

# 东亚原特提斯洋(II): 早古生代微陆块亲缘性与聚合\*

李三忠<sup>1,2</sup> 赵淑娟<sup>1,2</sup> 余珊<sup>1,2</sup> 曹花花<sup>1,2</sup> 李玺瑶<sup>1,2</sup> 刘鑫<sup>1,2</sup> 郭晓玉<sup>3</sup> 肖文交<sup>4</sup> 赖绍聪<sup>5</sup> 闫臻<sup>3</sup> 李宗会<sup>6</sup> 于胜尧<sup>1,2</sup> 张剑<sup>1,2</sup> 兰浩圆<sup>1,2</sup>  
 Li SanZhong<sup>1,2</sup>, ZHAO ShuJuan<sup>1,2</sup>, YU Shan<sup>1,2</sup>, CAO HuaHua<sup>1,2</sup>, LI XiYao<sup>1,2</sup>, LIU Xin<sup>1,2</sup>, GUO XiaoYu<sup>3</sup>, XIAO WenJiao<sup>4</sup>, LAI ShaoCong<sup>5</sup>, YAN Zhen<sup>3</sup>, LI ZongHui<sup>6</sup>, YU ShengYao<sup>1,2</sup>, ZHANG Jian<sup>1,2</sup> and LAN HaoYuan<sup>1,2</sup>

1. 中国海洋大学海洋地球科学学院, 海底科学与探测技术教育部重点实验室, 青岛 266100

2. 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋地质功能实验室, 青岛 266061

3. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037

4. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

5. 西北大学地质学系, 西安 710069

6. 中国地质调查局西安地质调查中心, 西安 710054

1. MOE Key Laboratory of Submarine Geosciences and Prospecting Technique, College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

2. Laboratory for Marine Geology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266061, China

3. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

4. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

5. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China

6. Xi'an Geological Survey Center, China Geological Survey, Xi'an 710054, China

2016-05-22 收稿, 2016-07-17 改回.

Li SZ, Zhao SJ, Yu S, Cao HH, Li XY, Liu X, Guo XY, Xiao WJ, Lai SC, Yan Z, Li ZH, Yu SY, Zhang J and Lan HY. 2016. Proto-Tethys Ocean in East Asia ( II ): Affinity and assembly of Early Paleozoic micro-continental blocks. *Acta Petrologica Sinica*, 32(9) :2628 – 2644

**Abstract** In the Proto-Tethys Ocean there are many microcontinents/continents such as the Tarim, Qilian, Qaidam, Yangtze and Cathaysia, Indochina, Lanping-Simao (Sibumasu) blocks/micro-continental blocks, between most of these blocks developed a series of ophiolite belts or high-pressure and ultrahigh-pressure metamorphic belts at the end of the Early Paleozoic. Obviously, the Proto-Tethyan tectonic domain underwent the complex ocean-continent configuration, break-up and assembly processes from Supercontinent Rodinia's breakup to Supercontinent Pangea's assembly. However, so far their attribute, affinity and collision process among different continents/microcontinents in the Proto-Tethys Ocean remain much controversy. This is critical for restoration and reconstruction of tectonic background of Supercontinent Pangea assembly. Therefore, this paper adopts the comprehensive tectonic comparison method in order to establish affinities and ocean-continent configuration of the Proto-Tethys Ocean and the related continental block/micro-continental blocks, and determine the timing and sequences of assembly among these Proto-Tethyan micro-continental blocks. The results show that, the North China Block had not affinitive relation to the Gondwana, the other continents/micro-continental blocks such as the Yangtze, Cathaysia, Tarim, Qaidam, Alax, North Qinling-Central Qilian-Central Altyn, Oulongbuluke, North Qiangtang, South Qiangtang, Lhasa, Lanping-Simao and Indochina have an affinity to Gondwana in the earlier of Early Paleozoic. During about 450 ~ 400Ma these series of continental blocks/micro-continental blocks experienced gradually southward subduction and accretion to the eastern segment of the northern margin of the Gondwana, resulting in the Proto-Tethys Ocean closure and one supercontinent called Proto-Pangea. The Tarim-North China Block and the Greater-South China Block separated from the Proto-Pangea since 380Ma to result in formation of the Mianlue and the Paleo-Tethys oceanic crusts. Until 240 ~ 220Ma they assembled northward gradually to develop eventually the Laurasia. At this time, it resulted in the formation of the Supercontinent Pangea.

\* 本文受国家自然科学基金重大项目(41190072, 41190070)、国家杰出青年基金项目(41325009)、泰山学者特聘教授项目和鳌山卓越科学家计划联合资助。

第一作者简介: 李三忠, 男, 1968年生, 博士, 教授, 博导, 从事构造地质学及海洋地质学的教学和研究工作, E-mail: sanzhang@ouc.edu.cn

**Key words** Proto-Tethys Ocean; Micro-continent; Early Paleozoic; East Asia; Continental affinity

**摘要** 原特提斯洋内存在塔里木、中祁连、柴达木、扬子、华夏、印支、兰坪-思茅等诸多陆块/微陆块,多数陆块之间在早古生代晚期发育有蛇绿岩带或高压-超高压带。原特提斯域形成于从 Rodinia 裂解到 Pangea 超大陆集结期间,存在复杂的洋-陆格局和聚散过程。原特提斯洋不同陆块/微陆块属性和关系及其拼合过程是恢复重建 Pangea 超大陆聚合前构造背景的关键,但对其认识迄今还存在争论。因此,本文采用综合对比方法,以期建立原特提斯洋陆块/微陆块的亲缘性和海-陆格局,厘定原特提斯微陆块拼合时序与方式。结果表明,早古生代早期除华北陆块不具有亲冈瓦纳大陆的特征外,扬子、华夏、塔里木、柴达木、阿拉善、北秦岭-中祁连-中阿尔金、欧龙布鲁克、北羌塘、南羌塘、拉萨、兰坪-思茅、印支等陆块/微陆块都具有亲冈瓦纳的特征。在 450~400Ma 左右这一系列陆块/微陆块都向南俯冲-增生,并逐步拼合于冈瓦纳大陆北缘东段,原特提斯洋关闭,并形成了原潘吉亚(Proto-Pangea)超大陆;原潘吉亚于 380Ma 以后裂离出塔里木-华北陆块和大华南陆块,分别出现勉略洋和古特提斯洋,直到 240~220Ma 逐步向北聚合,形成最终的劳亚古陆,此时才形成潘吉亚超大陆。

**关键词** 原特提斯;微陆块;早古生代;东亚;亲缘性

**中图法分类号** P542

## 1 引言

已有 Pangea 超大陆的重建方案中,较少关注 Pangea 聚合前东亚主要陆块的早古生代构造背景,多数研究也没有考虑原特提斯洋内多个陆块/微陆块(如柴达木、中祁连、中阿尔金、欧龙布鲁克等)之间及其与塔里木、华北、扬子等陆块之间的早古生代亲缘性和拼合问题。

原特提斯洋内存在大量陆块/微陆块(图 1,如柴达木、中祁连、欧龙布鲁克、羌南、羌北、印支等),其与塔里木、华北、华南等陆块之间的早古生代拼合问题是“Pangea 的东亚重建”所必须面对和解决的关键科学问题之一。国际上一些重要的 Pangea 板块重建方案都没有及时结合中国岩石学、年代学和地球化学等最新资料,去考虑这些陆块/微陆块的全局大地构造背景、区域拼合方式和 Pangea 超大陆聚合的关系,而这个背景正是了解华北、塔里木、柴达木、扬子-华夏(统称华南)、中祁连、中阿尔金、欧龙布鲁克、羌北、印支等陆块/微陆块之间裂解与聚合的重要窗口。揭示这些陆块或微陆块是否具备全球规模碰撞拼合造山事件特征,以及其如何参与并导致全球 Pangea 超大陆的形成,不仅对东亚早古生代主要陆块/微陆块和聚合过程及其洋-陆格局的重构具有特别重要的区域地质意义,而且对理解原特提斯洋(Proto-Tethyan Ocean 或 Proto-Tethys Ocean)的构造演变尤为关键,并且对重建 Pangea 超大陆聚合的完整历史和背景尤为重要。因此,任何有关东亚主要陆块的 Pangea 重建都必须考虑这一时期原特提斯域内原型盆地特征、性质及原特提斯洋内陆块/微陆块的复杂离散与拼合特征、时序、方式与过程。东亚是一个多期造山事件叠加的区域,如何在筛除后期叠加改造影响的基础上,重建早古生代东亚洋-陆格局与盆-山面貌,是“Pangea 的东亚重建”的重要基石。但是迄今,关于原特提斯洋陆块/微陆块亲缘性与海-陆格局、高压-超高压变质构造背景和主要构造事件时限、聚散过程和时空演化均存在巨大争议,对这些问题的准确厘定与理解可以丰富原特提斯洋研究

内容。本文以介绍现今板块重建的思路为主线,侧重总结已有各种论争分析,简要介绍原特提斯洋重建的最新进展,供各位专家深入研究思考。

## 2 原特提斯洋内陆块/微陆块亲缘性与洋-陆格局

对原特提斯海-陆格局的重建与恢复,尤其是对原特提斯洋南、北边界和中部复杂洋-陆变迁的确定,以及其间微陆块早古生代亲缘性的精细界定,对了解 Pangea 超大陆最终聚合前历史至关重要,并成为系统研究“Pangea 的东亚聚合”的核心关键科学问题之一。

本文基于作者 5 年来的工作,集成国内外已有研究资料,重点针对陆块/微陆块亲缘性和拼合过程的薄弱环节,开展了以下三个方面的研究:

① 原特提斯微陆块与华北、扬子和塔里木陆块对比标准的建立

通过前人资料的系统总结,收集陆块内部前早古生代岩浆岩特征事件、基底构造属性、物质来源和构造环境、年龄分布等,总结规律,从基底构成、锆石年龄谱系、地层组合、岩浆作用等特征的综合差异出发,建立华北、扬子和塔里木特征地质事件群的标准。通过该研究为 Pangea 聚合前微陆块与华北、扬子和塔里木三个陆块亲缘性对比,建立对比标准,为原特提斯陆块/微陆块亲缘关系建立、洋-陆格局重构提供参考系。

② 原特提斯域陆块/微陆块物源示踪与亲缘性研究

由于原特提斯域陆块/微陆块较多,选择研究程度较高的华北、华南、塔里木陆块作为对比标准,侧重柴达木、中祁连两个微陆块亲缘性的研究,开展原特提斯内微陆块特征地质事件群与华北、华南和塔里木陆块的标准比对,厘定各微陆块与华北、华南、塔里木陆块间的亲缘性。就其边界构造带和块体内部分别展开研究,以确定其亲缘性及其亲缘性随时间的变化,为厘定原特提斯洋内部洋-陆格局的演变及其

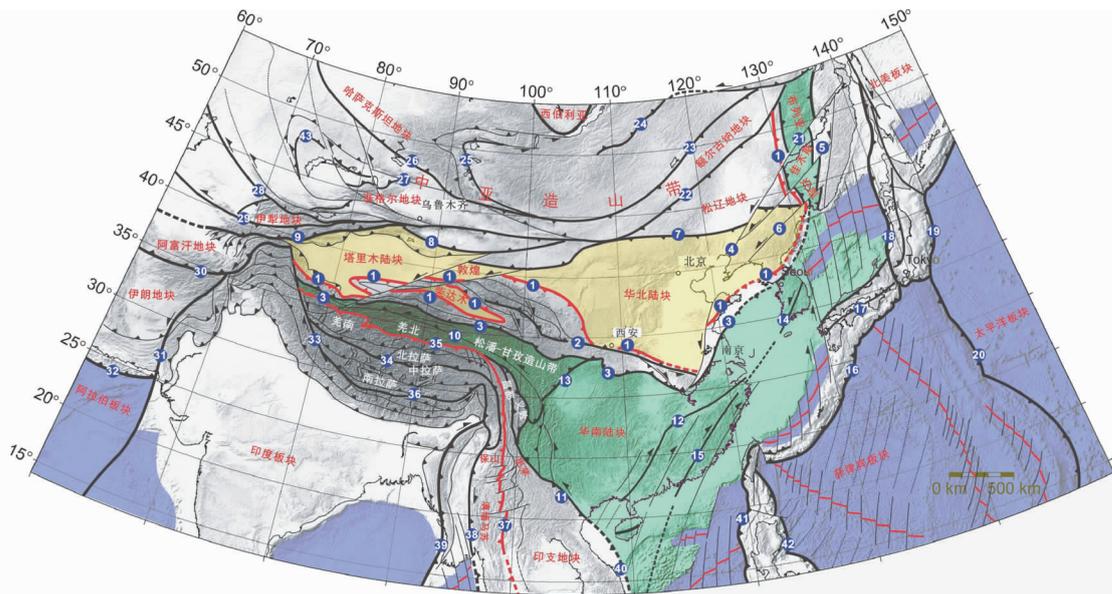


图1 东亚早古生代陆块/微陆块分布

黄色为塔里木-华北陆块(包括阿拉善、敦煌、柴达木),绿色为大华南陆块. 红色断裂为原特提斯洋南界和北界,黑色粗线条代表板块或块体间分划性断裂,黑色细线条代表其他重要断裂. 断裂名称:1-古洛南-栾川断裂及其东西延伸;2-商丹带;3-勉略带及其延伸;4-郯庐断裂;5-敦化-密山断裂;6-鸭绿江断裂;7-索伦断裂;8-博罗科努断裂;9-南天山断裂;10-金沙江断裂;11-哀牢山-红河断裂;12-江绍断裂;13-龙门山断裂;14-韩国湖南断裂;15-吴川-四会断裂;16-琉球俯冲带;17-日本中央断裂;18-千岛岛俯冲带;19-日本俯冲带;20-马里亚纳俯冲带;21-伊兰-伊通断裂;22-贺根山断裂;23-南蒙古-锡林浩特断裂;24-鄂霍茨克缝合带;25-图瓦-蒙古弯山构造;26-额尔齐斯断裂;27-达尔布特断裂;28-北天山断裂;29-那拉提断裂;30-Paropamisus 断裂;31-欧文转换断层及其陆地延伸;32-莫克兰俯冲带;33-喀喇崑仑断裂;34-班公湖-怒江断裂;35-龙木措-双湖断裂;36-雅鲁藏布-澜沧江断裂;37-昌宁-孟连断裂;38-实皆断裂;39-苏门答腊-安达曼-巽他俯冲带;40-越东断裂;41-马尼拉俯冲带;42-菲律宾海沟;43-哈萨克斯坦弯山构造

Fig. 1 Distribution of Early Paleozoic continental/micro-continental blocks in East Asia

The block in yellow is the Tarim-North China Block including the Alax, Dunhuang and Qaidam blocks. The block in green is the Greater South China Block. Faults in red represent south and north border faults of Proto-Tethyan Tectonic Domain. Coarse-line faults in black represent border faults between blocks or terranes. Fine-line faults in black represent other major faults. Fault names: 1-Paleo-Luonan-Luanchuan Fault and its extension to the east and the west; 2-Shangdan Suture; 3-Mianlue Suture; 4-Tanlu Fault; 5-Dunhua-Mishan Fault; 6-Yalijiang Fault; 7-Solonker Suture; 8-Borohoro Fault; 9-Southern Tianshan Suture; 10-Jinshajiang Suture; 11-Ailaoshan-Red River Fault; 12-Jiangshan-Shaoxin Fault; 13-Longmenshan Fault; 14-Honam Fault; 15-Wuchuan-Sihui Fault; 16-Rykyu Subduction Zone; 17-Central Japan Fault; 18-Kuril Subduction Zone; 19-Japan Subduction Zone; 20-Mariana Subduction Zone; 21-Yilan-Yitong Fault; 22-Hegenshan Suture; 23-South Mongolia-Xinlinhot Suture; 24-Ohostk Suture; 25-Tuva-Mongol Orocline; 26-Erqis Suture; 27-Drbut Fault; 28-North Tianshan Fault; 29-Narat Fault; 30-Paropamisus Fault; 31-Owen Transform Fault; 32-Mokeran Subduction Zone; 33-Karakunrum Fault; 34-Bangong Co-Nujiang Suture; 35-Longmu Co-Shuanghu Suture; 36-Indus-Yarlung Tsangbo-Lancangjiang Suture; 37-Changning-Menglian Suture; 38-Sagaing Fault; 39-Sumatra-Andaman-Sunda Subduction Zone; 40-East Vietnam Fault; 41-Manila Subduction Zone; 42-Philippine Trench; 43-Kazakhstan Orocline

机制提供约束。

(a) 构造带内部: 分别在北秦岭、北祁连、柴北缘、阿尔金等构造带, 开展详细的沉积学和“造山带地层学”研究与对比, 查明这些构造带中早古生代岩石组合类型、分布范围、野外产状和接触关系等, 开展或收集碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学, 建立 U-Pb 年龄谱系(地质基因(Geo-gene)或事件指纹), 以建立能反映该区盆地演化史和构造古地理格局的地层体系, 来甄别不同物源体系的亲疏关系, 分辨并建立地块家族的谱系(Genealogy)。

(b) 微陆块内部: 选择横跨中祁连、柴达木等微陆块的早古生代关键地层层位, 开展或收集 SHRIMP/LA-ICP-MS U-Pb 年代学, 形成大数据, 建立碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谱

系及沉积岩地球化学研究, 开展纵横向对比, 分别与华北、华南、塔里木陆块或全球其他可能相邻陆块的标准年龄谱系对比, 分析不同时期沉积物源区变化以阐明其亲缘性、沉积环境和大地构造背景。

通过该研究为原特提斯微陆块亲缘性提供依据, 为 Pangea 聚合前的早古生代末陆块/微陆块关系的分析、洋-陆变迁机制探讨提供支撑。

### ③ 原特提斯构造古地理与洋-陆基本格局研究

采用综合分析和构造古地理编图等综合方法(徐旭辉等, 2009; Boucot *et al.*, 2013), 重点厘定原特提斯洋早古生代地质事件, 紧密结合沉积大地构造分析、岩浆岩大地构造分析和可靠的古地磁资料, 厘定大地构造事件、性质和环境。

(a) 微陆块的构造古地理格局分析:综合各种已有生物古地理等地质资料,进行区域沉积大地构造对比,根据相似度,归并陆块群或地体群,宏观确定中祁连与阿拉善微陆块时空关系、中祁连与柴达木微陆块时空关系、柴达木-塔里木陆块时空关系、塔里木-阿拉善-华北陆块时空关系、扬子-华夏-印支陆块/微陆块时空关系,确定各地质单元之间大地构造属性的时空配置关系。乃至结合国际最新板块重建进展,确定这些陆块与冈瓦纳古陆、劳伦古陆或西伯利亚古陆的关系,为重建全球或原特提斯洋-陆格局和俯冲碰撞过程提供依据。

(b) 主要构造带沉积大地构造研究:重点对北祁连、柴北缘、北秦岭构造带早古生代沉积地层的中-浅变质地层层序和沉积特征,运用“造山带地层学”的研究思路和方法,划分不同大地构造单元,结合已有古生物学、生物古地理、地幔低速带等研究成果,以定性恢复建立沉积大地构造格局、古气候环境、古海洋环流格局,约束全球板块重建结果。

(c) 古地理位置和古纬度的确定:运用前人系统发表的各种古气候、古生物、古特殊建造、大陆块可靠的古地磁等资料,集结上述微陆块间、大陆块-微陆块间的各种亲缘性的最新成果,以及原特提斯南、北边界的限定,初步确定早古生代各微陆块的相对古地理位置和古纬度。

通过该研究为 Pangea 聚合前的早古生代末构造古地理环境分析和洋-陆格局重建提供支撑。

## 2.1 原特提斯域陆块/微陆块的亲缘性

已有研究表明,华北和塔里木陆块位于原特提斯域北部,而原特提斯域南部弥散性分布着大量陆块/微陆块,主要有扬子、华夏、印支等陆块和阿拉善、北秦岭、中阿尔金、中祁连、欧龙布鲁克(-全吉)、东昆中、柴达木、南秦岭、巴颜喀拉(松潘-甘孜,或称若尔盖)、中咱、保山(-羌北)、羌南、拉萨(也分北拉萨、中拉萨、南拉萨)等不同学者称呼的微陆块。这些陆块/微陆块之间的独立性或亲缘性迄今还存在巨大争论,直接关系到早古生代洋-陆格局重建的核心问题,如:1) 华北陆块和塔里木陆块是亲劳俄古陆还是亲冈瓦纳古陆属性(Ziegler *et al.*, 1979; 李春昱等,1982;郭福祥,2001;Li *et al.*, 2008);华北陆块、阿拉善微陆块、塔里木陆块三者者在早古生代是分离的还是相连的(李春昱等,1982;葛肖虹和刘俊来,1999;辛后田等,2006;李文昌等,2010);阿拉善微陆块和塔里木陆块是亲扬子属性的统一板块(“西域板块”,葛肖虹和刘俊来,1999)还是阿拉善微陆块和华北陆块是一个板块(李春昱等,1982;辛后田等,2006);2) 中祁连、欧龙布鲁克、柴达木和昆中等微陆块新元古代期间都具有亲扬子的属性(辛后田等,2006),还是与华北陆块关系密切(Jen and Hsieh, 1991;许效松等,1996;夏林圻等,1996);中祁连微陆块是独立的块体(向鼎璞,1982;闫海卿等,2005),或是具有亲华北的属性(夏林圻等,1996),还是亲扬子的属性(段吉业和葛肖虹,1992;葛肖虹和刘俊来,1999);柴达木陆块与

欧龙布鲁克陆块是何时分离又何时拼合成一个整体(王惠初等,2005);中祁连和柴达木微陆块拼合成一个块体是晚泥盆世-石炭纪期间还是更早(辛后田等,2006);甚至,有人认为柴达木微陆块在南华-奥陶纪也不是一个整体,被祁漫塔格洋盆分割为柴北缘微陆块和柴南缘微陆块(或称东昆中微陆块)(陈隽璐等,2004);3) 华南陆块内部是一个整体陆块,还是可进一步分为华夏、扬子、湘桂、粤海-海南和中咱微陆块,何种程度的分离(许效松等,2004;雷永良等,2010),扬子陆块以西是否还存在一个相连的巴颜喀拉微陆块(胡健民等,2005;雷裕红等,2006;赵永久等,2007)或若尔盖地块;此外,南部问题还有:4) 印支陆块和思茅微陆块(雷永良等,2010),与华南陆块又是何种关联;5) 李才等(2007)和 Zhu *et al.* (2013)还提出羌北地块早古生代期间也属于亲扬子的地块。可见,这些众多的陆块/微陆块的关系非常复杂,最为复杂的地区聚焦在祁连山和东昆仑,目前揭示的东亚陆块/微陆块格局要比 Stampfli and Borel (2002)重建的单一带状展布的“亚洲匈奴(Hunic)地体群”复杂的多,其洋-陆格局和演变因而也可能是复杂的。这些争论长达近40年,主要一点还是基于块体现固有的空间关系,受固定论观念约束,没有动态再现各块体的时空变迁格局。迄今,多数学者认为这些陆块/微陆块都主要来自冈瓦纳大陆,但也有研究强调其独立发展的泛华夏大陆群或中华陆块群的属性(李兴振等,1995;潘桂棠等,1997;郭福祥,2001;陆松年等,2009)。所有这些认识和判断都是基于这些陆块/微陆块间某种地质特征的差异,对其共性缺乏对比。

为此,以板块构造理论为基础,根据各陆块/微陆块的相对亲缘性、统一性或独立性,采用基底构成、Rodinia 裂解的岩浆事件、碎屑锆石年龄谱(图2)、古生物组合、古气候标志等综合方法,判断上述东亚主要微陆块亲缘性。亲缘性的判断需分时代或分阶段进行,因为陆块之间的聚散随时间不断演变,因此尚有大量工作需要开展。通过对这些陆块/微陆块的早古生代亲缘性研究发现(Yu *et al.*, 2015; Cao *et al.*, 2016),除了华北陆块在泥盆纪之前不具有亲冈瓦纳大陆的特性之外,其余陆块/微陆块都具有亲冈瓦纳属性,表现在地质事件和沉积物源都遗传自冈瓦纳古陆。这表明华北陆块远距离向南漂移、最终于450~400Ma期间聚合到冈瓦纳北缘(李三忠等,2016b),类似中新生的印度板块向北漂移、最终聚合到欧亚大陆南缘一样(见后文)。这对于确定原特提斯洋海-陆格局的主要特征尤为重要,且必然涉及陆块/微陆块之间早古生代构造带构造属性的判断。

## 2.2 原特提斯构造古地理与洋-陆基本格局

亲缘性的判断直接关系到古洋-陆格局的动态重建。已有研究表明,原特提斯北部早古生代早期是个洋-陆间杂、环境多变的地带,是原特提斯洋-陆格局变化最剧烈、多次洋-陆转换的地带,也是陆块/微陆块复杂聚散的主要场所(李兴振和尹福光,2002)。如,北秦岭构造带中的宽坪群、二郎坪

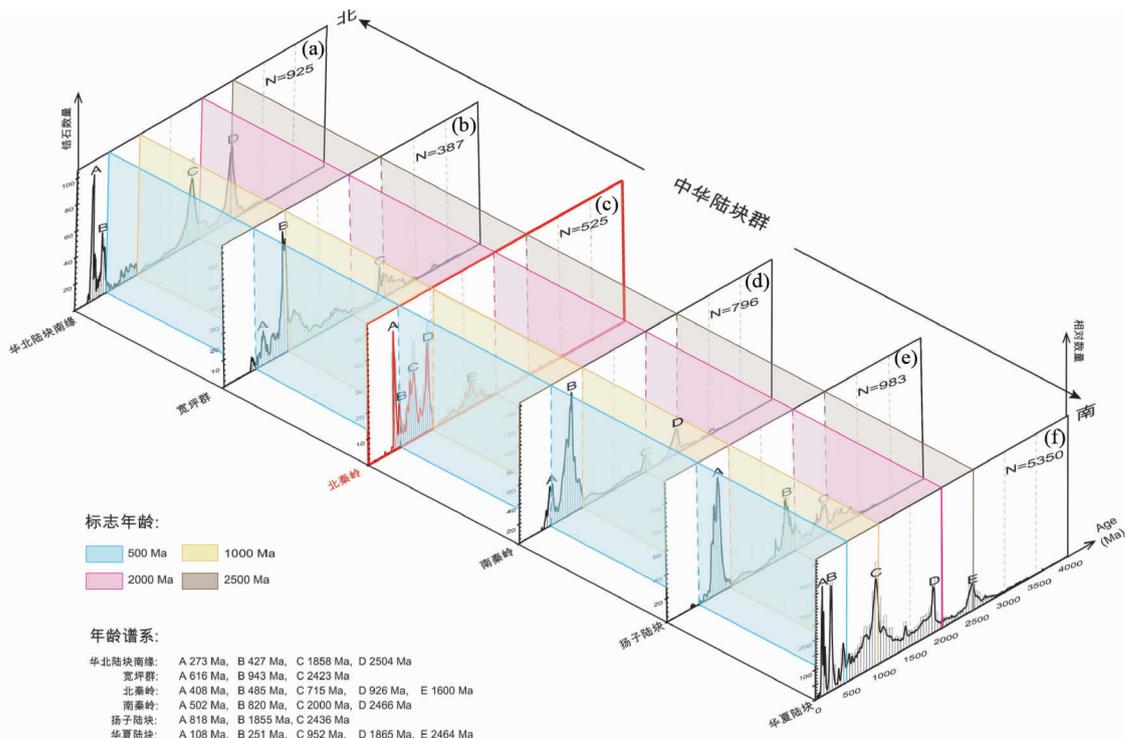


图2 东亚早古生代主要陆块/微陆块的碎屑锆石年龄谱特征对比(据 Yu *et al.*, 2015)

Fig. 2 Comparison of geogenes or detrital zircon age spectra of the main Early Paleozoic continents/micro-continental blocks in East Asia (after Yu *et al.*, 2015)

群、丹凤群等形成环境都存在争论 (Dong *et al.*, 2011a, b)。宽坪群的环境存在众多认识, 如大洋盆地 (张秋生, 1980; 许志琴等, 1988; 万渝生等, 1990; 刘国惠等, 1993)、陆缘裂谷 (安三元和胡能高, 1994)、华北被动大陆边缘弧后拉张的小洋盆环境 (张宗清等, 1994; 张宗清和张旗, 1995)、初始裂谷到小洋盆 (张国伟等, 1995)、大陆边缘弧后盆地 (陈瑞保等, 1999; 李靠社, 2002; 董云鹏等, 2003)、活动大陆边缘弧后盆地 (李靠社, 2002) 等, 由此可见不同学者对其发育程度和属性认识的巨大差异。对二郎坪蛇绿岩形成背景同样存在认识差异, 如早古生代末的弧后小洋盆、大洋盆地 (李春昱等, 1982; 张国伟等, 1988; 任纪舜等, 1990; 许志琴等, 1988; 李亚林等, 1999; 张国伟等, 2001; 闫全人等, 2009; 汤清龙等, 2010)。最近, 闫全人等 (2009) 提出华北陆块南缘以宽坪群为代表的被动陆缘火山裂谷盆地、以二郎坪群为代表的早古生代岛弧-弧后盆地和晚古生代岛弧-蛇绿杂岩等构造相带, 发育一个由被动大陆边缘向主动大陆边缘的构造转换过程。再往西, 北祁连构造带、阿尔金构造带同样存在争论, 目前越来越多的岩石学证据证实表明发育典型的洋壳, 是陆块或微陆块远近、亲缘的重要分界 (向鼎璞, 1982; 冯益民等, 1994; 张招崇等, 2001; 王惠初等, 2005; 庄儒新和李峰, 2006; 林宜慧等, 2010; 张贵宾和张立飞, 2011); 但还有部分研究认为是裂谷 (夏林圻等, 1996; 葛肖虹和刘俊来, 1999), 甚至认为北祁连南、北的微陆块具有显著的亲缘性, 应当是统一的

“西域板块”一部分 (葛肖虹和刘俊来, 1999)。中祁连野马山-拉脊山一带也存在裂谷、裂陷槽、陆间裂谷-小洋盆、板内洋岛、弧后盆地、多岛洋、活动陆缘之争 (详见陆松年等, 2009 及其参考文献; 付长垒等, 2014 及其参考文献)。柴北缘加里东期构造环境归属问题的看法也分歧较大, 主要观点有优地槽说、大洋盆地说、弧后盆地说、岛弧说、裂谷说等 (赖绍聪等, 1996a, b; 葛肖虹和刘俊来, 1999; 史仁灯等, 2003; 张贵宾等, 2005; 张贵宾和张立飞, 2011); 柴北缘构造带的拼合方式是向南俯冲还是向北俯冲 (高延林等, 1988; 程裕洪, 1994; 洪流和徐志斌, 1997) 也关系到南祁连和柴北缘是何种成因的弧后盆地问题。对这些构造带构造属性的不同认识可能会直接导致重建出不同的洋-陆格局和构造演化模式。

从现今华北南缘残存的下古生界记录可知, 华北陆块南缘早古生代期间为被动陆缘沉积建造, 宽坪群中基性岩年龄从 1400 ~ 1000 Ma (陆松年等, 2003),  $943 \pm 6$  Ma (LA-ICPMS, 第五春荣等, 2010) 到 611 Ma (闫全人等, 2008) 都有, 且为 N-MORB 型洋壳; 北祁连构造带发育有蓝片岩, 这些都表明不可能是热的弧后盆地洋壳消亡所致, 更不可能是如此长期的裂谷环境 (但可能残存一些微陆块裂离母体大陆块期间残存的双峰式火山岩记录)。正如前文认为, 北秦岭、中祁连微陆块实际上早古生代期间可能是冈瓦纳北缘组成, 与南秦岭可能为斜列关系 (如物理学中的“串联”关系), 与华南北缘

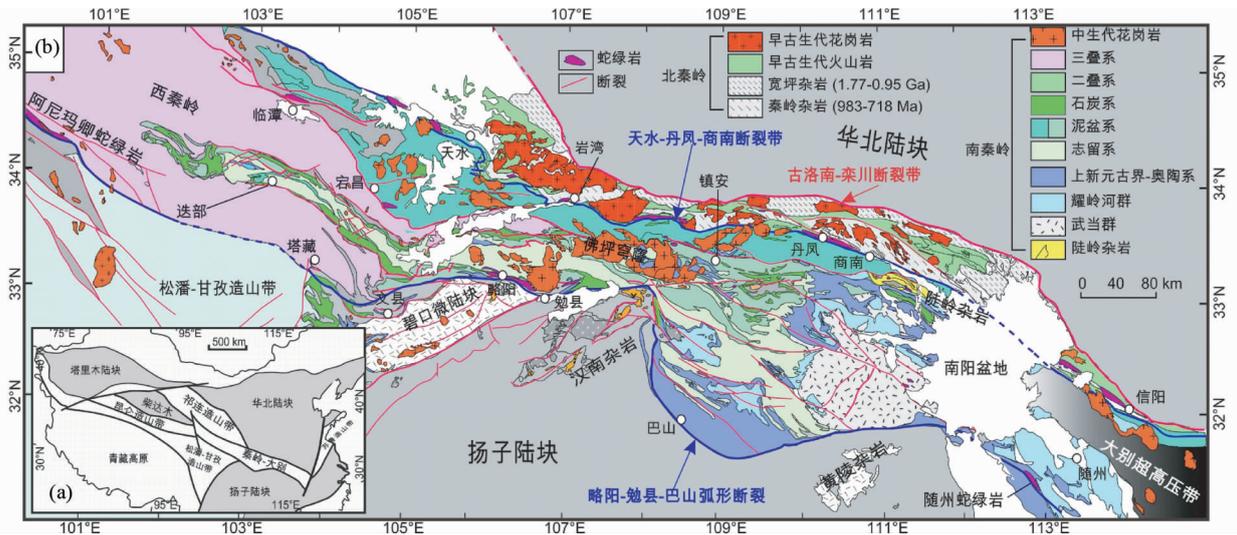


图3 秦岭造山带沉积地层分布

Fig. 3 Stratigraphic distribution in the Qinling Orogen

也没直接关系(图2),但可能是华北拼合到冈瓦纳北缘拼合后(刘岭群可能也在西侧,与大草滩群分布位置相当),勉略洋打开时,在勉略洋西段撕裂出去的带状地体,而后在泥盆纪后期,华北、华南转变为南北向平行并置的“并联”关系时,商丹洋、勉略洋印支期皆向北俯冲并最终关闭,才形成现今构造格局。

从南秦岭早古生代到晚古生代连续的被动陆缘沉积建造分析,商丹洋应当始终没有封闭。很多研究以刘岭群具有北秦岭物源和华南物源来判断南秦岭和北秦岭已经在加里东期就是南北关系,这里面还请注意,刘岭群与南秦岭相应时代地层为构造接触的现状(图3),可能表明是一个西侧的外来构造片体组成的一部分;特别需要注意的是,刘岭群以南的南秦岭主体泥盆系基本没有遭受加里东运动,且与刘岭群有岩相上的巨大差异这个事实。如果按照传统观点推断,华南、华北自新元古代以来必然始终是南北向关系(并联关系),这个结果不仅和绝大多数的基于古地磁的全球板块重建图像矛盾重重,而且南秦岭下古生界必然卷入加里东期变形,但这和事实相左。

原特提斯洋南部的洋-陆格局迄今也存在争论,形成了众多观点,如多岛洋、被动陆缘、陆内裂谷、安第斯型陆缘种迥异的观点(郭福祥, 2001; 肖序常等, 2003; Zhu *et al.*, 2013)。但鉴于以上所述,原特提斯洋南部的地质记录发现较少且零散,因而原特提斯洋南部的洋-陆格局、大地构造单元时空配置还非常模糊,原特提斯洋南部的闭合过程也不清楚。Zhu *et al.* (2013) 揭示,青藏分布有多条早古生代花岗岩带和蛇绿岩带,这些构造带岩石地球化学揭示,原特提斯南界应当为活动大陆边缘,甚至可能是古特提斯洋打开后,残留在冈瓦纳北缘的一部分早古生代残留弧。

洋-陆格局的争论还表现在洋盆持续时限。一些研究揭示,这种洋-陆格局在早古生代和新元古代末完全不同,在全

球背景下发生过复杂的洋-陆转换,如:1)大量资料证明,原“华南洋”实际是由新元古代蛇绿岩界定的(刘宝瑞等, 1990; 舒良树等, 1993; Shu *et al.*, 1994; Shu and Charvet, 1996),自 Rodinia 裂解至早古生代期间,它始终是介于扬子陆块和华夏陆块之间的板内深海盆(Wang *et al.*, 2010);2)大约 950 ~ 840Ma 的新元古代,扬子陆块西缘从碧口、康定到盐边的沟-弧-盆体系闭合后(罗志立, 1986; 陶洪祥等, 1993; 程裕淇, 1994; 李献华等, 2002; 刘文中等, 2005; Munteanu *et al.*, 2006; 杜利林等, 2007; 赖绍聪等, 2007),于 860 ~ 750Ma 期间可能重新裂解为板内深海盆,且可能一直延续到志留纪(郝子文, 1999)。此外,也有研究认为洋盆持续时间较长,直至晚古生代才发生洋-陆转换,如商丹洋或秦-祁-昆洋(张本仁等, 2002)和昌宁-孟连洋(钟大赉, 1998; 李朋武等, 2005)。以上所述也涉及蛇绿岩年代之争,同一地区高精度年代学研究不断报道早古生代或晚古生代蛇绿岩年龄,让人难以判断何者是洋盆准确年代,还是两者代表洋盆连续发育的时限。可见,原特提斯洋内存在时空上复杂的微陆块聚散过程,这些微陆块在原特提斯洋中的位置和拼合过程、时序迄今仍然模糊不清。但是,仔细统计分析最新的高精度 SHRIMP 年龄后可以发现,中国境内的古特提斯洋洋壳形成基本在石炭-二叠纪,或者至少在 380Ma 之后,存在 400 ~ 380Ma 之间的间隔,在现今年代学精度到达百万年精度的情况下,这可能表明原特提斯洋演化和古特提斯洋演化是不连续的过程。即 400Ma 可能是强烈造山转为伸展阶段的标志年代,既是某些局部地区造山作用的结束,也是这些地区开启并进入拼合在冈瓦纳北缘发生微陆块或地体群的裂解(rifting),但尚未裂离(break-up)出现洋壳。因此,原特提斯洋的终结时间大概在 450 ~ 400Ma 之间,此时也发生了全球性的聚合事件。虽然原特提斯洋的结束时间容易判断,但是,起始时间是个复杂问题和复杂过程,首先涉及不同陆块/微陆块裂离 Rodinia

超大陆,如阿拉善地块可能 1000 ~ 900Ma 就裂离了 Rodinia 或冈瓦纳古陆,塔里木-柴达木可能裂离相对较晚,因而西段原特提斯洋壳可能较年轻,而东段原特提斯洋可能是华北远距离南移与冈瓦纳拼合(见后文),因而东段原特提斯洋(甚至可能原属原亚洲洋的)洋壳年龄可能较老。但原特提斯洋主体存在的可能时限为约 650 ~ 450Ma 之间。

### 3 原特提斯洋封闭与 Pangea 聚合的起点

Pangea 超大陆是地球上最年轻的超大陆,现有西方学者构筑了一系列 Pangea 超大陆的重建模式(Collins, 2003; Scotese, 2004; Golonka *et al.*, 2006; Metcalfe, 2009)。这些模式主要是建立在华力西-印支期的地质演化和拼合格局基础上,但拼合之前早古生代洋-陆格局及其构造面貌很少加以考虑与 Pangea 的关系。然而,前人研究表明在 Pangea 超大陆主体聚合之前,东亚陆块/微陆块在早古生代末可能已经依次向北拼合到中国北方大陆之上(陈智梁,1994;潘桂棠等,1997;高长林等,2005;徐旭辉等,2009;刘良等,2009;李文昌等,2010),或以一整体形式与北方大陆相拼接(葛肖虹和刘俊来,1999)。然而,绝然相反的是,现今大量板块重建都将东亚陆块/微陆块在早古生代末置于南方冈瓦纳大陆的北缘(Yu *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2015; 张建新等,2015; 李三忠等,2016a, b, c, d)。可见,东亚陆块/微陆块的亲缘性及其在早古生代末的洋-陆格局、拼合时序与方式等仍没有形成共识,而这些正是理解 Pangea 东亚重建之前构造背景的重要基础。

东亚古生代陆块/微陆块(如北秦岭、中祁连、柴达木、阿拉善、欧龙布鲁克、羌北、羌南、拉萨、印支等;图 1),具有小而多、多期拼合与离散的复杂特征。在这些陆块/微陆块之间发育了一系列蛇绿岩带和高压-超高压变质带,它们可能是早古生代末构造事件的产物,是研究东亚陆块/微陆块古生代拼合历史的重要载体。近三十多年来,国内外学者针对我国不同陆块/微陆块古生代地质历史开展了大量研究,取得了许多重要成果(李春昱等,1982;任纪舜等,1990;Jen and Hsieh, 1991;郑健康,1992;陈智梁,1994;潘桂棠等,1997;钟大赉,1998;高长林等,2005;von Raumer and Stampfli, 2008;徐旭辉等,2009;李文昌等,2010)。这些成果对我们理解原特提斯洋演变和 Pangea 东亚重建具有重要意义。但是,目前尚缺乏以全局视野角度综合利用这些研究成果来理解 Pangea 东亚聚合前的构造背景;同时,对这些陆块/微陆块的属性及早古生代期间拼合过程等认识还存在争论,如塔里木、中祁连、北秦岭陆块是具有扬子还是华北的属性(张本仁等,2002;李文昌等,2010)?柴北缘俯冲极性是向南还是向北(高延林等,1988;程裕淇,1994;洪流和徐志斌,1997)?北秦岭构造带是与北祁连、柴北缘相接,还是和昆中构造带相连(肖序常等,1978;向鼎璞,1982;Jen and Hsieh, 1991;张建新和许志琴,1995;冯益民等,1994;许效松等,1996;杨

经绥等,1998, 2003;任纪舜等,2000;许志琴等,2003;宋忠宝等,2005;张贵宾等,2005;王惠初等,2005; Xu *et al.*, 2006; 张建新等,2007;陈能松等,2008;刘良等,2009;林宜慧等,2010;宋述光等,2011)? 这些问题不仅是确定东亚主要陆块间早古生代聚合位置、方式和时间的关键,而且是“Pangea 的东亚重建”不可或缺的重要组成部分。

最近 5 年来的碎屑锆石年龄谱、构造解析等深入研究成果积累揭示,Pangea 超大陆主体聚合之前,东亚陆块/微陆块在早古生代末实际向南俯冲,并于 450 ~ 400Ma 期间已经依次向南拼合到南方冈瓦纳大陆之上(李三忠等,2016a, b, c, d; Zhao *et al.*, 2015; Yu *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2015)。塔里木、中祁连、北秦岭微陆块既不一定具有扬子属性,也不具有华北的属性,且不是一个汪洋大海中的一个独立块体,而是都和扬子一样,是亲冈瓦纳大陆的属性(李三忠等,2016a, b, c, d; Zhang *et al.*, 2015)。通过对构造带特征和两侧地层组成的对比,揭示出古洛南-栾川断裂带和北祁连、北阿尔金构造带的第一幕变形特征指示向南俯冲,随后该带发生弯曲转为南阿尔金、柴北缘构造带,此段的俯冲指向北,经瓦洪山一带回转到柴达木南缘断裂向南俯冲,进而向西延展到向南俯冲的西昆仑构造带。可见,这条构造带表现为一个巨型弯山构造,并指示早期的整体向南俯冲特征。因此,北秦岭微陆块是与中祁连、中阿尔金、欧龙布鲁克、东昆中微陆块相连的(李三忠等,2016a, b, c, d; Zhao *et al.*, 2015)。尽管该构造带不同地段存在不同变质作用和所经历变质作用时限先后次序略微差异,但地质事件年限和总体变质岩石组合皆不仅说明当时不存在多个微陆块间隔的多岛洋,反而可能是一个统一干净的洋盆。岩石学和变质作用研究结果也揭示,阿拉善、敦煌、塔里木、柴达木地块原来可能是在中奥陶世与华北拼接为了一带状微陆块群(Xu *et al.*, 2015),国外学者称为东亚匈奴地体群(Veevers, 2004),位于原特提斯洋北部。并且,南部原特提斯洋于 450 ~ 400Ma 期间封闭,这些微陆块群连同大华南陆块、印支地块等拼接到了冈瓦纳大陆北缘,直至 380Ma 之后古特提斯洋打开,这些微陆块群再向北漂移,这才是 Pangea 超大陆聚合的起点。与 1000 ~ 650Ma 期间主体表现为 Rodinia 超大陆三阶段裂解或裂离(李三忠等,2016d)不同,600 ~ 400Ma 期间发生的主要事件可划分为南方冈瓦纳大陆和北方劳俄大陆先、后聚合两个阶段,可视为 Pangea 超大陆聚合的前奏(李三忠等,2016d)。

### 4 原特提斯洋内主要微陆块拼合方式

前文已述,原特提斯域主要构造带和陆块/微陆块在早古生代末都与冈瓦纳北缘发生了拼合,但其具体方式尚不明瞭,因此还急需解决以下关键科学问题:1)确定原特提斯域多陆块组合演化特征与构造属性,探索加里东期原特提斯洋中微陆块间的拼合作用与特征,特别是加强高压-超高压变质岩的构造变形解析和大地构造背景分析,采用 SHRIMP 和

Ar-Ar 等方法,重点厘定原特提斯洋中主要微陆块间的加里东期变形时限,建立地质事件序列,重建其多陆体/微陆块拼合过程或时序;2)结合已有古地磁资料(Lin *et al.*, 1985; Yang *et al.*, 1998, 2002; Huang *et al.*, 1999, 2000a, b, 2005; 朱日祥等, 1998),运用 Gplates 软件(Torsvik *et al.*, 2008)等开展原特提斯洋海-陆格局的重建,侧重确定阿拉善与华北、柴达木与塔里木之间的关系。总之,对原特提斯洋内早古生代主要微地块的聚合时间、方式、过程和规律的精细界定,是系统研究“Pangea 的东亚聚合”的第三个核心关键科学问题。

阿尔金-北祁连-柴北缘-北秦岭高压-超高压变质带为系统解析东亚主要陆块早古生代拼合方式和地质过程提供了有利条件。为此,5年来,我们重点开展了中祁连、柴达木等微陆块裂解与聚合过程,侧重其间的缝合带/高压-超高压变质带(北秦岭、北祁连、柴北缘、阿尔金)的构造变形和构造年代学研究(Zhao *et al.*, 2015),着重加强了阿拉善与华北、柴达木与塔里木的加里东期变形关联性研究(Xu *et al.*, 2015),主要工作如下:

① 加里东期高压-超高压变质带和蛇绿岩带的构造变形解析

已有大量高压-超高压岩石变质年龄数据和原岩形成年龄数据,但缺乏对围岩区域变形年代约束,对不同构造期次的年代界定也非常薄弱。为此,我们重点研究北秦岭、北祁连、柴北缘、阿尔金几条构造带中高压-超高压变质带中围岩的变形期次、变形年龄和时限、运动学特征,结合已有大量可靠年代学和 P<sub>T</sub>t 轨迹研究成果,探讨高压-超高压变质形成和剥露的动力学过程与机制。这是准确建立早古生代高压-超高压变质期间陆块/微陆块精细拼合过程的基础。

(a) 榴辉岩或高压麻粒岩、蛇绿岩区域和显微构造解析:系统收集构造几何学、运动学数据,同时采集岩组学样品开展 EBSD 运动学研究(赵淑娟等, 2016)。

(b) 榴辉岩、麻粒岩、蛇绿岩岩块围岩的区域和显微构造解析:建立变形的相对时序,系统收集韧性剪切带中“ $\delta$ ”、“ $\sigma$ ”、“ $\Phi$ ”碎斑或变斑、各种线理、面理、褶皱和断裂等的不同尺度范围的几何学和运动学数据,同时采集岩组学样品开展 EBSD 运动学研究(赵淑娟等, 2016)。

(c) 陆块/微陆块精细的拼合过程:分析榴辉岩、蛇绿岩岩块和围岩的变形期次和变形样式的差异,筛分俯冲期、碰撞期和折返-剥露期构造变形,通过区域变形背景下特殊岩块与围岩的变形幕次和行为差异的分析,为探讨陆块/微陆块精细拼合过程提供构造地质学证据。

通过该项工作可为原特提斯陆块/微陆块拼合过程和方式研究提供可靠的区域性构造变形证据。我们的研究结果表明,中国中央造山带存在一个巨型弯山构造(李三忠等, 2016a, b, c, d),弯山构造的成因复杂,可能与大洋板块俯冲后撤、陆块/微陆块体斜向俯冲、平行造山带的巨型走滑断裂等密切相关。将这个弯山构造展开后,可以揭示宽坪洋是向南俯冲消减的,因而总体俯冲极性是华北、阿拉善、塔里

木、柴达木等陆块/微陆块是向南俯冲并拼贴、增生到冈瓦纳大陆北缘,这些陆块/微陆块与冈瓦纳主体之间还存在北秦岭、中祁连、中阿尔金、欧龙布鲁克、昆中等微陆块。

② 原特提斯陆块/微陆块的拼合时序与方式

选择原特提斯北部变形强烈和剧烈变动地带,开展野外地质构造解析,针对早古生代变形变质地层中区域性片理、岩体中片麻理和造山期不同幕次的岩脉和造山后侵入体,分别采用 Ar-Ar 和 SHRIMP 等方法,进行变形年代的约束。

(a) 陆块/微陆块拼合时序:针对北秦岭、北祁连、柴北缘和阿尔金构造带中主要榴辉岩块围岩、蓝片岩开展精细的区域和显微构造解析同时,对围岩采集系统的 Ar-Ar 年代学样品,开展构造年代学研究,限定不同变形幕次的年龄。选择蓝闪石开展矿物 Ar-Ar 定年以及楣石 U-Pb 定年研究。针对北秦岭、北祁连、柴北缘和阿尔金构造带中切割和卷入不同幕次变形形迹的花岗岩脉体和变形后的侵入体,开展系统的 SHRIMP 锆石定年研究,进一步限定不同变形幕次的年龄和不同微陆块间加里东期最终拼合变形年龄。

(b) 陆块/微陆块拼合方式:针对北秦岭、北祁连、柴北缘和阿尔金构造带等不同构造带获得的变形幕次年代限定结果,进行构造带之间高压-超高压岩石围岩变质变形的区域构造年代学对比,区分不同地段构造带变形时代差异,寻找造山带内部变形年代学相对时差,建立高压-超高压岩石变质的区域构造背景,全局考虑其构造模式,探讨散聚过程和时空迁移演化,揭示不同块体拼贴顺序和探讨不同的构造拼贴模式,确定多块体板块运动学和板块动力学机制。

综合前人研究和野外调查研究结果,结合可靠的区域构造变形年代学证据,探讨原特提斯陆块/微陆块拼合过程、方式和动力学机制如下:原特提斯洋内陆块多数在全球视野看为小陆块或微陆块,它们与大陆块之间的相互作用或拼合方式非常复杂,可表现为碰撞造山、增生造山和陆内造山,因有专文论述(李三忠等, 2016a, b, c),这里不再展开。但是,这些拼合过程揭示的只能是板块或岩石圈尺度的动力学机制,并不能揭示超大陆聚散机制。

## 5 原特提斯洋陆块/微陆块聚散过程和拼合机制

集结近 20 年来国内外学者在原特提斯构造域所取得的丰硕成果,探讨高压-超高压变质作用的全球背景(杨朝等, 2015);重新建立 Pangea 超大陆聚合前的早古生代演化模式,构建并编制 Pangea 超大陆聚合前的早古生代动态演化图,以确定原特提斯洋内微陆块于何时、何地并以何种方式拼合及 Pangea 超大陆聚合前的早古生代海-陆格局,这不仅是确定 Pangea 聚合过程起点的关键,而且是开展超大陆周期性聚散的机理与动力学研究核心。为此,我们通过下列研究分别取得相应新认识:

(a) 动态重建早古生代陆块/微陆块洋-陆格局演变过程:综合古地磁-古生物-地层-岩石-年代学等资料,采用古地磁和最新的计算机 Gplates 板块重建技术,重建散聚过程和时空演化,完成东亚在 Pangea 超大陆聚合前的早古生代陆块/微陆块演化系列重建图件;用 Gplates 重建和检验早古生代原特提斯洋-陆格局和多微陆块拼合历史和运动学历史(聂仕琪等,2015)。Yu *et al.* (2015) 用 Gplates 动态再现了原特提斯洋内洋-陆格局的演变过程,本文选择其中 750Ma、500Ma、460Ma 和 400Ma 四个时期的重建图像(图 4)介绍其过程。

自 750Ma Rodinia 超大陆核心因盖子效应,形成了 750Ma 以来就始终存在的一个地幔低速带(被认为是固定不动的,可作为板块绝对运动的参照系),这个地幔低速带之上发生的主要裂解事件导致澳大利亚东部与北美陆块西部裂离(图 4),此时华北地块也裂离西伯利亚陆块,且华北北缘朝南,大华南地块、塔里木地块等位于澳大利亚西侧,在扬子北缘出现一系列岛弧。总体洋-陆演变格局表现为内侧洋打开,外侧洋封闭格局。外侧洋称为泛大洋或古太平洋,东亚的地方名称为宽坪洋(或原亚洲洋)。750~500Ma 期间,华北沿转换断层运动,最后华北北缘向西朝向西伯利亚陆块。值得注意的是,该重建并没有很好地约束塔里木微陆块的位置,可能靠近印度,也可能靠近澳大利亚西缘。二郎坪群形成的位置也只是暂时的。

540Ma 左右 Rodinia 裂解形成的部分陆块在两个地幔低速带之间的地球表层聚合,拼合为南冈瓦纳大陆,这个古大陆一直稳定存在到 Pangea 最终聚合;而北美、西伯利亚、波罗的、华北等地块分散在这两个地幔低速带的另外一侧间隔中,外侧洋逐渐转变为内侧洋,称为古亚洲洋。古亚洲洋造山拼贴体可以分成北部的西伯利亚-蒙古拼贴体、西部的哈萨克斯坦拼贴体,以及南部的塔里木-北山-阿拉善-华北拼贴体(Xiao *et al.*, 2015)。500Ma(图 4)之前塔里木、阿拉善等地块实际向北西运动,并已经裂离冈瓦纳大陆北缘,之间产生原特提斯洋,而华北与冈瓦纳之间的泛大洋-宽坪洋(原亚洲洋一部分)因华北向南东运动,缩小变为原特提斯洋的一部分,桐柏北缘的高温麻粒岩相变质(任留东等,2016)可能与华北此时位于地幔低速带核部有关。此时,波罗的陆块沿转换断层向南运动,与北美之间的亚皮特斯洋打开,同时亚皮特斯洋也分割冈瓦纳古陆,从可能的转换断层系统分析,亚皮特斯洋可能与原特提斯洋没有关联(图 4),且古亚洲洋可能与通奎斯特洋相关。

475~460Ma(图 4)可能两个地幔低速带热散溢后,导致北美古陆向南运动,波罗的陆块也向西侧地幔低速带运动,亚皮特斯洋逐渐收缩;亚皮特斯洋南侧俯冲导致 Rheic 洋弧后打开,通奎斯特洋逐渐收缩,该洋此时还可能与古亚洲洋相连。此时,古亚洲洋转变为内侧洋。冈瓦纳大陆向东侧另外一个地幔低速带运动,导致原特提斯洋缩小,塔里木-阿拉善-华北可能沿贺兰转换型陆缘(李三忠等,2016b,d)拼合

为亚洲“匈奴地体群”,而在冈瓦纳西侧出现俯冲增生造山带,在此处北秦岭-中祁连-中阿尔金-欧龙布鲁克微地块及相同性质的金水口群、达肯达坂群等基底杂岩都具有亲冈瓦纳的属性,且都卷入高压-超高压变形变质。大华南板块也已经和冈瓦纳北缘(当时可能为西侧)拼合(图 4)。

420~400Ma(图 4)板块持续在两个地幔低速带的西侧间隔内聚合,导致北美古陆与波罗的古陆沿加里东造山带在 420Ma 拼合为北方的劳俄古陆。并于 400~330Ma 之间,北方劳俄古陆与南方冈瓦纳古陆从点碰撞逐渐向东剪刀式闭合 Rheic 洋和古亚洲洋,局部呈突刺状拼合(Kroner and Romer, 2013; Kroner *et al.*, 2016),新形成一个超大陆——Carolina 超大陆(李三忠等,2016a,b,c,d)。此时,冈瓦纳古陆受东侧地幔低速带的驱动,向西运动(图 4),总体表现为古亚洲洋的内侧洋封闭模式,直接导致华北等位于地幔低速带中心,同样盖子效应,在华北、华南和印支之间出现三叉裂谷(图 5),持续裂解,导致 380Ma 之后出现古特提斯洋洋壳的产生,最终华北、华南、印支等裂离冈瓦纳北缘,沿转换断层向北方的劳俄大陆南缘聚合,表现为正交型(Orthoversion)聚合机制。这样便实现了 Carolina 超大陆的微小调整(李三忠等,2016a,b,c,d),形成传统称为的潘吉亚超大陆,因而 Carolina 超大陆这个意义上讲,也可以称为原潘吉亚(Proto-Pangea)或潘吉亚幼年期(Early Pangea)。

(b) 陆块/微陆块聚散机制探讨:采用地质对比、古地磁、Gplates 等技术,综合前人对这些构造带和微陆块成果基础上,确定原特提斯洋内西昆仑、昆中、北祁连、中祁连、柴达木、扬子、华夏、印支等微陆块在 Pangea 超大陆聚合演化中的早期位置;特别关注确定原特提斯洋内阿拉善与华北、柴达木与塔里木微陆块之间的聚合过程;在创新性集成研究基础上,探索原特提斯洋内微陆块从 Rodinia 裂解到 Pangea 超大陆聚合过程中的早期响应机制。通过前文讨论,原特提斯洋记录了 1000~500Ma 期间大量陆块/微陆块先后裂离 Rodinia 或冈瓦纳的复杂过程,也蕴含了 460~400Ma 期间,这些陆块/微陆块形成带状东亚匈奴地体群,随后拼合到冈瓦纳北缘的增生-碰撞历史(李三忠等,2016b,c)。其 Rodinia 裂解到潘吉亚超大陆聚合过程的全球背景已有专文论述(李三忠等,2016a,b,c,d; Yu *et al.*, 2015),不再展开。

总之,通过综合前人地质、年代学、古气候、古生物、古地磁、地球化学资料,运用 Gplates 等板块重建技术,不仅可以阐明东亚原特提斯陆块/微陆块的聚散规律,而且可以探讨其聚散机制,并最终认识 Pangea 的东亚聚合的全球背景。特别强调的是,从深部背景分析,全球两个地幔低速区可能自 750Ma 以来一直稳定存在,前人将现今浅表地幔柱叠加后发现,几乎所有地幔柱皆分布在这两个低速区周缘(图 4、图 5)。图 5 重建方案和图 4 中 400Ma 的重建似乎有差别,实际上其本质是一样的。因为古地磁不能约束各个块体的经度,因而将所有块体沿同一纬度整体东西向旋转 90 度后,这两个重建就完全一样。从这些板块重建结果看,超大陆聚散机

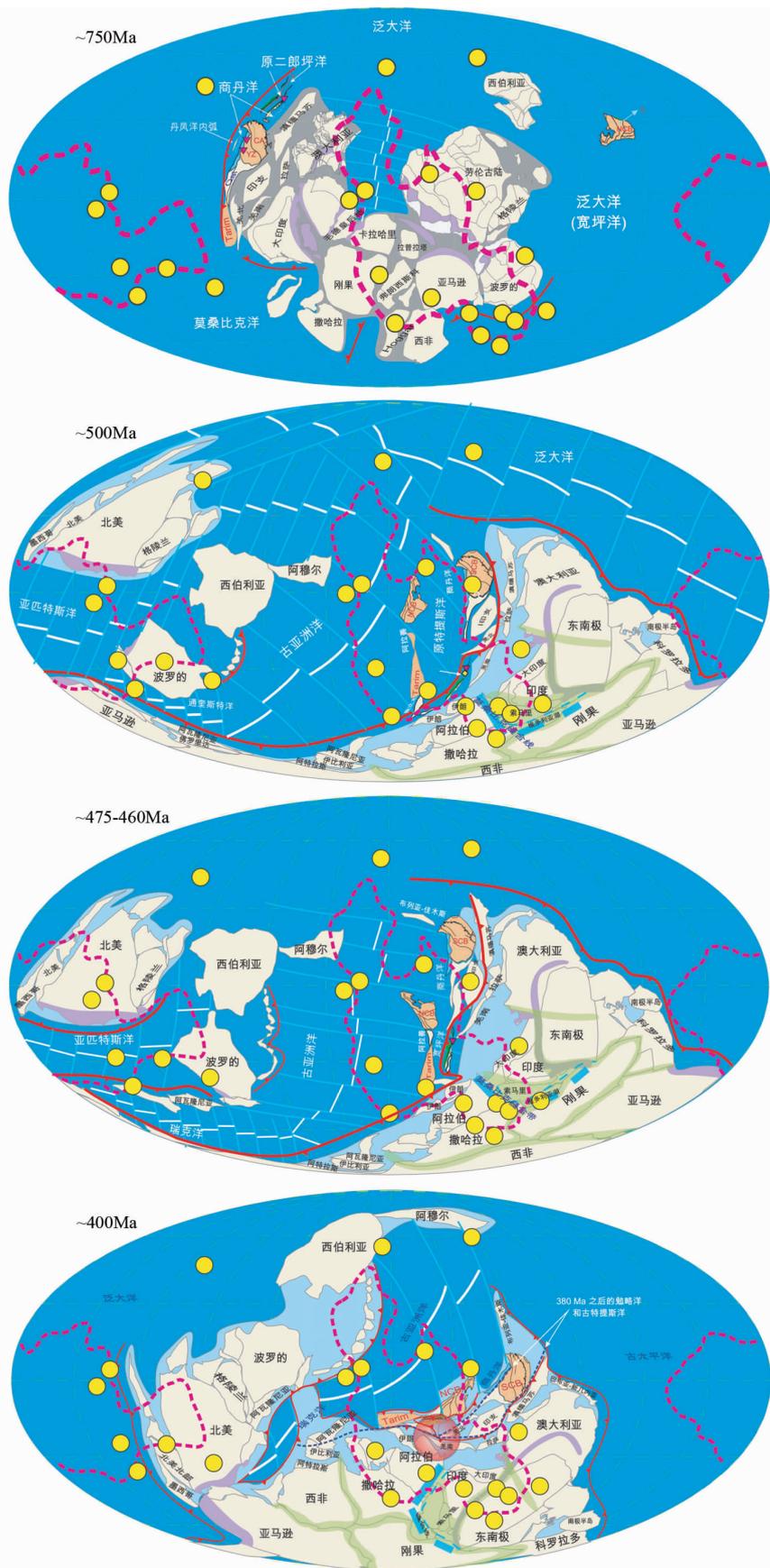


图4 东亚陆块/微陆块从 Rodinia 裂解到早古生代的聚合过程

黄色圆圈代表现今地幔柱,红色虚线为地幔 235km 深度的低速异常区(据 Burke *et al.*, 2008),深蓝色为洋壳,浅蓝色为大陆架,其余颜色为早古生代造山带,NCB 为华北陆块, Tarim 为塔里木陆块, SCB 为传统的华南陆块, YZ 为扬子陆块, CA 为华夏陆块, QAI 为柴达木微陆块,其余陆块为淡黄色,浅蓝色实线为推测的转换断层,白色实线为推测的洋中脊,橘黄色大圆为推测的地幔柱,其余带状颜色为不同年龄的早古生代造山带

Fig. 4 Neoproterozoic breakup of Supercontinent Rodinia to Early Paleozoic assembly processes of continents/micro-continental blocks in East Asia

Yellow circles represent present-day mantle plumes. Red dash lines yield the lower velocity mantle zones below 235km (after Burke *et al.*, 2008). Dark blue represents oceanic crust. Bright blue is continental shelf. The other colors are Early Paleozoic orogens. NCB is North China Block. Tarim is Tarim Block. SCB is South China Block. YZ is Yangtze Block. CA is Cathaysia Block. QAI is Qaidam microcontinental block. The other continental blocks are in bright yellow. Bright blue lines are the deduced transform faults or fracture zones. The white lines are the deduced mid-oceanic ridges. The orange big circle is the deduced mantle plume. Other colorful belts are Early Paleozoic orogens with different ages

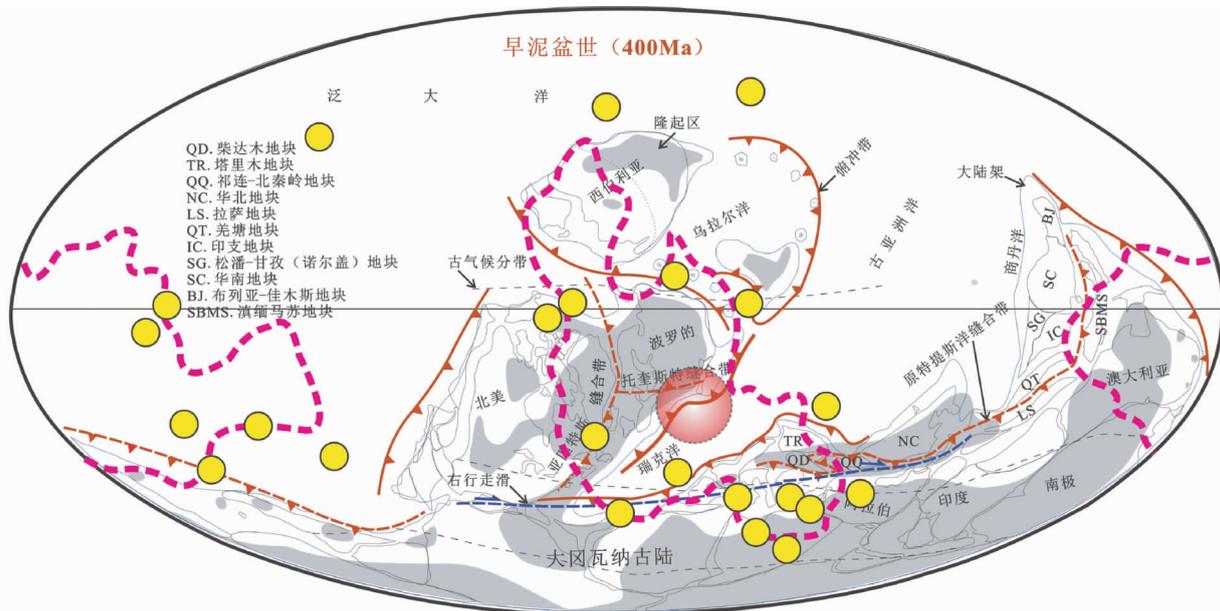


图5 东亚陆块/微陆块早古生代聚合的可能机制(主要块体基于 Boucot *et al.*, 2009 的重建)

灰色区域为古隆起区,其余说明见图4

Fig. 5 Possible mechanism of Early Paleozoic assembly of continents/micro-continental blocks in East Asia (plate reconstruction of major continents based on Boucot *et al.*, 2009)

Grey area is paleo-uplift region, other legends seen in Fig. 4

制非常简单,就是与长期存在与下地幔低速带相关,当板块运移到地幔低速带之上一定时限后,因盖子效应或热聚集效应,导致超大陆裂解,随后裂离块体在两个地幔低速带之间的地球表层聚合。内侧洋和外侧洋可以轮流转换,正交封闭模式也可能发生,这三种机制都是表象机制,实质机制还存在于下地幔的动力学过程。诸如青藏地区的古特提斯洋、新特提斯洋中的“多海洋”也可能是地幔柱相关成因,因为按照板块构造理论,板块俯冲相关成因的岛链只能出现一条带状微陆块裂离母体大陆(如日本裂离欧亚大陆),且这种岛链不会超过 200km 宽度。诸如华北这种宽达 1000km 以上的陆块裂离很难用俯冲导致裂离来解释。

## 6 结论

围绕 Pangea 聚合过程中原特提斯洋-陆格局与微陆块早

古生代聚合这一核心科学问题,本文以华北、扬子、塔里木、中祁连、欧龙布鲁克及中阿尔金、羌北、羌南、拉萨等陆块/微陆块为重点研究对象,采用多学科综合集成的研究手段,基于大量地质基因谱系(碎屑锆石年龄谱)的现有研究成果对比,分析上述地块为地块的亲缘性,揭示其拼合时序,得出以下几点新认识:

(1) 原特提斯微陆块亲缘性:早古生代早期除华北不具有亲冈瓦纳大陆的特征外,扬子、塔里木、柴达木、阿拉善、北秦岭-中祁连、欧龙布鲁克、印支、羌北、羌南和拉萨等都具有亲冈瓦纳的特征。

(2) 原特提斯洋-陆格局演变过程:阿拉善陆块在 Rodinia 裂解早期就脱离了冈瓦纳;早古生代晚期(中奥陶世),塔里木、柴达木、阿拉善、北秦岭-中祁连、欧龙布鲁克等裂离冈瓦纳大陆后与华北陆块形成带状陆块群,分割了北部古亚洲洋和南部原特提斯洋;直到 420 ~ 400Ma 左右,这条带

状陆块群与华南陆块一起拼贴至冈瓦纳大陆北缘。

(3)原特提斯洋陆块/微地块拼合时序与方式:通过重点剖析中祁连、柴达木、塔里木、华北等微陆块/陆块拼贴过程,本文认为原特提斯洋盆闭合时间限定为450~400Ma,其俯冲极性为整体向南俯冲,最终拼合于冈瓦纳大陆北缘。

(4)洋-陆格局重构和区域板块重建关键证据:利用碎屑锆石年龄谱(本文称为地质基因或事件指纹)建立块体间的家族谱系、“遗传”关系或亲缘性;利用古地磁资料,确定主要陆块间的空间关系,如一些弯山构造解析非常关键,解开现今块体原本“并联”或“串联”关系;通过构造筛分,剥离后期构造叠加,关注第一幕俯冲相关变形的构造解析,揭示俯冲极性;通过精细可靠年代学数据的收集,理顺地质事件群,综合对比构建各区域构造模型,并置于全球背景下检验其合理性;彻底打破固定论的隐形桎梏,动态理解块体的全球运动,开展块体的运动学检验。

**致谢** 近5年来,我们主要集中研究原特提斯洋的演化,本文主要介绍了研究背景、相关进展和初步认识,供专家批评指正。同时,谨以此文祝贺第一作者的导师杨振升教授85华诞。感谢舒良树教授和刘福来研究员提出的宝贵审稿意见。

## References

An SY and Hu NG. 1994. The Formation and Metamorphism of Rift in the North Qinling. Xi'an: Northwestern University Press, 1 - 203 (in Chinese)

Boucot AJ, Chen X, Scotese CR and Fan JX. 2009. Phanerozoic Global Climatic Reconstruction. Beijing: Science Press

Boucot AJ, Scotese CR, Chen X and Morley RJ. 2013. Phanerozoic Paleoclimate: An Atlas of lithologic Indicators of Climate. Tulsa: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1 - 173

Burke K, Steinberger B, Torsvik TH and Smethurst MA. 2008. Plume Generation Zones at the margins of Large Low Shear Velocity Provinces on the core-mantle boundary. *Earth and Planetary Science Letters*, 265(1-2): 49 - 60

Cao HH, Li SZ, Zhao SJ, Zheng QL, Wang PC, Zhang Y and Dai LM. 2016. Detrital zircon geochronology of Early Paleozoic sedimentary rocks in the North Qinling Orogen: Implications for the tectonic evolution of the eastern segment of northern boundary of Proto-Tethys Ocean. *Precambrian Research*, 279:1 - 16

Chen JL, Li DP, Li XL, Zhou XK, Wang XL, Wang XX, Dai XY, Du SX and Gao XP. 2004. The discovery and the features of the Heishan ophiolite in the south margin of Qimantage Mountain, eastern Kunlun. *Geology of Shaanxi*, 22(2): 35 - 46 (in Chinese with English abstract)

Chen NS, Sun M, Wang QY, Zhang KX, Wan YS and Chen HH. 2008. U-Pb dating of zircon from the Central Zone of the East Kunlun Orogen and its implications for tectonic evolution. *Science in China (Series D)*, 51(7): 929 - 938

Chen RB, Cui XF and Yang JF. 1999. The samarium-neodymium isotopic age of amphibolite in the Kuanping Terrane. *Henan Geology*, 17(4): 278 - 282 (in Chinese with English abstract)

Chen ZL. 1994. Tethyan geology for 100 years. *Tethyan Geology*, 18: 1 - 22 (in Chinese with English abstract)

Cheng YQ. 1994. Outline of Regional Geology of China. Beijing: Geological Publishing House, 216 - 221 (in Chinese)

Collins WJ. 2003. Slab pull, mantle convection, and Pangean assembly and dispersal. *Earth and Planetary Science Letters*, 205(3-4): 225 - 237

Diwu CR, Sun Y, Liu L, Zhang CL and Wang HL. 2010. The disintegration of Kuanping Group in North Qinling orogenic belts and Neoproterozoic N-MORB. *Acta Petrologica Sinica*, 26(7): 2025 - 2038 (in Chinese with English abstract)

Dong YP, Zhang GW, Zhao X and Yao AP. 2003. The Proterozoic tectonic framework and evolution of the North Qinling Orogen, central China. *Geotectonica et Metallogenia*, 27(2): 115 - 124 (in Chinese with English abstract)

Dong YP, Zhang GW, Hauenberger C, Neubauer F, Yang Z and Liu XM. 2011a. Palaeozoic tectonics and evolutionary history of the Qinling orogen: Evidence from geochemistry and geochronology of ophiolite and related volcanic rocks. *Lithos*, 122(1-2): 39 - 56

Dong YP, Zhang GW, Neubauer F, Liu XM, Genser J and Hauenberger C. 2011b. Tectonic evolution of the Qinling orogen, China: Review and synthesis. *Journal of Asian Earth Sciences*, 41(3): 213 - 237

Du LL, Geng YS, Yang CH, Wang XS, Zhou XW, Ren LD, Wang YB and Yang ZS. 2007. New understanding on Kangding Group on western margin of Yangtze Block: Evidence from geochemistry and chronology. *Acta Geologica Sinica*, 81(11): 1562 - 1577 (in Chinese with English abstract)

Duan JY and Ge XH. 1992. Tarim-Yangtze and its palaeogeographic pattern. *Journal of Changchun University of Earth Sciences*, 22(3): 260 - 268 (in Chinese with English abstract)

Feng YM, He SP and Yan J. 1994. The discovery and geological significance of sheeted dyke complex in the Early-Middle Ordovician ophiolite in the central section of the North Qilian Mountains, China. *Geological Review*, 40(3): 252 - 264 (in Chinese with English abstract)

Fu CL, Yan Z, Guo XQ, Niu ML, Xia WJ, Wang ZQ and Li JL. 2014. Geochemistry and SHRIMP zircon U-Pb age of diabases in the Lajishankou ophiolitic mélangé, South Qilian terrane. *Acta Petrologica Sinica*, 30(6): 1695 - 1706 (in Chinese with English abstract)

Gao CL, Huang ZG, Ye DL, Liu GX, Ji RS and Qin DY. 2005. Three paleo-oceans in the Early Paleozoic and their control to basins in China. *Petroleum Geology & Experiment*, 27(5): 439 - 448 (in Chinese with English abstract)

Gao YL, Wu XN and Zuo GZ. 1988. The characters and tectonic significance of ophiolite first discovered in the East Kunlun Area. *Bulletin of Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences*, 17 - 28 (in Chinese)

Ge XH and Liu JL. 1999. Formation and tectonic background of the northern Qilian Orogenic Belt. *Earth Science Frontiers*, 6(4): 223 - 230 (in Chinese with English abstract)

Golonka J, Gahagan L, Krobicki M, Marko F, Oszczytko N and Ślaczka A. 2006. Plate-tectonic evolution and paleogeography of the Circum-Carpathian region. In: Golonka J and Picha F J (eds.). *The Carpathians and Their Foreland: Geology and Hydrocarbon Resources*, 84. Tulsa: AAPG Memoir, 11 - 46

Guo FX. 2001. Paleozoic tectono-paleobiogeography of Xinjiang, China. *Xinjiang Geology*, 19(1): 20 - 26 (in Chinese with English abstract)

Hao ZW. 1999. Regional Stratigraphy of Southwest China. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1 - 220 (in Chinese)

Hong L and Xu ZB. 1997. Discuss for the tectonic evolution and magmatic series in the north margin of Qaidam Basin. *Geotectonica et Metallogenia*, 21(1): 41 - 50 (in Chinese with English abstract)

Hu JM, Meng QR, Shi YR and Qu HJ. 2005. SHRIMP U-Pb dating of zircons from granitoid bodies in the Songpan-Ganzi terrane and its implications. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 867 - 880 (in Chinese with English abstract)

Huang BC, Yang ZY, Otofujii YI and Zhu RX. 1999. Early Paleozoic paleomagnetic poles from the western part of the North China Block and their implications. *Tectonophysics*, 308(3): 377 - 402

Huang BC, Zhu RX, Otofujii Y and Yang ZY. 2000a. The Early

- Paleozoic paleogeography of the North China block and the other major blocks of China. *Chinese Science Bulletin*, 45(12): 1057–1065
- Huang BC, Otofujii YI, Yang ZY and Zhu RX. 2000b. Preliminary paleomagnetism results of study on the Middle Cambrian in the region of east edge of the Alashan and Hexi corridor terrane. *Chinese Journal of Geophysics*, 43(3): 424–432
- Huang BC, Piper JDA, Wang YC, He HY and Zhu RX. 2005. Paleomagnetic and geochronological constraints on the post-collisional northward convergence of the Southwest Tian Shan, NW China. *Tectonophysics*, 409(1–4): 107–124
- Jen CS and Hsieh KL. 1991. Proceedings of First International Symposium on Gondwana Dispersion and Asian Accretion: Geological Evolution of Eastern Tethys. Beijing: China University of Geosciences
- Kroner U and Romer RL. 2013. Two plates, Many subduction zones; The Variscan orogeny reconsidered. *Gondwana Research*, 24(1): 298–329
- Kroner U, Roscher M and Romer RL. 2016. Ancient plate kinematics derived from the deformation pattern of continental crust: Paleo- and Neo-Tethys opening coeval with prolonged Gondwana-Laurussia convergence. *Tectonophysics*, 681: 220–233
- Lai SC, Deng JF and Zhao HL. 1996a. Paleozoic ophiolites and its tectonic significance on north margin of Qaidam basin. *Geoscience*, 10(1): 18–28 (in Chinese with English abstract)
- Lai SC, Deng JF and Zhao HL. 1996b. Volcanism and Tectonic setting during Ordovician period on north margin of Qaidam. *Journal of Xi'an College of Geology*, 18(3): 8–14 (in Chinese with English abstract)
- Lai SC, Li YF and Qin JF. 2007. Geochemistry and LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Dongjiahe ophiolite complex from the western Bikou terrane. *Science in China (Series D)*, 50(Suppl. 2): 305–313
- Lei YH, Ma CQ and Wang GC. 2006. The basement of Baryan Har Basin is a part of western Yangtze platform; Evidence from granites. *Geological Journal of China Universities*, 12(3): 298–309 (in Chinese with English abstract)
- Lei YL, Li BL, Chen ZX, Shi X and Zhang CJ. 2010. Tectonic Evolution on the Western Border Area of Upper Yangtze Plate. Beijing: Petroleum Industry Press, 1–143 (in Chinese)
- Li C, Zhai QG, Dong YS, Zeng QG and Huang XP. 2007. Lungmu Co-Shanghu plate suture in the Qinghai-Tibet Plateau and records of the evolution of the Paleo-Tethys Ocean in the Qiangtang area, Tibet, China. *Geological Bulletin of China*, 26(1): 13–21 (in Chinese with English abstract)
- Li CY, Wang Q, Liu XY and Tang YQ. 1982. Explanatory Notes to the Tectonic Map of Asia. Beijing: Geological Publishing House, 1–49 (in Chinese)
- Li KS. 2002. Zircon U-Pb age of meta-basic lava from the Kuanping Rock Group, Shaanxi Province. *Geology of Shanxi*, 20(1): 72–78 (in Chinese with English abstract)
- Li PW, Gao R, Cui JW and Guan Y. 2005. Paleomagnetic results from the Three Rivers Region, SW China; Implications for the collisional and accretionary history. *Acta Geoscientia Sinica*, 26(5): 387–404 (in Chinese with English abstract)
- Li SZ, Yang Z, Zhao SJ, Li XY, Guo LL, Yu S, Liu X, Suo YH and Lan HY. 2016a. Global Early Paleozoic orogens (I): Collision-type orogeny. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 46(4): 945–967 (in Chinese with English abstract)
- Li SZ, Yang Z, Zhao SJ, Li XY, Suo YH, Guo LL, Yu S, Dai LM, Li SJ and Mu DL. 2016b. Global Early Paleozoic orogens (II): Subduction-accretionary-type orogeny. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 46(4): 968–1004 (in Chinese with English abstract)
- Li SZ, Li XY, Zhao SJ, Yang Z, Liu X, Guo LL, Wang YM, Hao Y, Zhang J and Hu MY. 2016c. Global Early Paleozoic orogens (III): Intracontinental orogen in South China. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 46(4): 1005–1025 (in Chinese with English abstract)
- Li SZ, Yang Z, Zhao SJ, Liu X, Yu S, Li XY, Guo LL, Suo YH, Dai LM, Guo RH and Zhang GW. 2016d. Global early Paleozoic Orogens (IV): Plate reconstruction and supercontinent Carolina. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 46(4): 1026–1041 (in Chinese with English abstract)
- Li WC, Pan GT, Hou ZQ, Mo XX, Wang LQ, Ding J and Xu Q. 2010. Archipelagic-Basin, Forming Collision Theory and Prospecting Techniques along the Niujiang-Lancangjiang-Jinshajiang Area in Southwest China. Beijing: Geological Publishing House, 1–461 (in Chinese)
- Li XH, Li ZX, Zhou HW, Liu Y and Liang XR. 2002. U-Pb zircon geochronology, geochemical and Nd isotopic study of neoproterozoic basaltic magmatism in western Sichuan: Petrogenesis and geodynamic implications. *Earth Science Frontiers*, 9(4): 329–338 (in Chinese with English abstract)
- Li XZ, Xu XS and Pan GT. 1995. Evolution of the Pan-Cathaysian landmass group and eastern Tethyan tectonic domain. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 15(4): 1–13 (in Chinese with English abstract)
- Li XZ and Yin FG. 2002. Comparative study of the geological structure of the Eastern and Western Kunlun Mountains. *Geological Bulletin of China*, 21(11): 777–783 (in Chinese with English abstract)
- Li YL, Zhang GW, Wang GB and Gao FQ. 1999. Geological characteristics and tectonic implication of the Xiaozhai sedimentary assemblages in the North Qinling. *Acta Sedimentologica Sinica*, 17(4): 596–600 (in Chinese with English abstract)
- Li ZX, Bogdanova SV, Collins AS, Davidson A, De Waele B, Ernst RE, Fitzsimons ICW, Fuck RA, Gladkochub DP, Jacobs J, Karlstrom KE, Lu S, Natapov LM, Pease V, Pisarevsky SA, Thrane K and Vernikovsky V. 2008. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: A synthesis. *Precambrian Research*, 160(1–2): 179–210
- Lin JL, Fuller M and Zhang WY. 1985. Preliminary Phanerozoic polar wander paths for the North and South China blocks. *Nature*, 313(6002): 444–449
- Lin YH, Zhang LF, Ji JQ, Wang QJ and Song SG. 2010. <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar isochron ages of lawsonite blueschists from Jiuguang in the northern Qilian Mountain, NW China, and their tectonic implications. *Chinese Science Bulletin*, 55(19): 2021–2027
- Liu BJ, Zhou MK and Wang RZ. 1990. Early Palaeozoic palaeogeography and tectonic evolution of South China. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, (1): 97–98 (in Chinese)
- Liu GH, Zhang SG, You ZD *et al.* 1993. Main Metamorphic Groups and Their Evolution in Qinling Orogenic Belt. Beijing: Geological Publishing House, 1–190 (in Chinese)
- Liu L, Chen DL, Wang C and Zhang CL. 2009. New progress on geochronology of high-pressure /ultrahigh-pressure metamorphic rocks from the South Altyn Tagh, the North Qaidam and the North Qinling orogenic, NW China and their geological significance. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 39(3): 472–479 (in Chinese with English abstract)
- Liu WZ, Xu SJ, Wang RC, Zhao LZ, Li HM, Wu JQ and Fang Z. 2005. Zircon U-Pb geochronology of Granulites in Panzhihua-Xichang Area: New evidence for the neoproterozoic geological evolution in the western margin of Yangtze Block. *Geological Review*, 51(4): 470–476 (in Chinese with English abstract)
- Lu SN, Li HK, Chen ZH, Hao GJ, Zhou HY, Guo JJ, Niu GH and Xiang ZQ. 2003. The Meso-Neoproterozoic Geological Evolution and the Response to the Rodinia Super Continent Events in the Qinling Region. Beijing: Geological Publishing House, 1–194 (in Chinese)
- Lu SN, Yu HF, Li HK, Chen ZH, Wang HC and Zhang CL. 2009. Precambrian Geology in the Central China Orogen (Western Part). Beijing: Geological Publishing House, 1–203 (in Chinese)
- Luo ZL. 1986. Is there a paleocontinental nucleus in central Sichuan. *Journal of Chengdu College of Geology*, 13(3): 65–73 (in Chinese with English abstract)

- Metcalfe I. 2009. Late Palaeozoic and Mesozoic tectonic and palaeogeographical evolution of SE Asia. Geological Society, London, Special Publications, 315(1): 7–23
- Munteanu M, Yao Y, Wilson AH, Chunnnett G, Luo YN and Zhao QX. 2006. The Gaojiacun mafic-ultramafic complex (Sichuan, SW China): Neoproterozoic magmatic activity at the western margin of the Yangtze Craton. *Acta Geologica Sinica*, 80(5): 705–723
- Nie SQ, Huang JS and Li SZ. 2015. Global plate reconstruction from Ordovician to Silurian: Kinematics test of their locations of three China's continents and ocean-continent configuration. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 35(4): 177–188 (in Chinese with English abstract)
- Pan GT, Chen ZL *et al.* 1997. Geological-Tectonic Evolution in the Eastern Tethys. Beijing: Geological Publishing House, 65–128 (in Chinese)
- Ren JS, Chen TY, Niu BG, Liu ZG and Liu FR. 1990. Tectonic Evolution of the Continental Lithosphere and Metallogeny in Eastern China and Adjacent Areas. Beijing: Science Press, 12–146 (in Chinese)
- Ren JS, Wang ZX and Chen BW. 2000. The Tectonic Map (1:5000000) of China and Adjacent Regions. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)
- Ren LD, Li C, Wang YB, Li M and Cai CH. 2016. Two types of metamorphism in the Qinling Complex, Tongbai area, Henan Province. *Acta Petrologica Sinica*, 32(6): 1596–1610 (in Chinese with English abstract)
- Scotese CR. 2004. A continental drift flipbook. *The Journal of Geology*, 112(6): 729–741
- Shi RD, Yang JS and Wu CL. 2003. The discovery of adakitic dacite in Early Palaeozoic island arc volcanic rocks on the northern margin of Qaidam basin and its geological significance. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 22(3): 229–236 (in Chinese with English abstract)
- Shu L and Charvet J. 1996. Kinematics and geochronology of the Proterozoic Dongxiang-Shexian ductile shear zone: With HP metamorphism and ophiolitic melange (Jiangnan region, South China). *Tectonophysics*, 267(1–4): 291–302
- Shu LS, Zhou GQ, Shi YS and Yin J. 1994. Study of the high pressure metamorphic blueschist and its Late Proterozoic age in the eastern Jiangnan belt. *Chinese Science Bulletin*, 39(14): 1200–1204
- Song SG, Zhang C, Li XH and Zhang LF. 2011. HP/UHP metamorphic time of eclogite in the Xitieshan terrane, North Qaidam UHPM belt, NW China. *Acta Petrologica Sinica*, 27(4): 1119–1197 (in Chinese with English abstract)
- Song ZB, Li ZP, Ren YX, Yang JG, Li YZ and Xie CL. 2005. Chronology and geological significance of Chelugou dacite porphyry in North Qilian Mountains. *Geological Science and Technology Information*, 24(3): 15–19 (in Chinese with English abstract)
- Stampfli GM and Borel GD. 2002. A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons. *Earth and Planetary Science Letters*, 196(1–2): 17–33
- Tang QL, Zhao ZQ, Ji HZ, Yang T and Niu L. 2010. Geological characteristics and metallogenic regulations of Erlangping Group of East Qinling Orogenic Belt. *Geology and Mineral Resources of South China*, (4): 45–54 (in Chinese with English abstract)
- Tao HX, He HY, Wang QQ and Pei XZ. 1993. Historical Evolution of Tectonics in North Rim of Yangzi Plate. Xi'an: Northwest University Press, 1–141 (in Chinese)
- Torsvik TH, Müller RD, Van Der Voo R, Steinberger B and Gaina C. 2008. Global plate motion frames: Toward a unified model. *Reviews of Geophysics*, 46(3): RG3004
- Veevers JJ. 2004. Gondwanaland from 650–500Ma assembly through 320Ma merger in Pangea to 185–100Ma breakup: Supercontinental tectonics via stratigraphy and radiometric dating. *Earth-Science Reviews*, 68(1–2): 1–132
- von Raumer JF and Stampfli GM. 2008. The birth of the Rheic Ocean—Early Palaeozoic subsidence patterns and subsequent tectonic plate scenarios. *Tectonophysics*, 461(1–4): 9–20
- Wan YS, Liu GH and Cong RX. 1990. Petrological characteristics of basalt in Shangluo area, Eastern Qinling Mountains. In: Liu GH and Zhang SG (eds.). *Collected Works of the Qinling-Dabashan Geology (II): Metamorphic Geology*. Beijing: Beijing Scientific and Technological Publishing House, 47–59 (in Chinese)
- Wang HC, Lu SN, MO XX, Li HK and Xin HT. 2005. An Early Paleozoic collisional orogen on the northern margin of the Qaidam basin, northwestern China. *Geological Bulletin of China*, 24(7): 603–612 (in Chinese with English abstract)
- Wang YJ, Zhang FF, Fan WM, Zhang GW, Chen SY, Cawood PA and Zhang AM. 2010. Tectonic setting of the South China Block in the Early Palaeozoic: Resolving intracontinental and ocean closure models from detrital zircon U-Pb geochronology. *Tectonics*, 29(6): TC6020
- Xia LQ, Xia ZC and Xu XY. 1996. Petrogenesis of the Marine Volcanic Rocks in the North Qilian, NW China. Beijing: Geological Publishing House, 12–146 (in Chinese)
- Xiang DP. 1982. The characteristics of geological structures in the Chilianshan region, China. *Scientia Geologica Sinica*, (4): 364–370 (in Chinese with English abstract)
- Xiao WJ, Windley BF, Sun S, Li JL, Huang BC, Han CM, Yuan C, Sun M and Chen HL. 2015. A tale of amalgamation of three Permo-Triassic collage systems in Central Asia: Oroclines, sutures, and terminal accretion. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 43: 477–507
- Xiao XC, Chen GM and Zhu ZZ. 1978. A preliminary study on the tectonics of ancient ophiolites in the Qilian Mountain, Northwest China. *Acta Geologica Sinica*, (4): 281–295 (in Chinese with English abstract)
- Xiao XC, Wang J, Su L and Song SG. 2003. A further discussion of the Kūda ophiolite, West Kunlun, and its tectonic significance. *Geological Bulletin of China*, 22(10): 745–750 (in Chinese with English abstract)
- Xin HT, Wang HC and Zhou SJ. 2006. Geological events and tectonic evolution of the north margin of the Qaidam Basin. *Geological Survey and Research*, 29(4): 311–320 (in Chinese with English abstract)
- Xu XH, Gao CL, Jiang XG *et al.* 2009. An Outline of Dynamic Analysis of Petroliferous Basins of China. Beijing: Petroleum Industry Press, 1–194 (in Chinese)
- Xu XS, Xu Q, Pan GT, Liu QH, Fan YN and He YX. 1996. Evolution of South China Continental and Contrast of Global Palaeogeography. Beijing: Geological Publishing House, 1–161 (in Chinese)
- Xu XS, Liu BJ, Mu CL, Wang ZJ and Qiu DZ. 2004. Marine Basin Analysis of Central-Western China and Petroleum Resources. Beijing: Geological Publishing House, 1–230 (in Chinese)
- Xu ZQ, Lu YL and Tang YQ. 1988. Forming of Mountain Chain of East Qinling: Deformation, Evolution and Plate Dynamics. Beijing: China Environmental Science Press, 1–193 (in Chinese)
- Xu ZQ, Yang JS, Wu CL, Li HB, Zang JX, Qi XX, Song SG, Wan YS, Chen W and Qiu HJ. 2003. Timing and mechanism of formation and exhumation of the Qaidam Ultra-Pressure Metamorphic Belt. *Acta Geologica Sinica*, 77(2): 163–176 (in Chinese with English abstract)
- Xu ZQ, Yang JS, Wu CL, Li HB, Zhang JX, Qi XX, Song SG and Qiu HJ. 2006. Timing and mechanism of formation and exhumation of the northern Qaidam ultrahigh-pressure metamorphic belt. *Journal of Asian Earth Sciences*, 28(2–3): 160–173
- Xu ZQ, Dilek Y, Cao H, Yang JS, Robinson P, Ma CQ, Li HQ, Jolivet M, Roger F and Chen XJ. 2015. Paleo-Tethyan evolution of Tibet as recorded in the East Cimmerides and West Cathaysides. *Journal of Asian Earth Sciences*, 105: 320–337
- Yan HQ, Qian ZZ, Liu JQ, Jiao JG and Xiao L. 2005. New evidences of micropaleoplants for the time of the Gaolan rock group in the eastern section of the central Qilian Mountains. *Geological Review*, 51(2): 113–119 (in Chinese with English abstract)
- Yan QR, Wang ZQ, Yan Z, Wang T, Chen JL, Xiang ZJ, Zhang ZQ and Jiang CF. 2008. Origin, age and tectonic implications of metamafic rocks in the Kuanping Group of the Qinling orogenic belt,

- China. Geological Bulletin of China, 27 (9): 1475 – 1492 (in Chinese with English abstract)
- Yan QR, Wang ZQ, Yan Z, Wang T, Zhang HY, Xiang ZJ, Jiang CF and Gao LD. 2009. Timing of the transformation from seafloor spreading on the south margin of the North China Block to subduction within the North Qinling Orogenic Belt. *Acta Geologica Sinica*, 83 (11): 1565 – 1583 (in Chinese with English abstract)
- Yang JS, Xu ZQ, Li HB, Wu CL, Cui JW, Zhang JX and Chen W. 1998. Discovery of eclogite at northern margin of Qaidam Basin, NW China. *Chinese Science Bulletin*, 43(20): 1755 – 1760
- Yang JS, Zhang JX, Meng FC, Shi RD, Wu CL, Xu ZQ, Li HB and Chen SY. 2003. Ultrahigh pressure eclogites of the North Qaidam and Altun Mountains, NW China and their protoliths. *Earth Science Frontiers*, 10(3): 291 – 314 (in Chinese with English abstract)
- Yang Z, Zhao SJ, Li SZ, Yu Shan, Sun WJ, Xu LQ, Liu X, Lou D, Wang XB and Li T. 2015. Structural constrain to hydrocarbon accumulation in the Wulungu depression of the Junggar Basin. *Chinese Journal of Geology*, 50(2): 536 – 552 (in Chinese with English abstract)
- Yang ZY, Ma XH, Huang BC, Sun ZM and Zhou YX. 1998. Apparent polar wander path and tectonic movement of the North China Block in Phanerozoic. *Science in China (Series D)*, 41(Suppl. 2): 51 – 65
- Yang ZY, Otofujii YI, Sun ZM and Huang BC. 2002. Magnetostratigraphic constraints on the Gondwanan origin of North China; Cambrian/Ordovician boundary results. *Geophysical Journal International*, 151(1): 1 – 10
- Yu S, Li SZ, Zhao SJ, Cao HH and Suo YH. 2015. Long history of a Grenville orogen relic—the North Qinling terrane; Evolution of the Qinling orogenic belt from Rodinia to Gondwana. *Precambrian Research*, 271: 98 – 117
- Zhang BR, Gao S, Zhang HF and Han YW. 2002. Geochemistry of the Qinling Orogenic Belt. Beijing: Science Press, 1 – 188 (in Chinese)
- Zhang GB, Song SG, Zhang LF, Niu YL and Shu GM. 2005. Ophiolite-type mantle peridotite from Shaliuhe, North Qaidam UHPM belt, NW China and its tectonic implications. *Acta Petrologica Sinica*, 21 (4): 1049 – 1058 (in Chinese with English abstract)
- Zhang GB and Zhang LF. 2011. Rodingite from oceanic lithology of Shaliuhe terrane in North Qaidam UHPM belt and its geological implication. *Earth Science Frontiers*, 18 (2): 151 – 157 (in Chinese with English abstract)
- Zhang GW, Mei ZC, Zhou DW, Sun Y and Yu ZP. 1988. Formation and Evolution of the Qinling Orogen Belt. Xi'an: Northwest University Press, 1 – 74 (in Chinese)
- Zhang GW, Zhang ZQ and Dong YP. 1995. Nature of main tectonic-lithostratigraphic units of the Qinling Orogen; Implications for their tectonic evolution. *Acta Petrologica Sinica*, 11(2): 101 – 114 (in Chinese with English abstract)
- Zhang GW, Zhang BR, Yuan XC and Xiao QH. 2001. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics. Beijing: Science Press, 1 – 854 (in Chinese)
- Zhang JX and Xu ZQ. 1995. Caledonian subduction-accretionary complex/volcanic arc zone and its deformation features in the middle sector of North Qilian Mountains. *Acta Geoscientia Sinica*, 16(2): 153 – 163 (in Chinese with English abstract)
- Zhang JX, Meng FC, Yu SY and Qi XX. 2007. Metamorphic history recorded in high pressure mafic granulites in the Luliangshan Mountains to the north of Qaidam Basin, Northwest China; Evidence from petrology and zircon SHRIMP geochronology. *Earth Science Frontiers*, 14(1): 85 – 97 (in Chinese with English abstract)
- Zhang JX, Yu SY, Li YS, Yu XX, Lin YH and Mao XH. 2015. Subduction, accretion and closure of Proto-Tethyan Ocean; Early Paleozoic accretion/collision orogeny in the Altun-Qilian-North Qaidam orogenic system. *Acta Petrologica Sinica*, 31(12): 3531 – 3554 (in Chinese with English abstract)
- Zhang QS. 1980. Metamorphic Geology of East Qinling, China. Changchun: Jilin People's Press, 1 – 223 (in Chinese)
- Zhang Z, Li SZ, Cao HH, Somerville ID, Zhao SJ and Yu S. 2015. Origin of the North Qinling microcontinent and Proterozoic geotectonic evolution of the Kuanping Ocean, Central China. *Precambrian Research*, 266: 179 – 193
- Zhang ZC, Zhou MF, Robinson PT, Mao JW, Yang JM and Zuo GC. 2001. SHRIMP dating of the Aoyougou ophiolite in the west sector of the North Qilian Mountains and its geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 17(2): 222 – 226 (in Chinese with English abstract)
- Zhang ZQ, Liu DY and Fu GM. 1994. Isotopic Geochronology of Metamorphic Rocks in the North Qinling Orogenic Belt. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 231 (in Chinese)
- Zhang ZQ and Zhang Q. 1995. Geochemistry of metamorphosed Late Proterozoic Kuanping ophiolite in the northern Qinling, China. *Acta Petrologica Sinica*, 11 (Suppl.): 165 – 177 (in Chinese with English abstract)
- Zhao SJ, Li SZ, Liu X, Santosh M, Somerville DI, Cao HH, Yu S, Zhang Z and Guo LL. 2015. The northern boundary of the proto-tethys ocean; Constraints from structural analysis and U-Pb zircon geochronology of the North Qinling Terrane. *Journal of Asian Earth Sciences*, 113: 560 – 574
- Zhao SJ, Li SZ, Yu S, Li XY, Cao HH, Liu X and Wang PC. 2016. Proto-Tethys Ocean in East Asia (III): Structures of ductile shear zones in the North Qinling. *Acta Petrologica Sinica*, 32(9): 2645 – 2655 (in Chinese with English abstract)
- Zhao YJ, Yuan C, Zhou MF, Yan DP, Long XP and Li JL. 2007. Geochemistry and petrogenesis of Laojungou and Mengtonggou granites in western Sichuan, China; Constraints on the nature of Songpan-Ganzi basement. *Acta Petrologica Sinica*, 23(5): 995 – 1006 (in Chinese with English abstract)
- Zheng JK. 1992. Regional tectonic evolution of East Kunlun. *Qinghai Dizhi*, 1(1): 15 – 25 (in Chinese with English abstract)
- Zhong DL. 1998. Paleo-Tethyan Orogenic Belt in West Sichuan and West Yunnan. Beijing: Science Press, 1 – 231 (in Chinese)
- Zhu DC, Zhao ZD, Niu YL, Dilek Y, Hou ZQ and Mo XX. 2013. The origin and pre-Cenozoic evolution of the Tibetan Plateau. *Gondwana Research*, 23(4): 1429 – 1454
- Zhu RX, Yang ZY, Wu HN, Ma XH, Huang BC, Meng ZF and Fang DJ. 1998. Paleomagnetic constraints on the tectonic history of the major blocks of China during the Phanerozoic. *Science in China (Series D)*, 41(Suppl. 2): 1 – 19
- Zhuang RX and Li F. 2006. The characteristics and formation environment Tanjianshan Group volcanic rock of north margin of Chaidamu basin. *Geology of Yunnan*, 25 (2): 209 – 217 (in Chinese with English abstract)
- Ziegler AM, Scotese CR, McKerrow WS, Johnson ME and Bambach RK. 1979. Paleozoic paleogeography. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 7: 473 – 502

## 附中文参考文献

- 安三元, 胡能高. 1994. 北秦岭裂陷的形成与变质作用. 西安: 西北大学出版社, 1 – 203
- 陈隽璐, 黎敦朋, 李新林, 周小康, 王向利, 王欣欣, 戴新宇, 杜少喜, 高小平. 2004. 东昆仑祁漫塔格山南缘黑山蛇绿岩的发现及其特征. *陕西地质*, 22(2): 35 – 46
- 陈能松, 孙敏, 王勤燕, 张克信, 万渝生, 陈海红. 2008. 东昆仑造山带中带的锆石 U-Pb 定年与构造演化启示. *中国科学(D辑)*, 38(6): 657 – 666
- 陈瑞保, 崔霄峰, 杨俊峰. 1999. 宽坪岩群斜长角闪岩 Sm-Nd 同位素年龄. *河南地质*, 17(4): 278 – 282
- 陈智梁. 1994. 特提斯地质一百年. *沉积与特提斯地质*, 18: 1 – 22
- 程裕淇. 1994. 中国区域地质概论. 北京: 地质出版社, 216 – 221
- 第五春荣, 孙勇, 刘良, 张成立, 王洪亮. 2010. 北秦岭宽坪岩群的解体及新元古代 N-MORB. *岩石学报*, 26(7): 2025 – 2038

- 董云鹏, 张国伟, 赵霞, 姚安平. 2003. 北秦岭元古代构造格架与演化. 大地构造与成矿学, 27(2): 115-124
- 杜利林, 耿元生, 杨崇辉, 王新社, 周喜文, 任留东, 王彦斌, 杨铸生. 2007. 扬子地台西缘康定群的再认识: 来自地球化学和年代学证据. 地质学报, 81(11): 1562-1577
- 段吉业, 葛肖虹. 1992. 论塔里木-扬子板块及其古地理格局. 长春地质学院学报, 22(3): 260-268
- 冯益民, 何世平, 阎军. 1994. 北祁连山中段早中奥陶世蛇绿岩中席状岩墙杂岩的发现及其地质意义. 地质论评, 40(3): 252-264
- 付长奎, 闫臻, 郭现轻, 牛漫兰, 夏文静, 王宗起, 李继亮. 2014. 拉脊山口蛇绿混杂岩中辉绿岩的地球化学特征及 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄. 岩石学报, 30(6): 1695-1706
- 高长林, 黄泽光, 叶德燎, 刘光祥, 吉让寿, 秦德余. 2005. 中国早古生代三大古海洋及其对盆地的控制. 石油实验地质, 27(5): 439-448
- 高延林, 吴向农, 左国朝. 1988. 东昆仑山清水泉蛇绿岩特征及其大地构造意义. 中国地质科学院西安地质矿产研究所刊, 17-28
- 葛肖虹, 刘俊来. 1999. 北祁连造山带的形成与背景. 地学前缘, 6(4): 223-230
- 郭福祥. 2001. 新疆古生代构造-生物古地理. 新疆地质, 19(1): 20-26
- 郝子文. 1999. 西南区区域地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1-220
- 洪流, 徐志斌. 1997. 试论柴北缘岩浆系列及其大地构造演化. 大地构造与成矿学, 21(1): 41-50
- 胡健民, 孟庆任, 石玉若, 渠洪杰. 2005. 松潘-甘孜地体内花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其构造意义. 岩石学报, 21(3): 867-880
- 赖绍聪, 邓晋福, 赵海玲. 1996a. 柴达木北缘古生代蛇绿岩及其构造意义. 现代地质, 10(1): 18-28
- 赖绍聪, 邓晋福, 赵海玲. 1996b. 柴达木北缘奥陶纪火山作用与构造机制. 西安地质学院学报, 18(3): 8-14
- 赖绍聪, 李永飞, 秦江锋. 2007. 碧口群西段董家河蛇绿岩地球化学及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年. 中国科学(D辑), 37(Suppl. 1): 262-270
- 雷裕红, 马昌前, 王国灿. 2006. 巴颜喀拉沉积盆地基底为扬子地台西缘的一部分: 来自花岗岩的证据. 高校地质学报, 12(3): 298-309
- 雷永良, 李本亮, 陈竹新, 石昕, 张朝军. 2010. 上扬子板块西部边界地区构造演化. 北京: 石油工业出版社, 1-143
- 李才, 翟庆国, 董永胜, 曾庆高, 黄小鹏. 2007. 青藏高原原木错-双湖板块缝合带与羌塘古特提斯洋演化记录. 地质通报, 26(1): 13-21
- 李春昱, 王荃, 刘雪亚, 汤耀庆. 1982. 亚洲大地构造图说明书. 北京: 地图出版社, 1-49
- 李靠社. 2002. 陕西宽坪岩群变基性熔岩锆石 U-Pb 年龄. 陕西地质, 20(1): 72-78
- 李朋武, 高锐, 崔军文, 管焯. 2005. 西藏和云南三江地区特提斯洋盆演化历史的古地磁分析. 地球学报, 26(5): 387-404
- 李三忠, 杨朝, 赵淑娟, 李玺瑶, 郭玲莉, 余珊, 刘鑫, 索艳慧, 兰浩圆. 2016a. 全球早古生代造山带(I): 碰撞型造山. 吉林大学学报(地球科学版), 46(4): 945-967
- 李三忠, 杨朝, 赵淑娟, 李玺瑶, 索艳慧, 郭玲莉, 余珊, 戴黎明, 李少俊, 牟墩玲. 2016b. 全球早古生代造山带(II): 俯冲-增生型造山. 吉林大学学报(地球科学版), 46(4): 968-1004
- 李三忠, 李玺瑶, 赵淑娟, 杨朝, 刘鑫, 郭玲莉, 王永明, 郝义, 张剑, 胡梦颖. 2016c. 全球早古生代造山带(III): 华南陆内造山. 吉林大学学报(地球科学版), 46(4): 1005-1025
- 李三忠, 杨朝, 赵淑娟, 刘鑫, 余珊, 李玺瑶, 郭玲莉, 索艳慧, 戴黎明, 郭润华, 张国伟. 2016d. 全球早古生代造山带(IV): 板块重建与 Carolina 超大陆. 吉林大学学报(地球科学版), 46(4): 1026-1041
- 李文昌, 潘桂棠, 侯增谦, 莫宣学, 王立全, 丁俊, 徐强. 2010. 西南“三江”多岛弧盆-碰撞造山成矿理论与勘查技术. 北京: 地质出版社, 1-461
- 李献华, 李正祥, 周汉文, 刘颖, 梁细荣. 2002. 川西新元古代玄武质岩浆岩的锆石 U-Pb 年代学、元素和 Nd 同位素研究: 岩石成因与地球动力学意义. 地学前缘, 9(4): 329-338
- 李兴振, 许效松, 潘桂棠. 1995. 泛华夏大陆群与东特提斯构造域演化. 岩相古地理, 15(4): 1-13
- 李兴振, 尹福光. 2002. 东昆仑与西昆仑地质构造对比研究之刍议. 地质通报, 21(11): 777-783
- 李亚林, 张国伟, 王根宝, 高凤泉. 1999. 北秦岭小寨变质沉积岩系的地质特征及其构造意义. 沉积学报, 17(4): 596-600
- 林宜慧, 张立飞, 季建清, 王乾杰, 宋述光. 2010. 北祁连山九个泉硬柱石蓝片岩<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年龄及其地质意义. 科学通报, 55(17): 1710-1716
- 刘宝珺, 周名魁, 王汝植. 1990. 中国南方早古生代古地理轮廓及构造演化. 中国地质科学院院报, 20(1): 97-98
- 刘国惠, 张寿广, 游振东等. 1993. 秦岭造山带主要变质岩群及变质演化. 北京: 地质出版社, 1-190
- 刘良, 陈丹玲, 王超, 张成立. 2009. 阿尔金-柴北缘与北秦岭高压-超高压岩石年代学研究进展及其构造地质意义. 西北大学学报(自然科学版), 39(3): 472-479
- 刘文中, 徐士进, 王汝成, 赵连泽, 李惠民, 吴俊奇, 方中. 2005. 攀西麻粒岩锆石 U-Pb 年代学: 新元古代扬子陆块西缘地质演化新证据. 地质论评, 51(4): 470-476
- 陆松年, 李怀坤, 陈志宏, 郝国杰, 周红英, 郭进京, 牛广华, 相振群. 2003. 秦岭中-新元古代地质演化及对 Rodinia 超级大陆事件的响应. 北京: 地质出版社, 1-194
- 陆松年, 于海峰, 李怀坤, 陈志宏, 王惠初, 张传林. 2009. 中央造山带(中-西部)前寒武纪地质. 北京: 地质出版社, 1-203
- 罗志立. 1986. 川中是一个古陆核吗. 成都地质学院学报, 13(3): 65-73
- 聂仕琪, 黄金水, 李三忠. 2015. 奥陶纪到志留纪全球板块重建: 中国三大陆块位置及其洋陆格局的运动学检验. 海洋地质与第四纪地质, 35(4): 177-188
- 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振等. 1997. 东特提斯地质构造形成演化. 北京: 地质出版社, 65-128
- 任纪舜, 陈廷愚, 牛宝贵, 刘志刚, 刘凤仁. 1990. 中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化与成矿. 北京: 科学出版社, 12-146
- 任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚. 2000. 1: 500 万中国及邻区大地构造图. 北京: 地质出版社
- 任留东, 李崇, 王彦斌, 李森, 蔡春红. 2016. 桐柏秦岭岩群的两类变质作用. 岩石学报, 32(6): 1596-1610
- 史仁灯, 杨经绥, 吴才来. 2003. 柴北缘早古生代岛弧火山岩中埃

- 达克质英安岩的发现及其地质意义. 岩石矿物学杂志, 22(3): 229-236
- 舒良树, 周国庆, 施央申, 殷俊. 1993. 江南造山带东段高压变质蓝片岩及其地质时代研究. 科学通报, 38(20): 1879-1882
- 宋述光, 张聪, 李献华, 张立飞. 2011. 柴北缘超高压带中锡铁山榴辉岩的变质时代. 岩石学报, 27(4): 1191-1197
- 宋忠宝, 李智佩, 任有祥, 杨建国, 栗亚芝, 谢春林. 2005. 北祁连山车路沟英安斑岩的年代学及地质意义. 地质科技情报, 24(3): 15-19
- 汤清龙, 赵志强, 吉恒召, 杨涛, 牛磊. 2010. 东秦岭二郎坪群地质特征及成矿规律. 华南地质与矿产, (4): 45-54
- 陶洪祥, 何恢亚, 王全庆, 裴先治. 1993. 扬子板块北缘构造演化史. 西安: 西北大学出版社, 1-141
- 万渝生, 刘国惠, 从日祥. 1990. 东秦岭商洛地区宽坪群变质玄武岩的地球化学特征. 见: 刘国惠, 张寿广编. 秦岭-大巴山论文集(一)变质地质. 北京: 北京科学技术出版社, 47-59
- 王惠初, 陆松年, 莫宣学, 李怀坤, 辛后田. 2005. 柴达木盆地北缘早古生代碰撞造山系统. 地质通报, 24(7): 603-612
- 夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 1996. 北祁连山海相火山岩岩石成因. 北京: 地质出版社, 12-146
- 向鼎璞. 1982. 祁连山地质构造特征. 地质科学, (4): 364-370
- 肖序常, 陈国铭, 朱志直. 1978. 祁连山古蛇绿岩带的地质构造意义. 地质学报, (4): 281-295
- 肖序常, 王军, 苏犁, 宋述光. 2003. 再论西昆仑地蛇绿岩及其构造意义. 地质通报, 22(10): 745-750
- 辛后田, 王惠初, 周世军. 2006. 柴北缘的大地构造演化及其地质事件群. 地质调查与研究, 29(4): 311-320
- 徐旭辉, 高长林, 江兴歌等. 2009. 中国含油气盆地动态分析概论. 北京: 石油工业出版社, 1-194
- 许效松, 徐强, 潘桂棠, 刘巧红, 范影年, 何原相. 1996. 中国南大陆演化与全球古地理对比. 北京: 地质出版社, 1-161
- 许效松, 刘宝珺, 牟传龙, 汪正江, 丘东洲. 2004. 中国中西部海相盆地分析与油气资源. 北京: 地质出版社, 1-230
- 许志琴, 卢一伦, 汤耀庆. 1988. 东秦岭复合山链的形成: 变形、演化及板块动力学. 北京: 中国环境出版社, 1-193
- 许志琴, 杨经绥, 吴才来, 李海兵, 张建新, 戚学祥, 宋述光, 万渝生, 陈文, 邱海峻. 2003. 柴达木北缘超高压变质带形成与折返的时限及机制. 地质学报, 77(2): 163-176
- 闫海卿, 钱壮志, 刘继庆, 焦建刚, 肖林. 2005. 中祁连山东段皋兰岩群地质时代的微古植物新证据. 地质论评, 51(2): 113-119
- 闫全人, 王宗起, 闫臻, 王涛, 陈隽璐, 向忠金, 张宗清, 姜春发. 2008. 秦岭造山带宽坪群中的变铁镁质岩的成因、时代及其构造意义. 地质通报, 27(9): 1475-1492
- 闫全人, 王宗起, 闫臻, 王涛, 张宏远, 向忠金, 姜春发, 高联达. 2009. 从华北陆块南缘大洋扩张到北秦岭造山带板块俯冲的转换时限. 地质学报, 83(11): 1565-1583
- 杨经绥, 许志琴, 李海兵, 吴才来, 崔军文, 张建新, 陈文. 1998. 我国西部柴北缘地区发现榴辉岩. 科学通报, 43(14): 1544-1549
- 杨经绥, 张建新, 孟繁聪, 史仁灯, 吴才来, 许志琴, 李海兵, 陈松永. 2003. 中国西部柴北缘-阿尔金的超高压变质榴辉岩及其原岩性质探讨. 地质前缘, 10(3): 291-314
- 杨朝, 赵淑娟, 李三忠, 余珊, 孙文军, 许立青, 刘鑫, 楼达, 王学斌, 李涛. 2015. 准噶尔盆地东北缘乌伦古坳陷油气成藏的构造制约. 地质科学, 50(2): 536-552
- 张本仁, 高山, 张宏飞, 韩吟文. 2002. 秦岭造山带地球化学. 北京: 科学出版社, 1-188
- 张贵宾, 宋述光, 张立飞, 牛耀龄, 舒桂明. 2005. 柴北缘超高压变质带沙柳河蛇绿岩型地幔橄辉岩及其意义. 岩石学报, 21(4): 1049-1058
- 张贵宾, 张立飞. 2011. 柴北缘沙柳河地区洋壳超高压变质单元中异斜钙榴岩的发现及其地质意义. 地质前缘, 18(2): 151-157
- 张国伟, 梅志超, 周鼎武, 孙勇, 于在平. 1988. 秦岭造山带的形成及其演化. 西安: 西北大学出版社, 1-74
- 张国伟, 张宗清, 董云鹏. 1995. 秦岭造山带主要构造岩石地层单元的构造性质及其大地构造意义. 岩石学报, 11(2): 101-114
- 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 肖庆辉. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学. 北京: 科学出版社, 1-854
- 张建新, 许志琴. 1995. 北祁连中段加里东俯冲-增生杂岩/火山弧带及其变形特征. 地球学报, 16(2): 153-163
- 张建新, 孟繁聪, 于胜尧, 戚学祥. 2007. 柴北缘绿梁山高压基性麻粒岩的变质演化历史: 岩石学及锆石 SHRIMP 年代学证据. 地质前缘, 14(1): 85-97
- 张建新, 于胜尧, 李云帅, 喻星星, 林宜慧, 毛小红. 2015. 原特提斯洋的俯冲、增生及闭合: 阿尔金-祁连-柴北缘造山系早古生代增生/碰撞造山作用. 岩石学报, 31(12): 3531-3554
- 张秋生. 1980. 中国东秦岭变质地质. 长春: 吉林人民出版社, 1-223
- 张招崇, 周美付, Robinson PT, 毛景文, 杨建民, 左国朝. 2001. 北祁连山西段熬油沟蛇绿岩 SHRIMP 分析结果及其地质意义. 岩石学报, 17(2): 222-226
- 张宗清, 刘敦一, 付国民. 1994. 北秦岭变质地层同位素年代研究. 北京: 地质出版社, 1-231
- 张宗清, 张旗. 1995. 北秦岭晚元古代宽坪蛇绿岩中变质基性火山岩的地球化学特征. 岩石学报, 11(增): 165-177
- 赵淑娟, 李三忠, 余珊, 李玺瑶, 曹花花, 刘鑫, 王鹏程. 2016. 东亚原特提斯洋(III): 北秦岭韧性剪切带构造特征. 岩石学报, 32(9): 2645-2655
- 赵永久, 袁超, 周美夫, 颜丹平, 龙晓平, 李继亮. 2007. 川西老君沟和孟通沟花岗岩的地球化学特征、成因机制及对松潘-甘孜地体基底性质的制约. 岩石学报, 23(5): 995-1006
- 郑健康. 1992. 东昆仑区域构造的发展演化. 青海地质, 1(1): 15-25
- 钟大赉. 1998. 滇川西部古特提斯造山带. 北京: 科学出版社, 1-231
- 朱日祥, 杨振宇, 吴汉宁, 马醒华, 黄宝春, 孟自芳, 方大钧. 1998. 中国主要地块显生宙古地磁视极移曲线与地块运动. 中国科学(D辑), 28(增): 1-16
- 庄儒新, 李峰. 2006. 柴达木盆地北缘滩间山群火山岩及形成环境. 云南地质, 25(2): 209-217