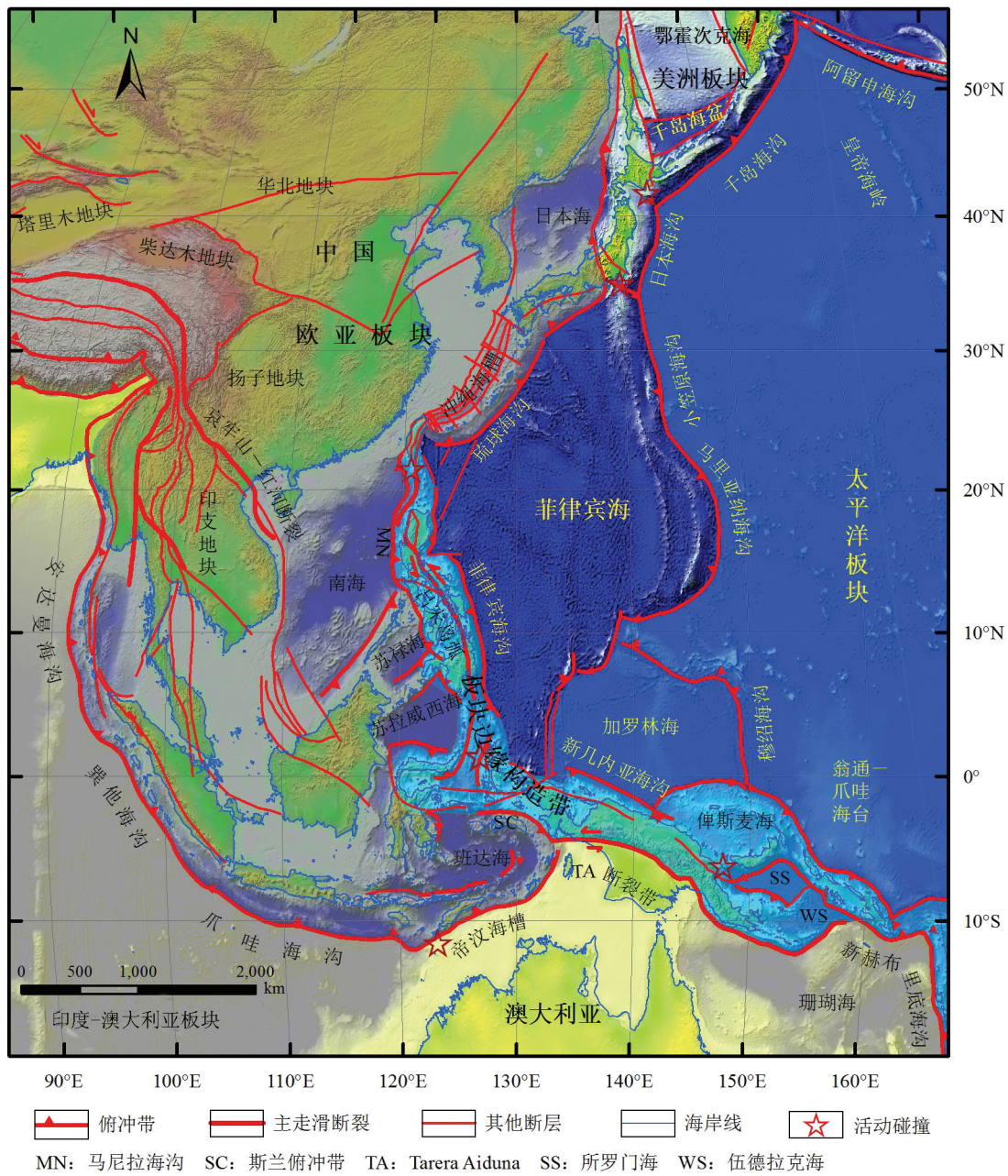


图1 西太平洋边缘及邻区构造简图
 Fig.1 Tectonic chart of the western Pacific margin and its neighboring areas

记录,西部地堑及其他一些次盆可能充填始新世地层(Worrall et al., 1996)。鄂霍次克海渐新世—早中新世的裂谷历史可能与日本海相似(Jolivet et al., 1994)。古地磁资料支持可能在中始新世(或更早)沿西鄂霍次克断层右旋走滑变形,并持续至早中新世(Weaver et al., 2004),之后盆地进入裂后阶段(Xu et al., 2014)。

2.2 日本海沟-岛弧-弧后盆地

日本海被认为是西太平洋最典型的边缘海之一,与日本岛弧及日本海沟-南海海槽构成完整的海沟-岛弧-盆地系统(李瑞磊等,2004)。日本海仅东北部的日本海盆深海区为洋壳(图3)(Jolivet et al., 1994;)。ODP794、795和797钻井钻遇玄武岩,年龄为25~18 Ma(Tamaki et al., 1992),因无法确定

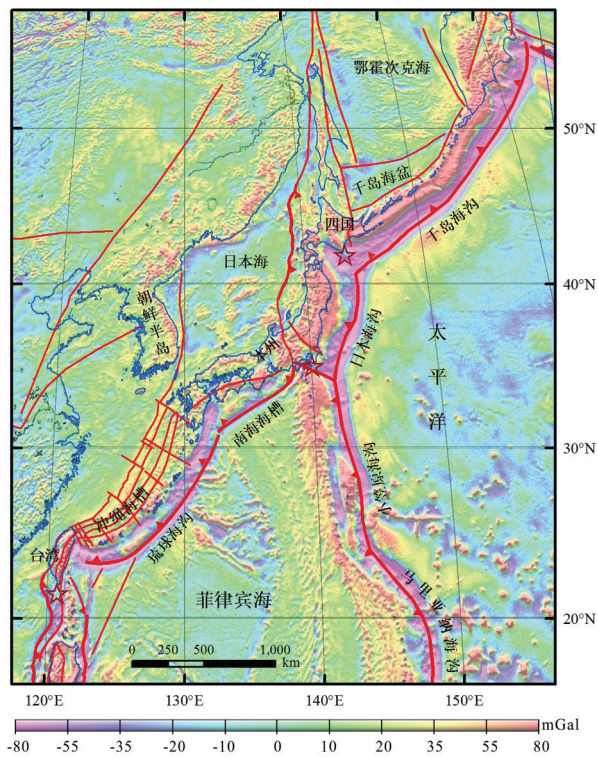


图2 西太平洋边缘构造带北段及其重力异常图(图例同图1)
Fig.2 North part of western Pacific marginal structural zone and its free-air gravity anomaly

是否达到基底, 仅可提供初始扩张的最小年龄(Nohda, 2009), 且没有令人信服的扩张轴和确切的磁条带模型, 其扩张时间与方式仍存争议。

尽管对日本海的成因仍有不同的认识, 但主流观点认为是太平洋板块俯冲导致的弧后扩张的结果, 主要争议在扩张年龄与扩张方式方面。一些学者认为日本海盆的裂谷作用始于始新世(Filatova, 2004), 而被广泛接受的是裂谷作用主要始于渐新世(30 Ma或35 Ma)(Xu et al., 2014)。

日本岛弧由不同时期的构造单元组成(图3)。通常认为, 30 Ma前日本位于亚洲大陆边缘, 随后开始形成大陆裂谷(Wakita, 2012); 25 Ma, 日本海盆和千岛海盆开始张开。20~15 Ma, 东北日本逆时针旋转, 而西南日本顺时针旋转, 致使日本海以“双开门”形式张开(Martin A K, 2011)。中中新世(15 Ma), 伊豆—小笠原岛弧与本州岛弧碰撞致使日本海扩张停止(Wakita, 2012), 之后总体进入裂后期。

2.3 琉球海沟—岛弧—弧后盆地

琉球海沟、南海海槽俯冲带, 从台湾岛延伸至

九州岛, 全长约1500 km(图3)。台湾东北菲律宾海板块沿琉球海沟俯冲于欧亚板块之下(图3)。菲律宾海板块沿北西305°方向高倾斜俯冲于琉球岛弧之下(Seno, 1977), 导致冲绳海槽弧后扩张, 并琉球海沟的后退(Letouzeyet al., 1986; Sibuet and Hsu, 2004; Teng, 1996)。冲绳弧后海槽往西增生导致台湾褶皱逆冲带东北挤压构造出现拉张(Teng et al., 2001), 在台湾东北形成变形前缘, 延伸至其东北海域(Hsiao et al., 1998; Ustaszewski, et al., 2012)。

冲绳海槽是琉球岛弧的弧后盆地, 是菲律宾海板块向西北俯冲的结果, 形成于中—晚中新世(Letouzeyet al., 1985; Honza et al., 2004), 是西北太平洋边缘最年轻的盆地。冲绳海槽地壳属减薄的陆壳(Hirata et al., 1991; Iwasaki et al., 1990), 其厚度从北部九州附近的27~30 km往南至台湾附近较薄至15 km以下(Iwasaki et al., 1990)。三维P波速度结构表明, 冲绳海槽的扩张主要因为菲律宾海板块的斜向俯冲以及俯冲板块的大量脱水作用所致(Wang et al., 2008)。

3 台湾弧—陆碰撞带

台湾岛是世界上最新最典型的碰撞造山地区之一, 在大地构造上位于菲律宾海板块和亚欧板块的交汇处, 同时位于琉球海沟俯冲带和菲律宾俯冲带的枢纽部位(图3)。欧亚大陆在这里被撕裂, 南部欧亚大陆边缘及南海沿马尼拉海沟俯冲于菲律宾岛弧之下, 北部菲律宾海盆洋壳沿琉球海沟俯冲至欧亚大陆之下(图4)。

大约16 Ma之前, 俯冲带从菲律宾群岛的东侧移至西侧, 形成马尼拉俯冲带(Lallemant et al., 2013)。之后, 吕宋岛弧形成为洋内弧(Sibuet et al., 2004)。北吕宋火山岛弧以8.2 cm/a的速度沿310°向欧亚板块移动(Yu et al., 1997), 最终于4~5 Ma与欧亚大陆边缘碰撞(Yu et al., 2001; Ustaszewski, et al., 2012), 导致台湾岛隆升。

由于欧亚大陆与台湾岛弧的斜向汇聚, 碰撞由北往南, 台湾岛已碰撞造山, 南部恒春半岛正在碰撞, 往南逐步过渡为俯冲阶段(Wintsch et al., 2011)。

4 菲律宾岛弧系—双向俯冲带与边缘海

菲律宾岛弧系, 北起台湾岛, 南至马鲁古海, 长

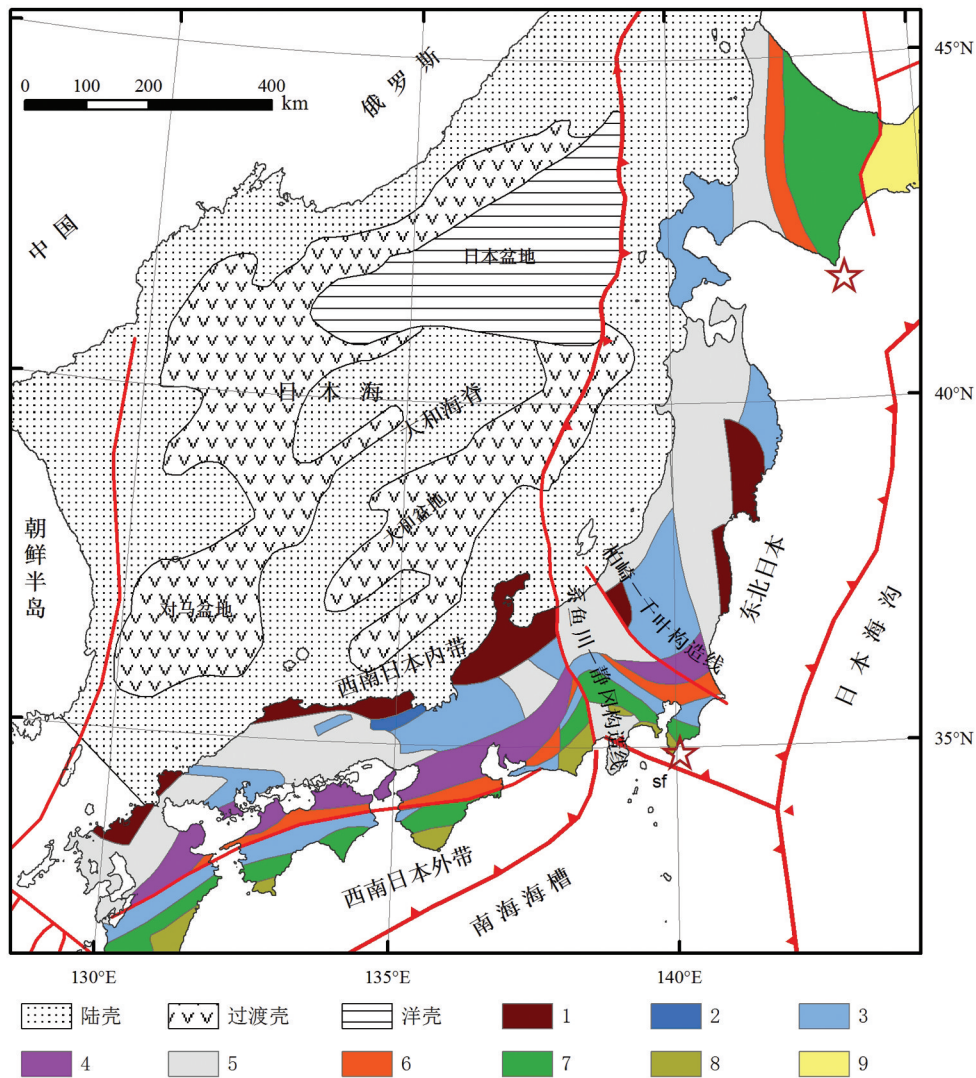


图3 日本海-日本岛弧地质构造简图(据 Martin, 2011; Wakita, 2012 修编)

1—古生界及深成-变质岩体;2—二叠纪增生体;3—侏罗纪增生体;4—侏罗纪低压变质带;5—白垩纪花岗岩、火山岩;6—侏罗纪高压变质带;7—白垩纪增生体;8—新生代增生体;9—白垩纪—新近纪变质带,其他图例同图1

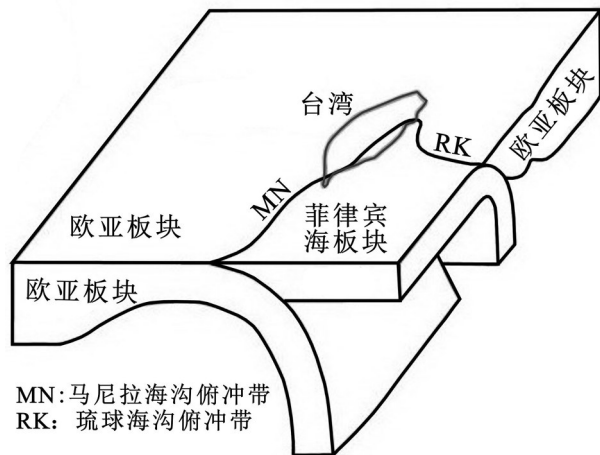
Fig. 3 Structural chart of Japan arc and Japan Sea (modified from Martin, 2011; Wakita, 2012)

1—Paleozoic rocks and plutono-metamorphic complexes;2—Permian accretionary complex;3—Jurassic accretionary complexes;4—Jurassic low pressure metamorphic belt;5—Cretaceous granites and volcanics;6—Jurassic high pressure metamorphic belt;7—Cretaceous accretionary complexes;8—Cenozoic accretionary complexes;9—Cretaceous-Neogene metamorphic belt

约1500 km,宽100~400 km,为菲律宾海板块与欧亚板块间的活动构造带(图5),由复杂的岛弧、陆块及双向俯冲带组成(图6)。与北部的沟-弧-盆体系不同,该段板块边界要复杂得多,其东界为北吕宋海沟和菲律宾海沟俯冲带,西界是马尼拉海沟、内格罗斯海沟和哥打巴托海沟俯冲带(图5)。地震震中资料证实在吕宋岛弧东、西两侧均存在贝尼奥夫带,深度在200 km左右,倾斜方向相对(Hall, 2002)。

该构造带以东的菲律宾海,形成于始新世—早渐新世,其西侧,北部从始新世开始往西沿北吕宋海沟往西俯冲,而南部的菲律宾海沟形成较晚,从上新世开始,俯冲倾角约30°,最大俯冲深度不超过200 km(Hickey-Vargas et al., 2008)。

构造带以西,由北往南为渐新世—中新世南海、早—中中新世苏禄海和中始新世苏拉威西海。南海从中新世开始沿马尼拉海沟往东以8 cm/a速率俯冲于菲律宾岛弧之下(Bowin et al., 1978),倾角约



MN: 马尼拉海沟俯冲带
RK: 琉球海沟俯冲带

图4 台湾碰撞带欧亚板块与菲律宾海板块三维示意图
(据 Sibuet et al., 2004, Lallemand et al., 2013, 修改)
Fig. 4 3D sketch showing the relationship of Eurasia and Philippine sea plate (modified after Sibuet et al., 2004, Lallemand et al., 2013)

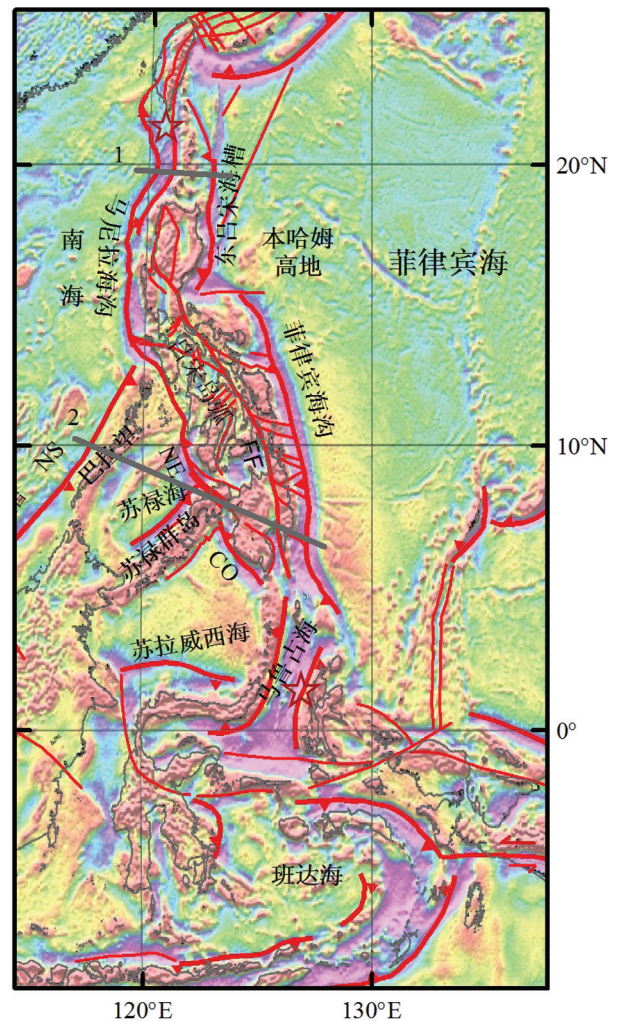
50°,最大深度 250 km。苏禄海和苏拉威西海洋壳从上新世开始分别沿俯冲于内格罗斯海沟和哥打巴托海沟往东俯冲。

菲律宾活动带是晚中生代以来形成的交错叠加的岩浆弧(Deschampset al., 2002)以及蛇绿岩,与周缘边缘海在年龄上各自对应,它们之间可能具有亲缘或演化关系,是中、新生代多次汇聚、碰撞、拼接而成,是火山弧、蛇绿岩碎块和大陆碎块组成的集合体。早一中中新世巴拉望微陆块与菲律宾岛弧的弧陆碰撞(Karig, 1983)和中新世开始并于上新世停止的卡加延海脊与巴拉望微陆块的弧陆碰撞,以及晚中新世桑义赫弧与亚马黑拉弧的弧-弧碰撞(Aurelio et al., 2013),约 6.5 Ma 开始且持续进行的吕宋岛弧与欧亚大陆的弧陆碰撞(Huang et al., 2000)。

菲律宾群岛中间分布着巨大的左旋走滑菲律宾断层。以该断层为界,菲律宾群岛东、西部属于不同的大地构造单元,东部为岛弧区主体,而西部属特提斯域的范畴,其地层发育特征更类似南海地区(Yu et al., 2013)。

这些岛弧主体为新生代,白垩纪地层仅限于东菲律宾,主要为火山岛弧成因,含蛇绿岩基底(Hall R, 2002)。菲律宾群岛演化历史极其复杂,既有走滑运动又有俯冲作用,其历史至少到白垩纪。

菲律宾岛弧往南终止于马鲁古(Molucca)海碰



NS: 南海海槽 NE: 内格罗斯海沟 CO: 哥打巴托海沟 FF: 菲律宾断裂带 1、2: 剖面编号及位置

图5 菲律宾岛弧系及其空间重力异常图
图例参见图1和2

Fig. 5 The structure of Philippine arc and its free-air gravity anomaly

撞带。

4.1 南海

南海是西太平洋最大的边缘海,拥有较清晰的磁异常条带。IODP 349 航次钻探实施后,各海盆的扩张时间问题得到解决,认为东部次海盆扩张时间为 33~15 Ma,而西南次海盆扩张时间为 23.6~16 Ma (Li et al., 2015)。

而南海张开的动力学机制问题依然没有得到很好的解决,已有的模式包括:海底扩张模式、碰撞挤出模式、地幔柱模式、弧后扩张模式、陆缘伸展扩

张模式、右行拉分作用模式和单向拉张机制模式等 (Taylor and Hayes, 1983; Tapponnier et al., 1982; Leloup et al., 2001)。其中最有影响的挤出说和古南海板片牵引说。

Tapponnier et al. (1982) 提出挤出构造假说, 即印度板块与欧亚板块碰撞, 致使中南半岛往东南挤出, 导致南海扩张。事实上, 华南大陆边缘裂谷作用始于晚白垩世 (Shi et al., 2012), 形成一系列裂谷盆地, 时间早于印度板块与欧亚板块的碰撞。

古南海俯冲假说的证据主要来自婆罗洲北部分布的增生体、蛇绿岩侵位、火山活动、挤压变形、隆起、地壳增厚, 以及婆罗洲西北部和巴拉望地震层析成像特征 (Hall, 2002; Hall et al., 2008)。认为白垩纪末—古近纪, 古南海及南沙地块往南向婆罗洲俯冲 (Hutchison, 2004)。板片的牵引, 导致华南产生裂谷作用及随后的海底扩张 (Fyhn et al., 2009)。

4.2 苏禄海

苏禄海位于南海南侧, 菲律宾群岛以西 (图 5)。卡加延脊将苏禄海分为西北苏禄海盆和东南苏禄海盆。西北苏禄海盆曾被看作沙巴—巴拉望造山带的东延, 或婆罗洲—苏禄碰撞带的一部分。地球物理资料与深海钻探表明, 西北苏禄海盆为陆壳, 新近纪沉积厚 0.5~3.5 s (双程走时), 下伏晚中新世末不整合面, 不整合面之下为强烈变形的克拉克组 (始新统) (姚伯初等, 2004)。

ODP 钻探前, Rangin (1989) 认为苏禄海是苏拉威西海板片往西北的俯冲, 形成的弧后盆地。DOP 钻探后, Ranginet al. (1991) 提出苏禄海形成于古南海往南俯冲弧后模型, 认为是 20~15 Ma 古南海俯冲于卡加延脊之下的结果, 15 Ma 卡加延脊与巴拉望碰撞, 俯冲终止。但现在不少学者从地球化学角度 (Hall, 2013), 更认可 Rangin (1989) 最初认识, 苏拉威西海往西北俯冲形成苏禄海, 之后礼乐地块与卡加延岛弧碰撞, 巴拉望隆升。

4.3 苏拉威西海

苏拉威西海位于苏禄海以南, 东为哥打巴托海沟, Weissel (1980) 识别出 20、19 和 18 号磁条带, 走向北东, 年龄为 47~42 Ma, 为始新世洋壳, 同时认为扩张中心位于现在盆地的南缘, 其南部几乎一半已俯冲于北苏拉威西海沟之下。

ODP770 钻孔揭示, 海底下 420 m 为深海沉积, 最老年龄为中始新世, 再往下是枕状熔岩、角砾化的块状玄武岩和辉绿岩, 认为其扩张时间为 50~37 Ma, 与西菲律宾海同时, 是印度洋板块往北俯冲的结果 (Nichols et al., 1999)。由于西菲律宾海板块的往北右旋运动, 晚渐新世开始苏拉威西海逐渐与西菲律宾海隔离 (Hall, 2002)。

总之, 菲律宾岛弧系构造复杂, 形成双向俯冲带, 其边缘海在形成过程及形成后, 经历复杂的改造, 其自身有相当部分已俯冲消减, 周边环境发生

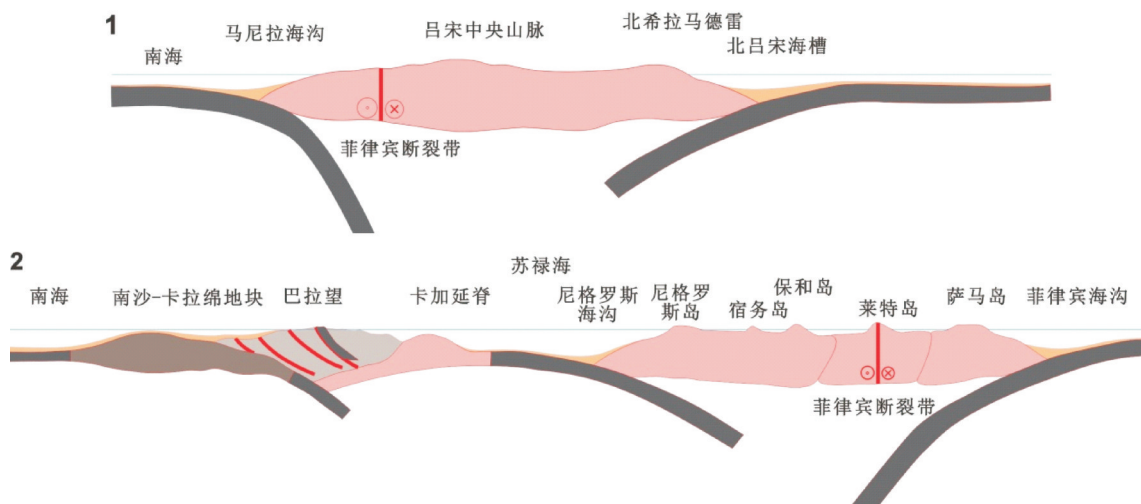


图 6 菲律宾构造带双向俯冲带示意图 (剖面位置见图 5)

Fig. 6 Sketch map of double subduction zone in Philippine structural zone

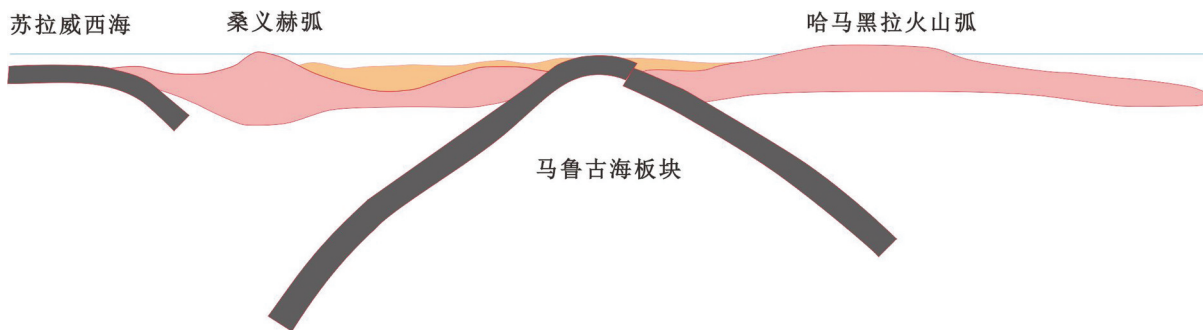


图8 马鲁古海双向俯冲示意图(剖面位置见图7)

Fig. 8 Sketch of double subduction zone in Molucca Sea

(Widiyantoro et al., 1997; Pubellier et al., 2004)。

斯兰岛南侧的安汶火山岛弧活动始于 5 Ma (Honthaas et al., 1999), 因此认为斯兰俯冲带始于晚中新世。根据地震活动特征, 认为俯冲板片达 500 km 深, 对应于汇聚方向板片长度约 700 km (Hinschberger et al., 2005)。该俯冲带往东与 TareraAiduna 断裂带相连。

现在 GPS 研究 (Kremer et al., 2000) 表明, 乌头岛与斯兰岛之间在高速汇聚, 在斯兰海槽乌头岛俯冲于斯兰岛之下。乌头岛现在随太平洋板块在运动 (McCaffrey, 1988)。

6.2 班达海与班达弧

班达地区海盆包括北班达海、南班达海和韦伯海, 其成因与形成时间 (图 7) 长期存在争议 (Hall, 2002)。早期认为是中生代的残余 (Pigram et al., 1984), 但新近的地球化学与地质年代学数据认为, 南班达海是年轻的弧后扩张盆地 (Honthaas et al., 1998)。Hinschberger et al. (2001) 对古地磁异常重新解释, 认为其年龄为 6~3 Ma。南班达海扩张终止于班达弧与澳大利亚北缘在帝汶岛的碰撞 (Hall, 2002)。

对北班达海盆所知甚少, 热流观测及拖网表明, 该盆地下伏晚中新世弧后玄武岩地壳 (Hinschberger et al., 2005)。

韦伯海槽, 位于南班达海盆东侧, 最大水深约 7400 m, 是世界上最深的非俯冲盆地之一。其形成时代应为晚上新世至更新世 (Charlton et al., 1991), 是弧前环境拉伸形成的最新盆地。Hinschberger et al. (2005) 推测韦伯海槽形成于 3~1 Ma, 是澳大利亚—班达弧的汇聚, 班达弧弯曲导致弧后扩张的结果。

现在班达弧由火山内弧和无火山外弧组成, 外弧岛弧主要由二叠纪至第四纪的沉积岩、变质岩和少量火山岩。内火山弧自晚中新世开始活动 (Honthaas et al., 1998)。外弧岛屿是亚洲陆源的外来体, 新近纪被逆冲到澳大利亚陆缘之上。

在班达海南侧, 澳大利亚边缘与班达弧碰撞, 上新世开始呈斜向碰撞, 碰撞时间由东往西迁移 (Hall, 2002)。最东端, 澳大利亚大陆岩石圈长达 400 km 已俯冲阿鲁海槽之下 (Packham, 1996), 主体部分为 150~250 km 已俯冲消减 (Von der Borch, 1979; Petkovic et al., 2000)。而西端帝汶岛地区, 澳大利亚板块的岬角已经与班达弧碰撞 (Hinschberger et al., 2005)。

6.3 新几内亚俯冲带

新几内亚俯冲带是太平洋—加罗林板块往南向澳大利亚板块斜向俯冲汇聚的结果 (图 7), 形成于与弧—陆碰撞相关的连续构造事件。在新几内亚—澳大利亚与太平洋—加罗林板块之间的汇聚速率为 10~11 cm/a, 方向 248° (DeMets et al., 1990)。

新几内亚造山带形成时间存在争议。裂变径迹年龄表明, 新几内亚的大部分隆升很新, 大部分裂变径迹年龄记录隆升始于 10 Ma, 部分地区始于 5 Ma (Hall, 2002)。如果将现在澳大利亚板块与太平洋板块的运动速率外推至 10 Ma, 那么对应的汇聚量达 1000 km。GPS 测量 (Kremer et al., 2000) 显示, 现在一部分汇聚被新几内亚缩短、一些小板块间的走滑及俯冲所容纳 (Hall, 2002)。

南部的 TareraAiduna 断裂带, 是澳大利亚北部海域洋壳往太平洋边缘岛弧俯冲的俯冲带, 于早中新世澳大利亚北部与新几内亚岛弧南部出现弧陆

碰撞,形成蛇绿岩。因此该板块边缘也形成双向俯冲带。随着菲律宾海板块和太平洋板块的运动,TareraAiduna断裂带产生明显左旋位移。

6.4 俾斯麦海—所罗门海—伍德拉克海

介于北部俾斯麦岛弧、所罗门岛弧与南部新几内亚岛弧之间的有俾斯麦海、所罗门海和伍德拉克海(图7)。其中所罗门海最老,而俾斯麦海和伍德拉克海均很新。

所罗门海分别往北、往南俯冲,大部分已消亡,残余部分只有少量保存不好的磁异常。根据磁条带特征,所罗门海盆给出两个时代,一是39~36 Ma,另一是34~28 Ma(Hall, 2002)。早的年龄对应于新几内亚岛弧与澳大利亚大陆的碰撞,推测在两者合并后不久形成该海盆。这些表明所罗门海盆可能形成于始新世末或渐新世初至晚渐新世(Honza E et al., 2004)。

由于太平洋板块往北东东方向运动,现在的澳大利亚与太平洋板块边缘地区主体为左旋走滑的斜向汇聚带,新几内亚以北以东,俾斯麦脊和伍德拉克脊剪切张开,沿板块边界形成剪切拉张盆地(Taylor, 1979)。

俾斯麦海形成于4 Ma,以长转换断层与短扩张段为特征(Taylor et al., 1995),沿转换断层的地震活动十分频繁。转换断层西端进入巴布亚新几内亚的塞皮克(Sepik)盆地,其走滑运动连接到TareraAiduna断裂带。尽管处于弧后位置,被认为是大型左旋走滑断层导致扩张形成盆地的典型例证(Pubellier et al., 2004)。

伍德拉克海张开过程复杂,始于约6 Ma(Taylor et al., 1999),随后往西发展,扩张中心方向随之改变,同时盆地东端出现俯冲。

7 讨论

西太平洋板块边缘,从千岛海沟俯冲带至新几内亚,延绵数千千米,是地球上规模最大最复杂的板块边界之一。西太平洋边缘最显著的特征是新生代形成一系列的边缘海,其成因长期受到地学界的关注,得到最认可的成因是弧后扩张模式。显然不是所有西太平洋边缘海均适合弧后扩张模式。比如南海,尽管也曾提出是菲律宾岛弧的弧后盆地(Karig, 1973; 郭令智, 1983),但经过一系列调查后,

基本可以确定该模式不适合于南海,因为在南海形成的初期,菲律宾岛弧还不现在的位置。后来也提出多种模型,包括地幔柱说(Castillo, 1988)、碰撞挤出所说(Tapponnier et al., 1982)、古南海俯冲拖曳说(Hutchoison, 2004)等。至今没有统一认识。

苏禄海调查程度较低,其成因主流观点认为是弧后扩张盆地,但到底是南部苏拉威西海板块俯冲,还是北部古南海板块的结果,却存在不同认识。其南侧的苏拉威西海,尽管经过ODP的钻探,扩张时间基本确定(Rangin et al., 1991),但究竟是单独扩张形成,还是西菲律宾海隔离的结果仍存在争议。

再往南的班达海、俾斯麦海、所罗门海等所处构造位置均相当复杂,而且缺乏钻探,对成因的认识还很肤浅。

总体来看,只有台湾以北的边缘海成因,比较一致认为是弧后扩张的产物,以南的边缘海成因均充满争议。这主要是由于南部新生代经历复杂的构造演化,使得边缘海成因难以认识。中段菲律宾海是关键,其形成过程不断往北漂移,并顺时针旋转(Hall, 2002),使得菲律宾构造带及其周边环境不断发生改变,也改变了南海、苏禄海和苏拉威西海的周边构造环境,增添了认识的难度。南段澳大利亚板块与欧亚板块东南亚发生由东往西的碰撞,致使东南亚地区发生大规模的板块重组,构造格局发生极大的改变。

因此要更好地认识这些边缘海的成因,必须把西太平洋边缘作为整体进行研究。

8 结论

(1)对西太平洋板块边缘研究表明,各段特征明显不同。以台湾和马鲁古海为界,至少可以分为3段。台湾以北,是典型的沟-弧-盆体系,其边缘海,包括千岛海盆、日本海和冲绳海槽,分别是千岛海沟、日本海沟—南海海沟和冲绳海沟俯冲形成的弧后盆地。台湾岛处于枢纽部位,欧亚板块在此被撕裂,南部欧亚大陆边缘南海洋壳沿马尼拉海沟俯冲于菲律宾岛弧之下,而北部菲律宾海洋壳沿琉球海沟俯冲于欧亚大陆之下。

(2)菲律宾岛弧,由复杂的岛弧和陆块组成,其东侧菲律宾海板块沿北吕宋海沟和菲律宾海沟俯冲于该岛弧之下,而南海、苏禄海和苏拉威西海洋

壳沿马尼拉海沟、内格罗斯海沟和哥打巴托海沟俯冲于该岛弧之下,形成双向俯冲带,其间包括大量的碰撞缝合线和大型走滑断裂。

(3) 马鲁古海是西太平洋板块边界又一转折,马鲁古海板块往东下插于哈马黑拉岛弧之下,往西下插于桑义赫弧,形成反U形双向俯冲汇聚带,其洋壳板块已基本全部消失,哈马黑拉弧与桑义赫弧已于晚上新世开始碰撞。

(4) 新几内亚—所罗门构造带是太平洋板块、印度—澳大利亚及欧亚板块共同作用的结果,其构造复杂,既有不同阶段的俯冲、碰撞,也有大规模的走滑与弧后的扩张。该构造带北部以新几内亚海沟、马努斯海沟、维蒂亚兹海沟,与加罗林板块及太平洋板块为邻;南为Tarera Aiduna断裂带,与澳大利亚板块为界,包括斯兰俯冲带、班达弧—弧后盆地、俾斯麦海、所罗门海和伍德拉克海等。

致谢:感谢审稿专家提出的建设性意见和建议!

References

- Audley— Charles M G, Carte, J D, Barber, A J, Norvick M S, Tjokrosapoetro S. 1979. Reinterpretation of the geology of Seram: Implications for the evolution of Banda Arc and northern Australia[J]. *Journal of the Geological Society*, 136: 547–568.
- Aurelio M A, Peña R E, Taguibao K J L. 2013. Sculpting the Philippine archipelago since the Cretaceous through rifting, oceanic spreading, subduction, obduction, collision and strike–slip faulting: Contribution to IGMA5000[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 72: 102–107.
- Baranov BV, Werner R, Hoernle K A, Tsoy I B, van den Bogaard P, Tarain I A. 2002. Evidence for compressionally induced high subsidence rates in the Kurile Basin (Okhotsk Sea) [J]. *Tectonophysics*, 350(1): 63–97.
- Ben—Avraham, Z. Uyeda, S. 1973. The evolution of the China Basin and the Mesozoic Paleogeography of Borneo[J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 18, 365–376.
- Charlton T R. 1991. Postcollision extension in arc–continent collision zones, eastern Indonesia[J]. *Geology*, 19(1): 28–31.
- Daly M C, Cooper M A, Wilson I. 1991. Cainozoic plate tectonics and basin evolution in Indonesia[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 8 (1): 2–21.
- DeMets C, Gordon R G, Argus D F, Stin S. 1990. Current plate motions[J]. *Geophysical Journal International*, 101(2): 425–478.
- Di Leo J F, Wooley J, Hammond J O S, Kendall J M, Kaneshima S, Inoue H, Yamashina T, Harjadi P. 2012. Deformation and mantle flow beneath the Sangihe subduction zone from seismic anisotropy[J]. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 194–195: 38–54.
- Filatova, N I. 2004. Cenozoic extension structures in the continental framework of the Japan Sea[J]. *Geotectonica*, 38(6): 459–477.
- Fyhn M B W, Boldreel L O, Nielsen L H. 2009. Geological development of the Central and South Vietnamese margin: Implications for the establishment of the South China Sea, Indochinese escape tectonics and Cenozoic volcanism[J]. *Tectonophysics*, 478(3–4): 184–214
- Guo L Z, Shi Y S, Ma R S. 1983. On the Formation and evolution of the Mesozoic–Cenozoic active continental margin and Island Arc tectonics of the Western Pacific Ocean[J]. *Acta Geologica Sinica*, 57(1):11–21
- Hall R. 2002. Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: Computer–based reconstructions model and animations[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 20(4): 353–431
- Hall R, van Hattum M W A, Spakman W. 2008. Impact of India–Asia collision on SE Asia: the record in Borneo[J]. *Tectonophysics*, 451 (1/4): 366–389.
- Hall R. 2013. Contraction and extension in Northern Borneo driven by subduction rollback[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 76: 399–411.
- Hao T Y, Neprochnov Y, Jiang W W, Song H B, Liu J H, Liu Y K. 2001. Feature of field and geological tectonics in Okhotsk Sea[J]. *Progress in Geophysics*, 16(1): 1–10(in Chinese with English abstract).
- Hinschberger F, Malod J A, Réhault J P, Villeneuve M, Royer J Y, Burhanuddin S. 2005. Late Cenozoic geodynamic evolution of eastern Indonesia[J]. *Tectonophysics*, 404(1–2): 91–118.
- Hirata N, Kinoshit H, Katao H, Baba H, Kaiho Y, Koresawa S, Ono Y, Hayashi K. 1991. Report on DELP 1988 cruise in the Okinawa Trough part 3. Crustal structure of the southern Okinawa Trough[J]. *Bulletin of Earthquake Research Institute*, 66(1):37–70.
- Honthaas C, Réhault, J P, Maury R C, Bellon H, Hémond C, Malod J A, Cornée J J, Villeneuve M, Cotton J, Burhanuddin S. 1998. A Neogene back–arc origin for the Banda Sea basins: Geochemical and geochronological constraints from the Banda ridges (east Indonesia) [J]. *Tectonophysics*, 298(4): 297–317.
- Honthaas C, Maury R C, Priadi B, Bellon H, Cotten J. 1999. The Plio–Quaternary Ambon Arc, eastern Indonesia[J]. *Tectonophysics*, 301 (3/4): 261–281.
- Honza E, Fujioka K. 2004. Formation of arcs and backarc basins inferred from the tectonic evolution of Southeast Asia since the Late Cretaceous[J]. *Tectonophysics*, 384(1/4): 23–53
- Hsiao L Y, Lin K A, Huang S T, Teng L S. 1998. Structural characteristics of the Southern Taiwan–Sinzi folded zone[J]. *Petroleum Geology of Taiwan*, 32: 133–153.
- Hutchison C S. 2004. Marginal basin evolution: The southern South China Sea[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 21(9): 1129–1148.
- Iwasaki T, Hirata N, Kanazawa T, Melles J, Suyehiro K, Urabe T, Möller L, Makris J, Shimamura H. 1990. Crustal and upper mantle structure in the Ryukyu island arc deduced from deep seismic sounding[J]. *Geophysical Journal International*, 102(3): 631–651.

- Jolivet L, Tamaki K, Fournier M. 1994. Japan Sea, opening history and mechanism: A synthesis[J]. *Journal of Geophysical Research*, 99 (B11): 22237–22259.
- Katili J A. 1975. Volcanism and plate tectonics in the Indonesian island arcs[J]. *Tectonophysics*, 26(3/4): 165–188.
- Kimura M. 1985. Back–arc rifting in the Okinawa Trough[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2(3): 222–240.
- Kimura G, Tamaki K. 1986. Collision, rotation and back–arc spreading of the Okhotsk and Japan Sea[J]. *Tectonics*, 5(3): 389–401.
- Kreemer C, Holt W E, Goes S, Govers R. 2000. Active deformation in eastern Indonesia and the Philippines from GPS and seismicity data[J]. *Journal of Geophysical Research*, 105 (B1): 663–680.
- Lallemant S E, Popoff M, Cadet J P, Bader A G, Pubellier M, Rangin C, Beffontaines B. 1998. Genetic relations between the central and southern Philippine Trench and the Sangihe Trench[J]. *Journal of Geophysical Research*, 103 (B1): 933–950.
- Lallemant S, Theunissen T, Schnürle P, Lee C S, Liu C S, Font Y. 2013. Indentation of the Philippine Sea plate by the Eurasia plate in Taiwan: Details from recent marine seismological experiments[J]. *Tectonophysics*, 594: 60–79.
- Leleup P H, Arnaud N, Lacassin R, Kienast J R, Harrison T M, Phan Trong T T, Replumaz A, Tapponnier P. 2001. New constraints on the structure, thermochronology and timing of the ASRR shear zone, SE Asia[J]. *Journal of Geophysical Research*, 106 (B4): 6683–6732.
- Letouzey J. 1985. Okinawa Trough genesis: Structure and evolution of back–arc basin development in a continent[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2(2): 111–130.
- Letouzey J, Kimura M. 1986. The Okinawa Trough: Genesis of a back–arc basin developing along a continental margin[J]. *Tectonophysics*, 125(1/3): 209–230.
- Li C F, Li J B, Ding W W, Franke D, Yao Y J, Shi H S, Pang X, Cao Y, Lin J, Kulhanek D K, Williams T, Bao R, Briais A, Brown E A, Chen Y F, Clift P D, Colwell F S, Dadd K A, Hernández–Almeida I, Huang X L, Hyun S, Jiang T, Koppers A A P, Li Q Y, Liu C L, Liu Q S, Liu Z F, Nagai R H, Peleo–Alampay A, Xu X, Sun Z, Tejada M L G, Trinh H S, Yeh Y C, Zhang C L, Zhang F, Zhang G J, Zhao X X. 2015. Seismic stratigraphy of the central South China Sea basin and implications for neotectonics[J]. *Journal of Geophysical Research*, 120: 1377–1399.
- Li R L, Zhao X P, Yang B J. 2004. The basic characteristics and geologic meanings of crustal structure in the domain of Japan Sea[J]. *Progress in Geophysics*, 19(1): 56–60 (in Chinese with English abstract).
- Li S Z, Suo Y F, Liu X, Dai L M, Yu S, Zhao S J, Ma Y, Wang X F, Cheng S X, Xue Y C, Xiong L J, An H T. 2012. Basic structural pattern and tectonic models of the South China Sea: Problems, advances and controversies[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 32(6): 35–53.
- Li S Z, Yu S, Zhao S J, Liu X, Gong S Y, Suo Y F, Dai L M, Ma Y, Xu L Q, Cao X Z, Wang P C, Sun W J, Yang Z, Zhu J. 2013. Tectonic transition and plate reconstructions of the East Asian continental margin[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 33(3): 65–94.
- Luan X W, Zhang L. Tectonic evolution modes of South China Sea: Passive spreading under complex actions[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 29(6): 59–74.
- Martin A K. 2011. Double saloon door tectonics in the Japan Sea, Fossa Magna, and the Japanese Island Arc[J]. *Tectonophysics*, 498 (1/4): 45–65.
- McCaffrey R. 1982. Lithospheric deformation within the Molucca sea arc–arc collision: Evidence from shallow and intermediate earthquake activity[J]. *Journal of Geophysical Research*, 87(B5): 3663–3678.
- McCaffrey R. 1988. Active tectonics of the eastern Sunda and Banda Arcs[J]. *Journal of Geophysical Research*, 93 (B12): 15163–15182.
- Nichols G, Hall R. 1999. History of the Celebes Sea Basin based on its stratigraphic and sedimentological record[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 17(1/2): 47–59.
- Nohda, S. 2009. Formation of the Japan Sea basin: Reassessment from Ar–Ar ages and Nd–Sr isotopic data of basement basalts of the Japan Sea and adjacent regions[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34(5): 599–609.
- Packham G. 1996. Cenozoic SE Asia: reconstructing its aggregation and reorganization[C]// Hall R, Blundell D J (eds.). *Study on Ophiolites and Geodynamics*. Geological Society, London, Special Publications, 106: 123–152.
- Petkovic P, Collins C D N, Finlayson D M. 2000. A crustal transect between Precambrian Australia and the Timor trough across the Vulcan sub–basin[J]. *Tectonophysics*, 329(1/4): 23–38.
- Pigram C J, Panggabean H. 1984. Rifting of the northern margin of the Australian continent and the origin of some microcontinents in eastern Indonesia[J]. *Tectonophysics*, 107(3/4): 331–353.
- Pubellier M, Monnier C, Maury R, Tamayo R. 2004. Plate kinematics, origin and tectonic emplacement of supra–subduction ophiolites in SE Asia[J]. *Tectonophysics*, 392(1/4): 9–36.
- Pubellier M, Meresse F. 2013. Phanerozoic growth of Asia: Geodynamic processes and evolution[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 72: 118–128.
- Rangin C. 1989. The Sulu Sea, a back–arc basin setting within a Neogene collision zone[J]. *Tectonophysics*, 161(1/2): 119–141.
- Rangin C, Silver E A. 1991. Neogene tectonic evolution of the Celebes Sulu basins: new insights from Leg 124 drillings[C]// Silver E A, Rangin C, von Breyman M T, et al (eds.). *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 124: 51–63.
- Rangin C, Spakman W, Pubellier M, Bijwaard H. 1999. Tomographic and geological constraints on subduction along the eastern Sundaland continental margin (South–East Asia) [J]. *Bulletin De La Societe Geologique De France*, 170(6): 775–788.
- Ren J. Y., Li S. T., 2000. Spreading and Dynamic Setting of Marginal Basins of the Western Pacific[J]. *Earth Science Frontiers (China University of Geosciences, Beijing)*, 7(3): 203–213

- Sdrolias M, Roest W R, Müller R D. 2004. An expression of Philippine Sea plate rotation: the Parece Vela and Shikoku Basins[J]. *Tectonophysics*, 394(1/2): 69–86.
- Seno T. 1977. The instantaneous rotation vector of the Philippine Sea plate relative to the Eurasian plate[J]. *Tectonophysics*, 42(2/4): 209–226.
- Shi H, and Li C F. 2012. Mesozoic and early Cenozoic tectonic convergence–to–rifting transition prior to opening of the South China Sea[J]. *International Geology Review*, 54(15):1–28.
- Sibue J C, Hsu S K, 2004. How was Taiwan created? [J]. *Tectonophysics*, 379(1/4): 159–181.
- Tapponnier P, Peltzer G, Dain L ALY, Armijo R, Cobbold P. 1982. Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticine[J]. *Geology*, 10(10): 611–616.
- Taylor B, 1979. Bismarck Sea: evolution of a back–arc basin[J]. *Geology*, 7(4): 171–174.
- Taylor B, Hayes D E. 1983. Origin and history of the South China Sea Basin Taylor B, Hayes D E(eds.). *The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands*. Washington: American Geophysical Union, 23–56.
- Taylor B, Goodliffe A M, Martinez F, Hey R. 1995. Continental rifting and initial seafloor spreading in the Woodlark Basin[J]. *Nature*, 374: 534–537.
- Taylor B, Goodliffe A M, Martinez F. 1999. How continents break up: insights from Papua New Guinea[J]. *Journal of Geophysical Research*, 104(B4): 7497–7512.
- Teng L S. 1996. Extensional collapse of the northern Taiwan mountain belt[J]. *Geology*, 24(10): 949–952.
- Teng L S, Lee C T, Peng C H, Chen W F, Chu C J. 2001. Origin and geological evolution of the Taipei Basin, Northern Taiwan[J]. *Western Pacific Earth Sciences*, 1(2):115–142.
- Tregoning P, Jackson R J, McQueen H, Lambeck K, Stevens C, Little R P, Curley R, Rosa R. 1999. Motion of the South Bismarck Plate, Papua New Guinea[J]. *Geophysical Research Letters*, 26(23): 3517–3520.
- Carena S. 2012. Crust–mantle boundaries in the Taiwan–Luzon arc–continent collision system determined from local earthquake tomography and 1D models: for the mode of subduction polarity reversal[J]. *Tectonophysics*, 578: 31–49.
- Von der Borch C C. 1979. Continent–island arc collision in the Banda Arc[J]. *Tectonophysics* 54(3–4): 169–193.
- Wakita K. 2013. Geology and tectonics of Japanese islands: A review – The key to understanding the geology of Asia[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 72: 75–87.
- Wang P X. 2012. Tracing the life history of a marginal Sea—On the “South China Sea Deep” Research Program[J]. *Chin. Sci. Bull.*, 57, doi: 10.1007/s11434–012–5087–1
- Weissel J K. 1980. Evidence for Eocene oceanic crust in the Celebes Basin [C]//Hayes D E (ed.). *The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands*. Washington: American Geophysical Union, 185–189.
- Widiyantoro S, van der Hilst R. 1997. Mantle structure beneath Indonesia inferred from high–resolution tomographic imaging[J]. *Geophysical Journal International*, 130(1): 167–182.
- Wintch R P, Yang H J, Li X H, Tung K A. 2011. Geochronologic evidence for a cold arc–continent collision: The Taiwan orogeny[J]. *Lithos*, 125(1/2): 236–248.
- Worrall D M, Kruglgak V, Kunst F, Kuznetsov V. 1996. Tertiary tectonics of the Sea of Okhotsk, Russia: far–field effects of the India–Eurasia collision[J]. *Tectonics*, 15(4): 813–826.
- Xu J Y, Ben–Avraham Z, Kelty T, Yu H S. 2014. Origin of marginal basins of the NW Pacific and their plate tectonic reconstructions[J]. *Earth–Science Reviews*, 130: 154–196.
- Yao B C, Wang L, Wu N Y. 2004. Cenozoic plate tectonic activities in the Great South China Sea[J]. *Geology in China*, 31(2): 113–122 (in Chinese with English abstract).
- Yin A. 2010. Cenozoic tectonic evolution of Asia: A preliminary synthesis[J]. *Tectonophysics*, 488(1/4): 293–325.
- Yu H S, Chou Y W. 2001. Characteristics and development of the flexural fore bulge and basal unconformity of Western Taiwan Foreland Basin[J]. *Tectonophysics*, 333(1/2): 277–291.
- Yu S B, Chen H Y, Kuo L C. 1997. Velocity field of GPS stations in the Taiwan area[J]. *Tectonophysics*, 274(1/3): 41–59.
- Yu S B, Hsu Y J, Bacolcol T B, Yang C C, Tsai Y C, Solidum R. 2013. Present–day crustal deformation along the Philippine Fault in Luzon, Philippines[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 65: 64–74.

附中文参考文献

- 郭令智,施央申,马瑞士. 1983.西太平洋中新代活动大陆边缘和岛弧构造的形成和演化[J].*地质学报*,57 (1):11–21.
- 郝天瑛, Neprochnov Y, 江为为, 宋海斌, 刘建华, 刘伊克. 2001. 鄂霍茨克海的地球物理场与地质构造[J]. *地球物理学进展*, 16(1): 1–10.
- 李三忠, 索艳慧, 刘鑫, 戴黎明, 余珊, 赵淑娟, 马云, 王霄飞, 程世秀, 薛友辰, 熊莉娟, 安慧婷. 2012. 南海的基本构造特征与成因模型: 问题与进展及论争[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 32(6): 35–53
- 李三忠, 余珊, 赵淑娟, 刘鑫, 龚淑云, 索艳慧, 戴黎明, 马云, 许立青, 曹现志, 王鹏程, 孙文军, 杨朝, 朱俊江. 2013. 东亚大陆边缘的板块重建与构造转换[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 33(3): 65–94
- 李瑞磊, 赵雪平, 杨宝骏. 2004. 日本海域地壳结构基本特征及其地质意义[J]. *地球物理特征*, 19(1): 56–60.
- 栾锡武, 张亮. 2009. 南海构造演化模式: 综合作用下的被动扩张[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 29(6): 59–74.
- 任建业, 李思田. 2000. 西太平洋边缘海盆地的扩张过程和动力学[J]. *地质学前沿*, 7(3): 203–213.
- 汪品先. 2012. 追踪边缘海的生命史: “南海深部计划”的科学目标[J]. *科学通报*, 57(20): 1807–1826
- 姚伯初, 万玲, 吴能友. 2004. 大南海地区新生代板块活动[J]. *中国地质*, 31(2): 113–122.