



亚欧与太平洋陆海地貌全图与板块构造图研制延伸
Extension of the General Geomorphologic Map of
Asia and Surroundings and Plate Morphotectonic Map

板块构造与地貌形迹

——亚欧与太平洋造貌构造响应

Plate Tectonics and Geomorphic Traces

——Eurasian and Pacific Morphotectonic Responses

(下册)

东亚环洋带、海地板块区系、亚欧大陆动力学

East Asia Circum-Oceanic Belt, Seafloor Plate System,
Eurasian Continental Dynamics

陈志明 著



测绘出版社

亚洲与邻区陆海地貌全图与板块造貌构造图研制延伸
Extensional Research of the General Geomorphic Map of
Asia & Sea and Plate Morphotectonic Map in Asia and Surroundings

国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FUND PROJECT

板块构造与地貌形迹

——亚欧与太平洋造貌构造响应

Plate Tectonics and Geomorphic Traces

——Eurasian and Pacific Morphotectonic Responses

(下册)

东亚环洋带、海地板块区系、亚欧大陆动力学

East Asia Circum-Oceanic Belt, Seafloor Plate System,
Eurasian Continental Dynamics

陈志明 著

测绘出版社

· 北京 ·

© 陈志明 2017

所有权利（含信息网络传播权）保留，未经许可，不得以任何方式使用。

图书在版编目（CIP）数据

板块构造与地貌行迹 / 陈志明著. —北京：测绘出版社, 2017.12
ISBN 978-7-5030-4029-0

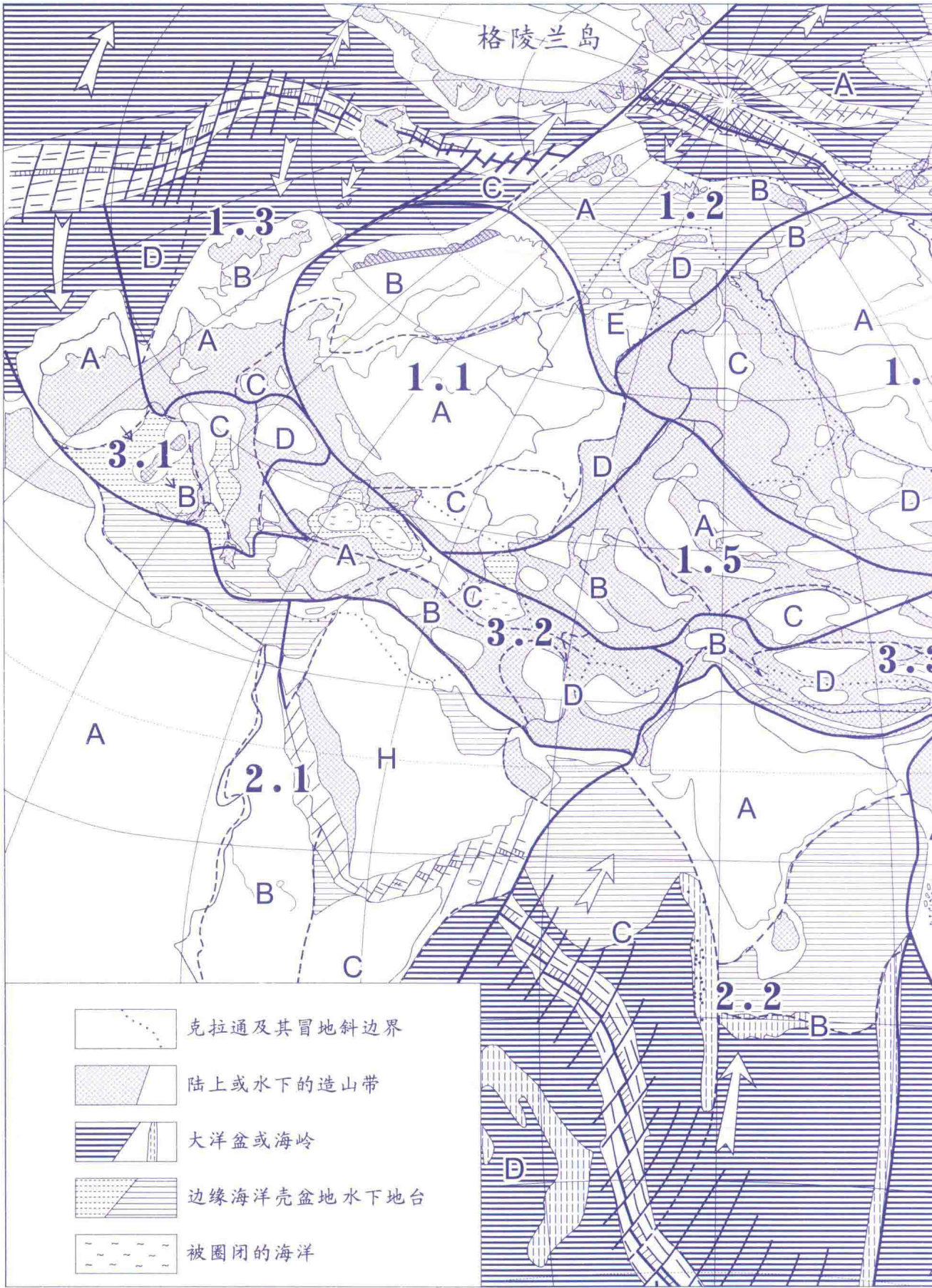
I . ①板… II . ①陈… III . ①大地板块构造—研究 IV . ① P542.4

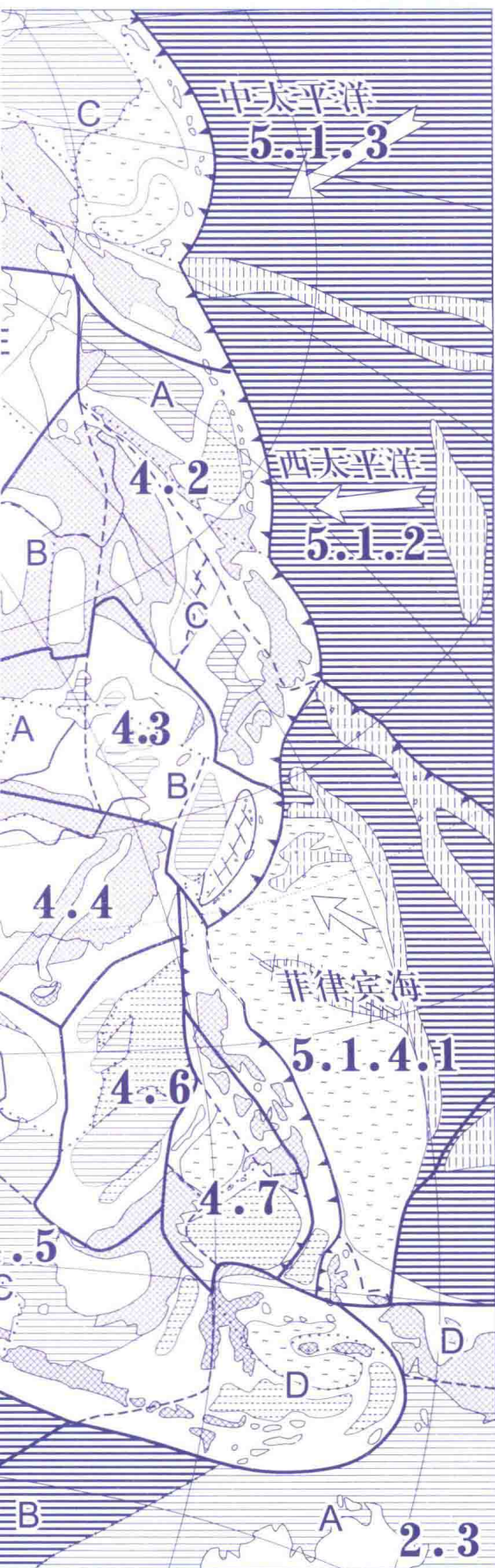
中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 021419 号

责任编辑	余易举	封面设计	李 伟	责任校对	孙立新	责任印制	陈 超
出版发行	测绘出版社			电 话	010—83543956（发行部）		
地 址	北京市西城区三里河路 50 号				010—68531609（门市部）		
邮政编码	100045				010—68531363（编辑部）		
电子邮箱	smp@sinomaps.com			网 址	www.chinasmp.com		
印 刷	北京京华虎彩印刷有限公司			经 销	新华书店		
成品规格	184mm×260mm						
印 张	72 彩插 18 面			字 数	1284 千字		
版 次	2017 年 12 月第 1 版			印 次	2017 年 12 月第 1 次印刷		
印 数	001—800			定 价	346.00 元（上下册）		

书 号 ISBN 978-7-5030-4029-0
审 图 号 GS（2017）3097 号
本书如有印装质量问题，请与我社门市部联系调换。

章节索引总图





第1章 劳亚区系 Laurasia System

1.1 北欧→1.1.1-2 演化与构造 1.1.3 层块结构:

A 东欧 B 西北欧 C 北里海 D 南乌拉尔

1.2 巴伦支→1.2.1 形成演化 1.2.2 层块结构:

A 巴伦支 B 东巴伦支 C 挪威海 D 新地岛
E 伯朝拉

1.3 中-西欧→1.3.1 形成演化 1.3.2 层块结构:

A 中欧 B 英伦三岛 C 波希米亚 D 比斯开湾

1.4 北亚→1.4.1-2 演化与构造 1.4.3 层块结构:

A 西伯利亚 B 泰梅尔 C 西西伯利亚 D 蒙古弧
E 上扬斯克

1.5 中亚→1.5.1-2 演化与构造 1.5.3 层块结构:

A 中亚 B 克孜勒—卡拉库姆 C 塔里木

第2章 冈瓦纳区系 Gondwana System

2.1 泛非洲→2.1.1 形成演化 2.1.2 层块结构:

A 主非洲 B 东非 C 东南非 D 西南印度洋
E 南非 F 西南非 G 西北非 H 阿拉伯

2.2 大印度→2.2.1-4 形成演化、板缘与板内变形

2.2.5 层块分异: A 印度半岛 B 孟加拉湾 C 阿拉伯海

2.3 澳洲→2.3.1-3 构造演化与层块结构:

A 澳大利亚 B 澳西 C 新几内亚
D 澳北所罗门 E 澳东内陆缘
F 澳东北外陆缘 G 澳南东印度洋北部

第3章 特提斯陆间带 Tethys Intercontinental Belt

3.1 陆间西特提斯→3.1.1 总特征 3.1.2 南北板块互动

3.1.3 层块结构: A 伊比利亚 B 西地中海 C 阿尔卑斯
D 潘诺—赛西亚

3.2 陆间中特提斯→3.2.1-2 总特征与层块结构:

A 黑海—土耳其 B 凡城—西北伊朗 C 南里海
D 东伊朗—阿富汗

3.3 陆间东特提斯→3.3.1-3 形成演化与印度对亚洲旋转碰撞形迹

3.3.4 层块结构: A 祁连—柴达木 B 帕米尔
C 松潘—甘孜 D 羌塘—喜马拉雅

第4章 东亚环洋带 East Asia Circum-Oceanic Belt

4.1 北极区→4.1.1 北极陆间海形成演化 4.1.2 层块分异:

A 北冰洋 B 科雷马—奥莫隆 C 堪察加—白令海

4.2 东北亚→4.2.1-2 形成演化与层块结构:

A 鄂霍次克 B 黑龙江 C 远东—日本

4.3 华北→4.3.1 形成演化 4.3.2 层块结构:

A 华北 B 黄东海—朝鲜半岛

4.4 华南→4.4.1 构造基础与形成演化

4.4.2 小扬子古板块 4.4.3 现代华南亚板块

4.5 东南亚—班达海→4.5.1-2 形成演化与层块结构:

A 西缅甸—安达曼 B 印支半岛 C 巽他陆架 D 班达海

4.6 南海

4.7 两苏海

海域名称

5.1.2 西太平洋 5.1.3 中太平洋 5.1.4.1 菲律宾海

献给现代板块构造学说及其地学应用研究的志趣者

*Dedicated to Enthusiasts of
Modern Plate Tectonics Theory and Its Geoscience Application Research*

- 科学是人类追求真理的事业。
- 在知识化、信息化、全球化的当代社会，卓越的科学是推动人类思维方式和生活方式变革的思想源头，是促进社会繁荣昌盛、引领经济可持续发展的重要力量。
- 树立卓越科学的价值理念，就是要牢记科学的使命，坚持不懈探究真理的信念；就是要明确科学的责任，提高造福人类、服务社会的意识。
- 科学有永无止境的前沿，更是永不枯竭的资源。

——摘自 2014 年 5 月 26 日中国科学院学部主席团《追求卓越科学》宣言

下册引言

本书是中-俄合作“亚洲与邻区陆海地貌全图和板块造貌构造图”(后简称“两图”)延伸研究的系列成果。全书上册包括劳亚区系(第1章)、冈瓦纳区系(第2章)和特提斯陆间带(第3章),它们已介绍了亚欧主大陆17个一级亚板块区的形成演化历史及其板块旋转碰撞的造貌构造形迹,并对包括二级和部分活动带的三级亚板块的形成分异和现代地貌变形做了首次重建。但是作为亚洲环洋带的东北亚、东亚与东南亚还没有涉及,而此地带又是古今海陆板块相互作用的产物,并涉及活动陆缘外侧大洋扩张脊及其近陆海底板块的活动。按照“海底扩张驱动两侧板块运动并引发大陆碰撞”的基本观点,全球各大陆及其最外缘洋脊带内的海域都是研究全球构造的独立构造单元,因此下册在集中研讨大东亚海陆过渡带与太平洋海底板块构造的基础上,最后还将从新全球构造观来研讨整个亚欧大陆及其邻海的板块造貌构造总特征及其成因规律问题。这样在下册的第4章,同样采用大陆1998年以来的古地磁研究成果,对大东亚环洋带的东北亚、鄂霍次克、黑龙江(阿莫尔)、远东—日本,华北的阿拉善、鄂尔多斯、华北主地台和阴山—燕山,华南的上扬子、下扬子,以及东南亚的印支—巽他、班达海、南海、苏禄海和苏拉威西海等14个一级亚板块的形成历史及其板块旋转碰撞的造貌构造形迹,包括二、三级亚板块的形成分异和现代地貌变形做了同样的重建。而在第5章具体介绍海底地貌特征之后,则用1992年新发表的包括整个近代太平洋历史的西太平洋海底磁条带成果,对太平洋中-新生代的板块分异及其造貌构造形迹,包括最后对古老太平洋的构造演化问题进行了初步演绎。第6章在总结亚欧陆海构造特性及其全球意义的基础上,将对亚洲高压变形带及其变形模式、陆间带大陆碰撞、陆缘海沟向陆抽引和大陆向洋拆滑,以及西太平洋边缘海等成因机制进行研讨。此外,还对东南亚“多岛海”的构造演化和冈瓦纳古陆解体史进行了动力学解读。已出版的《亚洲与邻区陆海地貌全图》(1:800万)和《亚洲与邻区板块造貌构造图》(1:1400万)可作为延伸研究基础参考。最后为读者查阅方便,全书还附有二百多幅插图和许多被图形化的古地磁图表索引。

下册涉及的主要内容和理论基础的基本要点简介如下。

一、关于亚欧陆海构造特性及其全球意义

亚洲是全球最大的洲，而欧洲被认为是亚洲伸入大西洋的一个巨大半岛。整个亚欧大陆约占全球陆地面积的 42%，包括邻区洋脊以内的海域，占整个地球总面积的 50% 左右。它北从极地，南到赤道，东西横跨大半个地球，囊括了全球几乎所有的造貌构造类别。其中，特提斯纬向构造带，西从北地中海的比利牛斯、阿尔卑斯，经安纳托利亚与伊朗—阿富汗到青藏高原，东到全球最高的大青藏高原，包括喜马拉雅与印缅山系，这是全球独一无二的中—新生代陆间碰撞造山带。而其南北分别是劳亚与冈瓦纳两大古陆区：北方的劳亚地区是早古生代以来由其几个裂块的不断碰撞、拼贴，并由几层造山带包围的亚欧大陆腹地；而南方冈瓦纳地区，如阿拉伯、大印度、泛扬子和印支半岛的几个古台块，主要是从中—新生代与上述亚欧主大陆拼贴的近代板块区。而大东亚环洋构造带：内带是从古大洋漂移而来的十多个中、小台块或地体，大致在晚古生代—新生代拼合和造山成盆的海陆过渡带；外带即现代太平洋海底扩张在新老活动边缘的海陆互动之下，形成的全球规模最大、类型最全的沟弧盆系。因此现代亚欧大陆是全球最年轻的超级复合大陆。亚欧大陆对于全球构造研究的重大意义，不仅在于它的面积最大，而主要是它具体独特的造貌构造特性。即由数十个大、中台块围绕若干中心，从晚古生代开始，经不断拼贴，最后到中—新生代才会聚完成的大陆。而纵观世界其他各大洲，它们都是在前寒武纪就基本连成统一的克拉通主体，而在两侧或一侧才有后期增生的环洋山系。唯独我们的大陆是陆内在主要台块之间长期被古海洋分隔，直至始新世才最后退出。因此，亚欧大陆不仅是全球最大、最年轻的超级大陆，而且陆内还具备“克拉通与造山带并置镶嵌”和“新老缝合带纵横交错”的基本特性。此外，亚欧大陆南、北、西三面分别是印度洋、北冰洋与大西洋的被动边缘。它们都有正向、近正向的海底扩张作用，其应力可传递到大陆的内部，甚至横越大半个大陆与另一被动边缘的应力对峙。包括东面太平洋的海底扩张力也可能通过活动边缘传到东亚内带，这样，四周海底扩张力传入陆内，导致大陆纵横交错的新老缝合带沿其脆性地壳未黏合的断裂带复活，为大陆板内亚板块的形成提供条件。这涉及上册已论及的现代板块学说的“岩石圈可分层性”和“板块旋转碰撞会聚”的新概念，如印度板块对亚洲的旋转碰撞，在缝合带附近真正黏合的仅是高温、高压的板内塑性上地幔，而其上层的脆性地壳，特别是低温、低压的中—上地壳一般是无法黏合的。因此在外部应力的冲击下，古缝合带未黏合的残留断裂很容

易再度活动，这就从岩石圈的分层活动性解析了许多著名学者都确认的“缝合带容易多次复活”的基本原因。需要指出的是，复合大陆的这些特性导致整个亚欧大陆和亚欧板块都无统一运动可言（目前国内外不少学者都把亚欧板块视为不变形的统一运动板块，这是对亚欧大陆及其四周都有近正向海底扩张应力传入陆内的性质缺乏了解，以致在判断上产生失误）。而世界其他各大洲，由于是早在前寒武纪就形成以巨大克拉通为核心的统一大陆，因此陆内的古老缝合带，经历显生宙陆内地壳的多次稳定阶段，前寒武纪缝合带在地壳的层次都基本被剥蚀殆尽。特别是这些大陆周边仅有1~2个边缘存在正向、近正向的海底扩张。例如，南极洲与大洋洲仅有对应于澳大利亚陆缘为正向扩张，非洲也仅有南大西洋是正向扩张，其他被动边缘的大洋脊都是斜向、大斜向的扩张。后者只能驱动所在板块沿正向扩张的方向发生整体迁移，并兼有或左或右的旋转。这些大陆仅在一侧（如南美与南极）或两侧（如北美）出现后期增生的造山带，而陆内克拉通主体则是总体不变形的。这是导致早期板块学说把“板块刚性特征”绝对化作为基本概念的主要原因。面对上述亚欧大陆的基本特性，如果当时能够把“板块刚性概念”修正为“板块与亚板块的刚性概念”，就可以适应全球的所有大陆了。认识亚欧大陆的这些特性，不仅对亚欧本身的地学研究具有重大意义，而且对世界其他陆缘造山带及其陆内前寒武纪古构造研究也有重要价值。“两图”的多年研制已充分证明，现代板块学说发展的这些新理念对于解析亚欧大陆的复杂现象具有巨大的发展前景，必将大大丰富现代的板块学说，促进国际地学的有关应用研究。根据我们的认识与多年“立足亚欧与对比全球”的实践，现代板块学说的发展主要涉及两大新理念，即上册引言简介的，并在其所属的三章各板块区的形成演化证实的“岩石圈可分层性”和“板块旋转碰撞会聚”新概念。现代各大陆古地理研究已显示，亚欧复合大陆的中-新生代拼贴历史是世界所有克拉通大陆的前寒武纪地貌构造演化史的现存样板。如非洲、北美与澳大利亚等主大陆在前寒武纪都有类似于亚欧大陆的形成过程，即存在由若干最古老台块（陆核）的碰撞、拼贴过程。因此，对亚欧大陆中-新生代构造历史及其演化过程和形成机制的了解，不仅可丰富全球构造演化和现代板块构造学说的理论，而且对世界其他大陆的古构造研究和寻找有关矿床也有重要的参考价值。我们认同这样的认识，即任何全球构造与地学理论，如果不能解析亚欧复合大陆的构造事实，那么这种理论都不可能是完备的。除了上册已论及亚欧主大陆的岩石圈可分层性及其板块旋转碰撞历史之外，下面将进一步解析环洋带与海地板块有关理念的新发展。

二、关于太平洋海底与东亚岩石圈板块的可分层性

《海底板块构造》一书著者上田诚也等(1982)认为,海洋板块的分层作用比大陆明显。海洋地壳据地震波分三层:第一层为未固结沉积层;第二层除固结沉积岩外,主要还有玄武岩类,故称基底层;第三层主要为辉长岩与少量镁铁质岩石,由于后者是洋壳主体的重要层次,故称大洋层。近代研究进一步证实,洋壳除第一层(厚 $0.66\text{km} \pm 0.90\text{km}$ 沉积物)和第二层(厚 $1.49\text{km} \pm 0.98\text{km}$)的上层(枕状熔岩及其破碎物)、下层(玄武岩及其变质岩与粗玄岩)之外,第三层(厚 $4.62\text{km} \pm 1.3\text{km}$)的上层(3A)为变质辉长岩与蛇纹岩,下层(3B)为辉长岩与蛇纹岩化橄榄岩。其中,蛇纹岩比玄武岩和辉长岩更轻,因而易于流动,而橄榄岩一旦蛇纹岩化就沿着断裂带向地表上升。这种易流动性及其含蛇纹岩的上、下层一旦蛇纹岩化都可形成低速层,为海洋岩石圈形成板内亚板块运动提供滑动面。上田诚也更早的研究(1979)认为,在西太平洋老洋壳的条件下,海洋板块的平均密度(g/cm^3)比其下软流层的密度高0.1,同时板内上地幔(3.34)也明显地高出洋壳(3.0)的平均密度。这样,海洋岩石圈很容易在软流层上从洋脊附近的高处向两侧低洼的老海盆产生重力滑移。同时,其中高比重的上地幔在莫霍面之下又可能超前于低比重的洋壳而产生板内差异滑动。特别是整个海底板块及其下地壳(层3)与上地幔都随年龄的老化而加厚,因此,无须洋脊扩张的推力,只要在扩张脊的垂直方向上,其磁条带新老年代差有较大的梯度,这就可以依靠自身的重力“从新到老”或“从薄到厚”地产生层内滑移,并出现板块超前于软流层和板内下层超前于上层的层滑运动(详见下节进一步说明)。此外,太平洋与东印度洋的扩张海岭水深一般仅有1~2km,而它们两侧的老海盆水深分别达4~5km和5~6km,这便可利用大洋岩石圈洋壳的构造分层沿其斜坡出现重力滑动。据黑乐斯(1969)计算认为,假设洋底是水平的,软流圈表面从洋脊向两侧缓倾斜,其坡度只要达到1/3000就可产生40mm/a的滑动速率(车自成等,2002)。

三、关于海洋板块在陆缘俯冲的重力下拉作用

早从Elsasser(1967)以来,Forsyth等(1975)和Chapple等(1977)的许多学者已确认太平洋海沟存在重力下沉的明显拉力。Elsasser(1971)的计算得出重力拖曳远远大于板块底部的黏滞阻力。其后上田诚也等(1982)计算也得出近似结果,即三种力的相对重要程度为:下沉板片拉力0.745,洋

脊扩张推力 0.705, 地幔拖曳力为 0.061。如上所说, 据我们初步分析, 海底板块及其板内与板缘的重力滑动涉及三类: ①新-老海地板块之间沿壳下低速层的重力滑动; ②高大扩张海岭向外倾斜地形的重力滑动; ③深海沟外侧的倾斜地形沿洋壳之下低速层的重力滑动(对此, 本书 5.2.6.3 小节的海底重力板片有详细说明)。其中, 前两类重力作用主要适用于中部与东南部太平洋和东北印度洋, 那里洋脊与海沟之间距离不远, 洋脊扩张力可以顺利地到达海沟, 而后一类主要适用于西太平洋, 这里沿海沟的重力俯冲使其陆缘地震出现明显的差异。例如, 一些学者(Sagawa 和 Tomoda)早在 1976 年就研究认为, 海地板块俯冲其岩石圈可随着潜入深度的增加而使厚度逐渐减薄, 到 200km 左右可变成原厚度的一半, 亦即, 中-上地壳与岛弧因碰撞而终止俯冲, 而后半塑性的下地壳和最后板内塑性的上地幔仍然可因重力而坠入软流圈深处。我们的对比证实, 西太平洋甚至整个太平洋板内的壳-幔之间也存在不等速的水平运动, 如太平洋各种现代运动模型与西太平洋岛屿 GPS 测试的运动对比(Li, 2001), 前者的速率都普遍比后者快得多。这是因为西北太平洋岩石圈在俯冲时, 除洋壳的古老年龄外, 还承载着大小海山而形成最厚层的洋壳, 这样向下俯冲在通过岛弧的脆性中-上地壳时, 因严重受阻导致洋壳俯冲滞后于壳下的上地幔。而塑性的板内上地幔对岛屿的下地壳和/或上地幔, 甚至对软流圈内俯冲时, 它们的塑性、黏弹性和流变性使它们阻力从上而下逐步减少, 导致各自俯冲速率随着深度的增加而加快, 从而为超前于其上洋壳的俯冲提供可能性, 包括印度板块对亚洲碰撞后, 在壳-幔之间也存在明显的水平运动速率差(陈志明等, 2011)。俄罗斯太平洋研究所的研究认为, 年龄较老的西太平洋在 30 ~ 40km 深存在一层厚 5km 左右的广泛低速层(Puscharovsky et al, 1995)。本书认为, 这与长期洋壳滞后超前俯冲的板内上地幔有关。沿海沟的差异俯冲还发生在较年轻的东太平洋。例如, 有研究显示, 在 3000km 长的智利海沟, 由于海沟外侧地形坡度的差异至少有 7 个宽 200 ~ 300km 的差异俯冲分段, 每一地段又与大地震的余震区对应, 形成不同的应力场的独立地段(Carr et al, 1974)。可以想象, 对于年龄最古老的西太平洋来说, 沿漫长海沟发生差异俯冲的可能性必然更大, 这应该是西太平洋沟弧系出现地震频率与裂度巨大差异的主要原因。总之, 大量的事实已证明, 各种海底岩石圈板块绝不是“铁板一块”的无差异运动, 而是既有深层的统一总体方向性, 又有浅层可分的“层块”差异运动。

大东亚岩石圈的分层性及其层块活动问题, 中国学者的大量研究表明, 中国东部和东亚环洋带的板内分层性都很明显。例如, 中国东部中-新生

代的伸展构造(马杏垣等, 1983)、岩石圈内多层次滑脱构造(马杏垣等, 1984), 以及层控构造(李扬监等, 1996)、层块构造(孙岩等, 1997; 刘海龄等, 2002)、“三文治”构造(万天丰, 1993)、多层构造(张国伟等, 1995; 李建国等, 1997)等, 都是岩石圈浅层产生的层块差异运动, 而其深部又受板内上地幔分层差异运动的控制。特别是近年在中-俄合作研究的“两图”研制时, 据海陆板块分层运动的相互作用及其已有地质研究和地貌变形关系的分析, 参考部分测地学数据, 已对东亚岩石圈分出2~3个层次的层块运动, 并以具体事实对北亚、东北亚、黑龙江、华北与华南, 以及印支—巽他等亚板块区的分层构造进行了制图和简要说明(陈志明等, 2011)。

四、关于海底板块对大陆俯冲是否旋转的问题

“上册”第1章和第3章已介绍, 劳亚与冈瓦纳区系中的各个板块的大陆碰撞过程都是旋转的, 上册引言也荐引了印度板块对亚洲从晚三叠纪以来三大旋回“先左后右”的6次旋转碰撞的造貌构造事实。但是海底板块对大陆俯冲是否也有旋转会聚的问题? 对此, 我们的新分析认为, 除大陆的旋转碰撞之外, 海底板块对大陆的俯冲会聚也离不开旋转。例如, 现代北冰洋与大西洋的开裂都不是对称的。前者“西宽东窄”地出现近似三角形的扭裂扩张, 后者南、北大西洋基本上也是“南宽北窄”的不等速扩张。从海陆板块的会聚看, 海底板块对大陆的俯冲也往往不是直线式的。如上田诚也等(1982)称, 从西太平洋海底磁条带(Larson et al, 1992)的排列就可观察到50Ma至大约10Ma之间有运动方向的一次大变动。此外, 东北太平洋原来的法拉隆板块已俯冲并消失在北美大陆西岸, 据这一海区的详细磁条带判定, 法拉隆板块的相对运动方向在新生代曾发生多次变化。特别是Heezen等(1973)通过深海沉积系列, 从上部燧石/白垩层(chert/chalky)及其下层深海黏土交界的年龄, 获得了采样海底通过赤道时的年代, 并证明125Ma以来古赤道位于现代北半球的中纬约43°, 并发生了明显的右旋运动。另有学者进一步确定, 太平洋板块100Ma以来对应于自转轴北移了约35°(纬度)。包括Lancelot等(1975)考虑到海底的构造侵蚀与不整合、水准面的变化等因素, 修订了125Ma(K_1^4)以来太平洋共右旋了约75°, 并计算出随时间变化的旋转规律(参见5.2.2.3小节)。这一北移和右旋的基本结论得到俄罗斯Пушаровский(1995)等一些学者的证实。此外, 据详细海底年代图及其磁年代宽度与扩张速度成正比的关系判定, 从白垩纪到古近纪, 太平洋的海底扩张是北太平洋快于南太平洋的。北太平洋的磁条带虽被许多横向断裂所错断, 但磁条带北美西岸的中-

北部海域是 SN 向排列的, 而亚洲东部和澳洲北部的西南海域是 NNW 向排列的, 因此, 在原来北太平洋扩张脊还存在时, 北部和西南部太平洋板块的海域都是总体朝 SW-SWW 运动的。但是最晚从 10Ma 开始, 太平洋北段洋脊都基本消减在北美大陆的西岸, 使现代中-北部太平洋都基本上转化为惰性板块区。值得注意的是, 此惰性板块区的现代岩石圈运动主要受现代(东南)太平洋脊朝 NW 的扩张力, 这是学术界广泛共识的。但是本海区可能还有部分动力源未被学术界所共识, 即在洋壳层次上可能还受现代北美板块左旋朝 W-SWW 推挤的小部分力所驱动。如果是这样, 现代中-北部太平洋板块区可能在壳-幔之间就存在差异运动, 即在岩石圈层次上总体朝 NW 运动(因为现代太平洋扩张脊都分布在东南部而呈 NW-SE 排列), 但在洋壳层次上可能存在小部分朝 W-SWW 运动的分力。因此据 Isacks 等(1968)研究, 在现代太平洋大地震滑动向量的箭头显示, 除大多数朝 NW 运动之外, 小部分朝 SWW、W 与 NWW 方向的分散运动(详见图 5.36)。这显示太平洋中北部与南部(澳洲板块移动到洋脊海域)之间运动方向曾长期不一致, 两海区沿横向断层走向朝西的延伸, 到西太平洋必然发生交会。同时西南太平洋可能存在不同洋壳区之间和/或壳-幔之间的水平差异运动。例如, 太平洋板块与南极板块之间洋脊的扩张速率存在壳-幔之间的水平差异运动。又如, 在印度半岛与澳大利亚之间的东北古印度洋和近代中印度洋形成扩张中心时, 印度与亚洲都发生左旋斜碰撞; 而西北印度洋成为扩张中心时, 印度与亚洲发生右旋斜碰撞。即使进入全碰撞期, 这种左右旋转也无法避免。这都是海底板块运动方向变化(通过被动边缘)带动大陆产生旋转的生动实例。

五、关于海底板块对于大陆构造的重要性

众所周知, 地球表面约四分之三为海洋所占据。一些地学先驱者早就意识到, 地球科学仅仅研究陆地并不全面, 因此从第二次世界大战之后对海洋底部展开了大规模的调查研究。这不仅引发大陆漂移与板块构造学说的建立, 而且其活动论迎来了 20 世纪中-后期的地学革命。关于海底板块在全球构造的重要性, 著名学者上田诚也等(1982)在《海底板块构造》中这样认为: “所谓海洋板块并非完全由洋壳的海底构成, 实际上它是包括部分陆壳的海底板块; 反之, 一些以大陆为主体的板块(如泛非洲与亚欧板块)也有相当面积由洋壳的海底组成。这些大陆被动边缘的海底并不产生独立运动, 它与板内的大陆部分都是共同运动的。研究已证实, 海洋与陆地之下的玄武岩质地层具有相似的地震波速, 如大洋层的地震波速大体为 $6.5 \sim 6.8\text{km/s}$, 与大陆

下地壳(玄武岩质层)的波速极为相似,因此,在被动边缘海陆过渡带的断裂面看来都是连续的。海陆板内上地幔的总厚度都分别比其地壳的厚度大出好几倍,同时板内上地幔厚顶层的内部常夹有低速层,这为海陆板内超壳亚板块的形成提供了巨大的几何空间及动力学基础。此外,海洋岩石圈板块的运动涉及全球板块的构造运动,甚至全球大陆板块的主要驱动力都来自海洋板块。因此,研究海地板块构造不仅可为判断全球板块运动提供重要信息源,而且大陆板块运动的驱动力大部分都来自海洋板块,所谓的大陆漂移也直接受海洋板块的推移。”了解泛太平洋的古今板块分异及其运动学对全球板块构造及其地球动力学具有重大意义。实际上,北美西部边缘面对一个扩张的大洋已有6亿年的历史(此时,东亚也必然有与之相连的古大洋)。通过古地磁研究现已清楚,在14亿年以前,亚欧板块与北美板块二者的运动速率均达到 $6 \sim 10\text{cm/a}$ (Howell, 1991)。对此可能的解析是,两侧大陆板块那时被其间巨大的海洋板块拖曳,即泛古大洋板块俯冲以较快的速度拖曳着大陆运动。然而约在10Ma以来,库拉和法拉隆等板块已在它们的大陆边缘消减殆尽。此外,在古生代期间,大西洋曾反复拉开与闭合过几次(详见第1章中劳亚古陆开合史介绍),这些开合历史解析了欧美大陆多期变质作用和构造活动。在晚古生代时期,非洲、南美洲、欧洲与北美洲在其联合古陆形成的过程中,大洋壳整个俯冲,这些大陆之间的大洋环境也随着消失。此外,在亚欧大陆内部,从晚古生代后期至始新世存在的特提斯洋的扩张力及其整个洋盆的收缩和南移,对亚欧大陆的形成演化自然也有重要意义,因此树立“海底扩张驱动两侧板块运动并引发大陆碰撞”的基本观点,利用大陆古地磁,包括中-新生代海底地磁学记录,来研究近代亚欧大陆形成演化和全球构造历史必有重大意义。这也是“两图”延伸研究追求的目标,全书上、下册就是它们分析研究的结果。由于下册3章都涉及太平洋近代海地板块分异及其运动方向变化,并考虑它们对东亚环洋构造形成演化的重要意义,因此有必要先在引言中简介有关主要问题和我们解决这些问题的主要方法,以便读者在阅读之前,通过典型实例来了解下册的主要内容、立论依据和主要进展。有关实例简介如下。

六、海地板块运动方向变化及其东亚环洋带造貌构造显示

目前对太平洋白垩纪以来海地板块运动方向的变化,有一种流传很广的认识,即据热点轨迹确定的,在 $65 \sim 40\text{Ma}$ 或 43Ma 太平洋向NNW运动,到 40Ma 或 43Ma 之后则转变为NWW运动(Morgan, 1972; 上田诚也等,

1982)。但是现代不少学者对此已提出质疑,如有学者研究首先指出,如果 40Ma 或 43Ma 太平洋板块确实发生巨大的方向变化,这必然传递到周围的俯冲带,并引发大陆边缘明显的构造事件。但是迄今为止,北美大陆西岸和亚洲大陆东岸,或整个北太平洋的周边没有找到证实 40Ma 或 43Ma 事件的良好证据。包括现在太平洋的洋壳中,没有此时海底扩张方向变化的良好记录。实际上,最接近的方向变化发生在磁异常 24 和 22 条带间(54 ~ 49Ma)。因此,用夏威夷—天皇作为 40Ma 或 43Ma 前以热点为基础的板块运动制约来重建全球板块运动几乎是一种错误(Norton, 1996)。显然,这不仅是对泛太平洋整个中央海岭的火山热点成因说的一种否定,而且也是对太平洋板块统一运动的简单化模式的一种质疑。一些学者研究还指出,这一转变并非在 43Ma 突然发生,而是在 40 ~ 26Ma 有一个过渡阶段,即最晚在 26Ma 后才转变为 NWW 运动(Morgan, 1972; Burke et al, 1976; Duncon, 1981)。另有研究认为,大转变发生在 37 ~ 36.5Ma 前后,此时的转旋极在 N70° 和 W101°(McDougall et al, 1980)。俄罗斯学者据海底钻探研究了夏威夷等火山链的岩石学及其年代后指出,该火山链西北端的年代为 20Ma,而不是一般所认为的 40Ma 或 43Ma(Пушаровский, 1995),甚至 Menard 等(1970)详细研究后认为,在夏威夷群岛—莱因群岛以东、加利福尼亚湾与墨西哥海岸以西和南北在门多西诺(Mendocino)与克利珀顿(Clipperton)断裂之间的海盆,从 32 磁条带(74Ma)以来,其迁移方向的变化多达 8 次(方向变化为 3° ~ 102°,一般变化 5° 左右)。这些研究至少说明,太平洋板块新生代运动方向的变化绝非一般所认为的那么简单,而是从在 74Ma (K_2^5) 以来,从白令海南侧大磁湾结束向南扩张的前后,太平洋即经历一个复杂多变的极不稳定时期。

值得注意的是, Larson 等(1992)已发表包括整个太平洋近代史的西太平洋近 2 亿年的最新海底磁条带图(详见本书图 5.26)。从目前的研究结果看,这一磁条带图为我们解读太平洋海底板块分异及其方向变化,并用其结果验证东亚环洋大陆的造貌构造演化提供了最佳的条件。至于海底磁条带排列与板块运动方向的关系,板块学说奠基者, J.T. 威尔逊等早在 1972 年就指出,张脊轴及其平行的磁条带几乎都是垂直于破裂带,同时海洋板块的运动必定平行于它的破裂带。当海洋板块运动方向变化时,破裂带的走向必发生变化,因此板块运动方向可据垂直于破裂带的地磁图形及其破裂带走向来确定。上田诚也等(1982)还指出,平行于板块的运动方向的海底破裂带可能构成板块边缘,因此可据破裂带的方向变化来推断板块运动方向的变化。根据这些

原理,本书用 Larson 等研究的西太平洋最新海底磁年代已演绎出 190Ma 以来海地板块有 6 次运动方向的重大变化,在解析变化驱动力的基础上,这些变化都得到东亚环洋带造貌构造带演化的证实。

首先古地理资料显示,东亚环洋带在 250 ~ 190Ma ($T_1^3-J_1^3$),由于古太平洋总体朝 NWW,对整个东亚近正向俯冲。而亚欧陆内特提斯洋脊是近 NNE-SSW 向扩张,后者通过晚三叠纪北部的被动陆缘,使三江滇-缅-马海槽出现挤压成为印支褶皱带,印支中间地块合并于亚洲大陆(李春昱, 1981);再向北,扬子与华北两地块在三叠纪期间分别北移了 21° (白立新等; 1998; 杨振宇, 1998)。于是,扬子与华北快速北移,最后与南移的北亚板块对接,从此东亚形成统一的大陆边缘。有意思的是,根据古海地板块相对于大陆的地理区位,对每一次变化在对应大陆边缘进行“一对一”跟踪,其结果与许多有代表性的区域研究(甚至地质图)都相当吻合。具体来说,除上述东亚统一陆缘的第一阶段之外,西太平洋还有下面六次板块分异及其运动方向的重要变化:

① 库拉板块在 190 ~ 122Ma ($J_1^3-K_1^5$) 对东北亚,而 190 ~ 169Ma ($J_1^3-J_2^2$) 对东亚先后朝 NW-NNW 运动。

② 古西海板块在 169 ~ 122Ma ($J_2^2-K_1^5$) 朝 SSE 运动,使日本以南的东亚陆缘发生离散运动。

③ 伊佐板块在 140 ~ 110Ma (K_1^{1-6}) 在西南太平洋出现 NNW 排列的 4 个长形板片,它们 120Ma 为界做朝 NW 与 NNW 的差异运动,分别对朝鲜以南的东亚陆缘发生近正向与左斜向的俯冲。

④ 西北太平洋板块第一惰性期,在 122 ~ 58Ma ($K_1^5-E_1^3$) 朝 NNW 运动,东亚环洋带继续发生左剪切。

⑤ 西北太平洋板块第二惰性期,在 58 ~ 10Ma ($E_1^3-N_1^5$) 先朝 SW 而后转向 SWW 运动,堪察加以南的东亚陆缘出现右扭裂,引发一系列边缘海形成。

⑥ 现代太平洋板块,在 10Ma (N_1^5-Qh) 以来太平洋整体总体朝 NW-NNW,对东北亚形成近正向俯冲而对东亚斜向俯冲。

在引言仅列举下面六大阶段的运动方向变化和它们在东亚陆缘引发的和最有代表性的造貌构造事件(详见书内说明):

① 库拉板块朝 NNW,环洋一期左剪切(190 ~ 122Ma, $J_1^3-K_1^5$): 海洋板块朝 NNW,对 NE 和 NNE 排列的东亚陆缘则形成左剪切,因而此时东亚的左剪切断裂系几乎控制着整个环洋山-盆构造及其火山喷发与岩浆活动。如研究最多的徐嘉炜等学者(1994)认为,郯-庐断裂带的左剪切主

要发生在晚侏罗纪末期至早白垩纪。它错开大别—苏鲁大陆碰撞造山带,但没有任何印支运动的痕迹。另有研究显示,朝鲜湖南(Honam)剪切带在印支期曾为右剪切,但此时也转化为左平移。苏北下扬子地块也因此而向北突出。这些大变动主要都是东亚环洋带这次左剪切活动所为。此外,左行扭裂带遍及东亚,北起堪察加、千岛,南到越南北部湾的西太平洋陆缘构造带。如华南沿海在浙东南、福建、赣东南在侏罗纪形成一系列红色盆地。在辽东沿NE-NE断裂侵入的中-酸性与酸性的早燕山期花岗岩的同位素断代为 $176 \sim 139\text{Ma}$ ($J_1^4-K_1^2$),晚燕山期花岗岩同位素断代为 $90 \sim 80\text{Ma}$ ($K_2^3-K_2^5$)。吉林东部,沿舒兰—依通断裂则出现基性至超基性岩体,这被认为是早燕山期深成岩活动的代表,晚燕山期在哈纳尔山和老爷岭构成两条NNE向排列的花岗岩群。再向北在兴凯地体和毗邻萨马尔卡地体之间的阿尔谢尼耶夫断裂左剪切,以NNE走向延伸480km,从基辅湾到黑龙江上游,切穿滨海区的断裂带宽数千米,分布有糜棱岩和超糜棱岩。两侧派生的轴向 $25^\circ \sim 30^\circ$ 的褶皱和断层指示了左行走滑性质,断裂水平滑距为 $80 \sim 100\text{km}$,控制着河流展布和一些拉分盆地,以及晚白垩纪火山喷发和岩浆侵位。包括东亚外陆缘(岛弧带)也有一系列左扭裂造貌形迹,如东北日本棚仓构造线的左剪切,向北与西堪察加(品仁河谷带)和千岛一线左平移断裂相连,而向南可延伸到台湾、吕宋与巴拉望群岛一带,总长度达6000km以上(Utkin, 1984);在日本伴随的左平移断裂还有飞驒边缘断裂(Mizutani et al, 1983),及其外带的黑濑川断裂带,内外带共宽 $200 \sim 300\text{km}$;而西南日本的中央构造带,据平朝彦(1983)研究,在白垩纪的左平移量约达1000km,但更强的左平移发生在早白垩纪甚至晚侏罗纪,如此等等。

②“古西海”板块朝SSE,环洋一期右扭裂($165 \sim 140\text{Ma}$, $J_2^4-K_1^1$):“右西海”板块指西太平洋最外侧和从北海道至东亚海沟外侧的古海洋。本期它朝SSE运动与前期库拉板块朝NNW完全相反,因而对远东与中国东部的古陆缘及其台块的南移、扭裂、离散必产生明显的作用。据区域地质信息跟踪,它驱动古陆外缘的西锡霍特增生带和兴凯微古陆南移,使其北部发生深度裂陷,并沉积了1.6km巨厚侏罗系的海相复理石沉积,包括使兴凯古陆块的北部断陷形成兴凯湖盆与松辽平原;同时在内带拖曳松辽—东燕山联合地块南移,这不仅使赤峰以东的燕山山地向南错动,而且使其北部台块扭裂形成松辽盆地的初始地堑谷。向南的中国东南沿海,在中—晚侏罗纪发生的大规模大陆火山喷发中,闽浙沿海的代表性地层,即下—中统为砂岩、粉砂岩含黑页岩,上统下部为紫红安山岩、安山流纹岩,厚 $1 \sim 1.5\text{km}$ 。在浙东南,从