



移动阅读

傅恒, 韩建辉, 孙煜新, 等, 2024. 特提斯造山带[J]. 沉积与特提斯地质, 44(1): 100–133. doi: [10.19826/j.cnki.1009-3850.2023.08008](https://doi.org/10.19826/j.cnki.1009-3850.2023.08008)

FU H, HAN J H, SUN Y X, et al., 2024. Tethys orogenic belt[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 44(1): 100–133. doi: [10.19826/j.cnki.1009-3850.2023.08008](https://doi.org/10.19826/j.cnki.1009-3850.2023.08008)

## 特提斯造山带

傅恒, 韩建辉, 孙煜新, 王荣刚, 熊锐, 周杨, 谢才铸, 苏芳芳

(成都理工大学能源学院, 四川 成都 610059)

**摘要:** 特提斯造山带, 是欧亚大陆主要克拉通之间, 洋壳俯冲消亡过程中包含的洋板块及微陆块, 发生过强烈的构造搬运和构造混杂的构造(区)带。目前对特提斯(主要是原特提斯)的争议较大, 本文综合利用前人构造地质、岩石学特征、构造年代学、生物古地理和板块运动学等最新成果, 将特提斯造山带划分为元古代—古生代原特提斯造山带、晚古生代—三叠纪古特提斯造山带、三叠纪至新生代新特提斯造山带。原特提斯造山带, 由中亚造山带(钦察弧)、乌拉尔造山带和秦-祁-昆造山带组成, 中亚新元古代—古生代造山带是原特提斯主洋盆(古亚洲洋)弧盆系, 乌拉尔新元古代—古生代造山带是原特提斯西部边缘弧盆系, 秦-祁-昆新元古代—早古生代造山带是原特提斯东部(现南部)边缘弧盆系。古特提斯造山带, 北界为断续分布的斯塔夫罗波尔-曼格什拉克-阿姆达尔亚晚古生代缝合带—康西瓦(南昆仑)-阿尼玛卿-勉略(南秦岭)晚古生代缝合带, 南界为高加索-赫拉特—澜沧江三叠纪缝合带, 是丝绸之路晚古生代—三叠纪岩浆弧-弧碰撞(区)带。新特提斯造山带, 位于古特提斯造山带南侧, 南界为扎格罗斯缝合带( $K_2$ —E)—雅鲁藏布江缝合带( $J_3$ — $E_2$ ), 是中生代—新生代不同时间拼贴到劳(欧)亚大陆南缘的弧盆系。

**关键词:** 特提斯造山带; 原特提斯; 古特提斯; 新特提斯

中图分类号: P542

文献标识码: A

## Tethys orogenic belt

FU Heng, HAN Jianhui, SUN Yuxin, WANG Ronggang, XIONG Rui, ZHOU Yang,  
XIE Caizhu, SU Fangfang

(College of Energy Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** The Tethys orogenic belt is a tectonic zone between the main cratons of the Eurasian continent, consisting of multiple orogenic belts comprised of Ocean Plates and Microcontinents associated with subduction and disappearance of Oceanic crust, which involved strong tectonic movement and mixing. At present, the Tethys (mainly the Proto-Tethys) is in great dispute. In this paper, the Tethys orogenic belt is divided into the Proterozoic-Paleozoic Proto-Tethys orogenic belt, the late Paleozoic-Triassic Paleo-Tethys orogenic belt, and the Triassic-Cenozoic Neo-Tethys orogenic belt based on the latest achievements of predecessors in structural geology, petrology characteristics, tectonic chronology, biological paleogeography and plate kinematics. The Proto-Tethys orogenic belt is composed of the Central Asia orogenic belt (Kipchak arc), Ural orogenic belt and the Qin-Qi-Kun orogenic belt. The Central Asia Neoproterozoic-Paleozoic orogenic belt is the Proto-Tethys main ocean basin (Paleo Asian Ocean) arc basin system, the Ural Neoproterozoic-Paleozoic orogenic belt is the Proto-Tethys western marginal arc basin system, and the Qin-Qi-Kun Neoproterozoic-

收稿日期: 2023-05-17; 改回日期: 2023-06-27; 责任编辑: 黄春梅; 科学编辑: 张向飞

作者简介: 傅恒(1962—), 教授级高级工程师, 专业方向为石油地质学、沉积学、层序地层学、有机地球化学。

E-mail: [674303288@qq.com](mailto:674303288@qq.com)

资助项目: 中国石油天然气股份有限公司“滨里海盆地深层与新层油气富集规律”(2021)

Early Paleozoic orogenic belt is the Proto-Tethys eastern (now southern) marginal arc basin system. The Paleo-Tethys orogenic belt is bounded by the discontinuous Stavropol-Mangeshlak-Amdalia late Paleozoic suture zone—Kangxiwar (South Kunlun) Anemaqen-Mianlue (South Qinling) late Paleozoic suture zone in the north, and the Caucasus-Herat—Lancang River Triassic suture zone in the south, which is the late Paleozoic-Triassic magmatic arc folding collision (area) zone of the Silk Road. The Neo-Tethys orogenic belt, located in the south of the Paleo-Tethys orogenic belt, is bounded by the Zagros suture zone (K<sub>2</sub>-E) - the Yarlung Zangbo suture zone (J<sub>3</sub>-E<sub>2</sub>) in the south. It is an arc-basin system that was spliced to the southern margin of the Laurasia (Eurasian) continent in the Mesozoic-Cenozoic at different times.

**Key words:** Tethys orogenic belt; Proto-Tethys; Paleo-Tethys; Neo-Tethys

## 0 引言

特提斯(Tethys), 古希腊海神俄克阿诺斯(Oceanus)的妹妹和妻子, 首次被 Suess(1893)用以命名小亚细亚经喜马拉雅到东印度(现印度尼西亚)已消失的大洋, 特提斯洋的消亡形成了现今阿尔卑斯经喜马拉雅至东南亚的一系列巨型山脉(Şengör, 1984; 陈智梁, 1994)。最初提出的特提斯概念是指中生代以来横贯欧亚大陆向东开口的大洋, 位于北方安加拉大陆(Angara)与南方冈瓦纳大陆(Gondwana)之间, 时代上相当于新特提斯(Neo-Tethys), 该区域新特提斯之前的古大洋称古特提斯(Paleo-Tethys), 古特提斯之前还存在更早的原特提斯(Proto-Tethys)(Şengör, 1984; 李兴振, 潘桂棠, 1990; 陈智梁, 1994; 潘桂棠等, 1994, 1996, 2012; 许效松等, 1996; 李兴振等, 1999; 莫宣学、潘桂棠, 2006; 李三忠等, 2016; 吴福元等, 2020; 潘桂棠等, 2022; 余星等, 2022)。

造山带, 其结构与演化历程复杂多样, 不同类型其形成机制也不同, 但各类造山带在演化中存在的共同点, 是洋板块的形成与消亡共存于各类造山带的演化历程中, 并在洋壳俯冲消亡过程中发生过强烈的构造搬运和构造混杂。洋板块主要由洋盆和活动陆缘两大类地层建造组成, 洋盆可进一步划分出洋中脊海岭、深海平原、海山和洋内弧, 活动陆缘可进一步划分出俯冲增生楔、弧前盆地、火山岛弧、弧背盆地、弧间盆地和弧后盆地(Isozaki et al., 1990; 张克信等, 2016)。除洋板块之外, 造山带内还常常包含微陆块组成的裂离地块(张克信等, 2016)。

特提斯造山带, 就是新元古代—显生宙分3阶段(原特提斯、古特提斯和新特提斯), 在欧亚大陆主要克拉通(古陆核)之间, 洋壳俯冲消亡过程中包含的洋板块(洋盆和活动陆缘)及微陆块, 发生过强

烈的构造搬运和构造混杂的构造(区)带。

以俯冲带蛇绿岩为标志的缝合带, 是欧亚大陆板块构造区划的主要依据。欧亚大陆蛇绿岩分布有3个显著特点(图1)。第一, 欧亚大陆蛇绿岩主要分布在克拉通之间的3个巨型造山带中, 时代总体从北向南变新, 如波罗的克拉通和西伯利亚克拉通之间、塔里木克拉通和华北克拉通以北的新元古代—古生代原特提斯造山带(含乌拉尔新元古代—古生代造山带和秦-祁-昆早古生代造山带), 波罗的克拉通、塔里木克拉通、华北克拉通、华南(扬子)克拉通、印支克拉通以南与阿拉伯克拉通、印度克拉通以北的晚古生代—中生代—新生代古特提斯造山带和新特提斯造山带。第二, 乌拉尔造山带和秦-祁-昆早古生代造山带以外的原特提斯造山带称中亚造山带, 呈面状分布新元古代—早古生代蛇绿岩, 中间被带状分布的晚古生代蛇绿岩(查拉缝合带—斋桑-额尔齐斯缝合带)分隔开。第三, 从阿尔卑斯—地中海经黑海、里海、青藏高原(含喜马拉雅)至印度尼西亚的古-新特提斯造山带呈带状分布, 从北向南时代变新, 以三叠纪蛇绿岩(高加索缝合带—赫拉特缝合带—澜沧江缝合带)为界, 北为古特提斯造山带, 南为新特提斯造山带。

## 1 特提斯造山带构造特征

特提斯造山带按形成时间排序, 依次分别是元古代—古生代原特提斯造山带、晚古生代—三叠纪古特提斯造山带、三叠纪—新生代新特提斯造山带。

### 1.1 原特提斯造山带

原特提斯的概念一直存在较大争议, 李三忠(2016)将中国境内原特提斯洋的空间界定不同观点归纳为3类: ①原特提斯洋由北部古中亚洋或古亚洲洋(天山-蒙古-兴安主洋盆)、中部秦-祁-昆洋和南部有深水沉积记录的未定名大洋(以滇西和桂

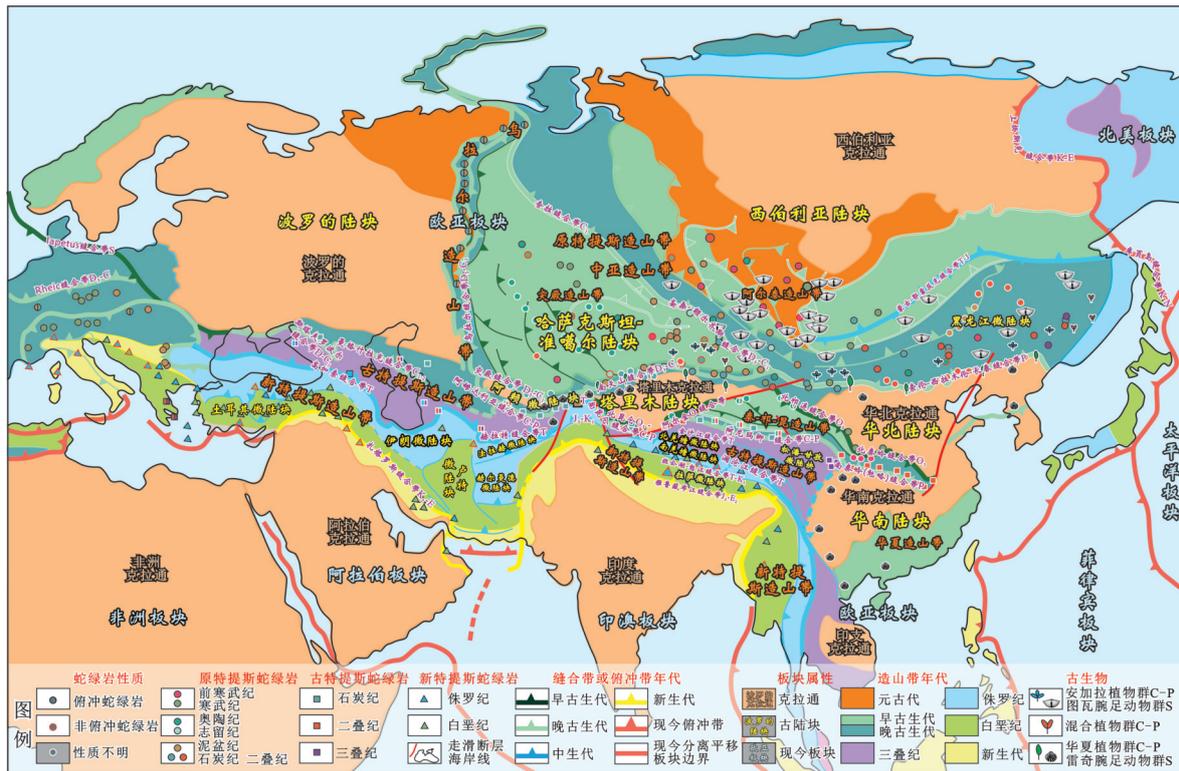


图1 欧亚大陆蛇绿岩分布及板块构造区划图 (根据 Furnes and Safonova, 2019; Gaëlle Plissart, 2017; Xiao, 2015 修编)

Fig. 1 Distribution of ophiolite and plate tectonics in Eurasia (modified from Furnes and Safonova, 2019; Gaëlle Plissart, 2017; Xiao, 2015)

西地区为代表)组成(黄汲清和陈炳蔚, 1987; Ren and Xie, 1991; 钟大赉, 1998; 陆松年, 2001; 郭福祥, 2001), 其中古中亚洋被认为是 Rodinia 超大陆裂解过程产生的原特提斯主洋盆(陆松年, 2001; von Raumer and Stampfli, 2008)。②原特提斯洋由北部具复杂多岛洋特征的古中国洋(商丹洋为其东部分支)和南部相对干净的主大洋“原特提斯洋”共同构成(高长林等, 2005; 徐旭辉等, 2009)。③原特提斯洋是一个位于华北-塔里木陆块以南、滇缅泰/保山地块以北的复杂大洋, 将泛华夏大陆(Cathaysia)西南侧及其内部所有早古生代洋盆统称为原特提斯洋(李兴振等, 1990; 陈智梁, 1994; 潘桂棠等, 1997; 李兴振等, 1999; 许效松等, 2004; 李文昌等, 2010; 李三忠, 2016; 耿全如等, 2021; 王立全等, 2021; 刘宝珺, 2021)。

本文认为, 原特提斯洋位于劳亚大陆(Laurasia)和冈瓦纳大陆(Gondwana)之间(黄汲清和陈炳蔚, 1987; Ren and Xie, 1991; 钟大赉, 1998; 陆松年, 2001; 郭福祥, 2001; Stampfli et al., 2002; Blakey et al., 2003; 余星等, 2022; Scotese, 2022), 与上述观点①相似, 但也包含上述观点②和③。劳亚大陆包括

劳伦(Laurentia, 即北美)、波罗的(Baltica, 曾称俄罗斯、东欧或北欧)和西伯利亚(Siberia, 曾称安加拉)等古陆, 这些古陆在原特提斯发育时期逐渐拼合。冈瓦纳大陆东部最北端为泛华夏大陆(Cathaysia), 包括塔里木、华北、华南、印支等陆块(李兴振等, 1990; 潘桂棠, 1994; 陈智梁, 1994; 许效松等, 2004; 李兴振等, 1995; 潘桂棠等, 1997, 2001, 2004, 2012), 泛华夏大陆早古生代生物古地理归属冈瓦纳大陆(后述), 晚古生代才远离冈瓦纳大陆。原特提斯洋与同期早古生代劳伦古陆-西伯利亚古陆与波罗的古陆和冈瓦纳大陆西部之间的伊阿珀托斯(Iapetus)相连, 其间和其后也与早古生代晚期—晚古生代劳伦古陆与波罗的古陆拼合后的劳俄大陆(Laurussia)和冈瓦纳大陆西部之间的瑞克洋(Rheic)相连。

因此, 原特提斯造山带由中亚造山带、乌拉尔造山带和秦-祁-昆造山带组成。其中, 中亚新元古代—古生代造山带是原特提斯主洋盆(古亚洲洋)残留的多岛弧盆系, 乌拉尔新元古代—古生代造山带是原特提斯西部边缘残留的多岛弧盆系, 秦-祁-昆新元古代—早古生代造山带是原特提斯东部(现

南部)边缘残留的多岛弧盆系。

本文将中亚造山带(古亚洲洋)作为原特提斯主洋盆的依据主要有3点。第一,一个大洋从发生、扩展到消亡有一个很长的演化过程,其生命期至少需600~800 Myr(潘桂棠等, 1996),秦-祁-昆造山带新元古代—早古生代多岛弧盆系各边缘海盆地或弧后盆地通常只有几十 Myr,而同期古亚洲洋延续至少600 Myr,更适合作为该期主大洋。第二,秦-祁-昆造山带新元古代—早古生代多岛弧盆系各边缘海盆地或弧后盆地分别为600~2 400 km(赖绍聪, 1994; 潘桂棠等, 1996)的小洋盆(李三忠等, 2016),但同期古亚洲洋宽度至少6 000~9 000 km,也适合作为该期主大洋。第三,已有较多学者将古亚洲洋划归原特提斯洋(黄汲清和陈炳蔚, 1987; Ren and Xie, 1991; 钟大赉, 1998; 陆松年, 2001; 郭福祥, 2001; Stampfli et al., 2002; Blakey et al., 2003; 余星等, 2022; Scotese, 2022)

### 1.1.1 中亚造山带

中亚造山带位于乌拉尔造山带以东,西伯利亚克拉通西南的广大中亚地区,因此得名,新元古代—古生代是原特提斯主洋盆(古亚洲洋)多岛弧盆系。

#### (1) 中亚造山带构造特征

中亚造山带,呈面状分布新元古代前阿尔泰大陆基底、新元古代—早古生代岩浆弧、增生杂岩和蛇绿岩(局部),中间被带状分布的查拉缝合带—斋桑-额尔齐斯缝合带晚古生代蛇绿岩带分隔开,西部为突厥造山带,东部为阿尔泰造山带(图1)。

突厥造山带,古生代弧-弧碰撞形成哈萨克斯坦-准噶尔“陆块”,西界隔乌拉尔造山带(缝合带)与波罗的陆块相邻,南界隔突厥缝合带—南天山缝合带与阿赖微陆块—塔里木陆块相邻,北东界隔查拉缝合带—斋桑-额尔齐斯缝合带与西伯利亚陆块相邻(图1)。阿尔泰造山带,和西伯利亚克拉通一起构成西伯利亚陆块,南界为索伦-西拉木伦-长春缝合带与华北陆块相邻,两大陆块还分别以早古生代图瓦腕足动物群(*Tuvaella* Fauna)和雷奇腕足动物群(*Retziella* Fauna)、晚古生代安加拉植物群(*Angara* Flora)和华夏植物群(*Cathaysia* Flora)区隔(图1)。西伯利亚陆块内部的蒙古-鄂霍茨克中生代缝合带是个特殊的存在,蒙古-鄂霍茨克洋在新元古代(700 Ma±)呈扇形打开,于侏罗纪(145 Ma±)又呈扇形闭合,其南部为黑龙江(又称阿穆尔、松

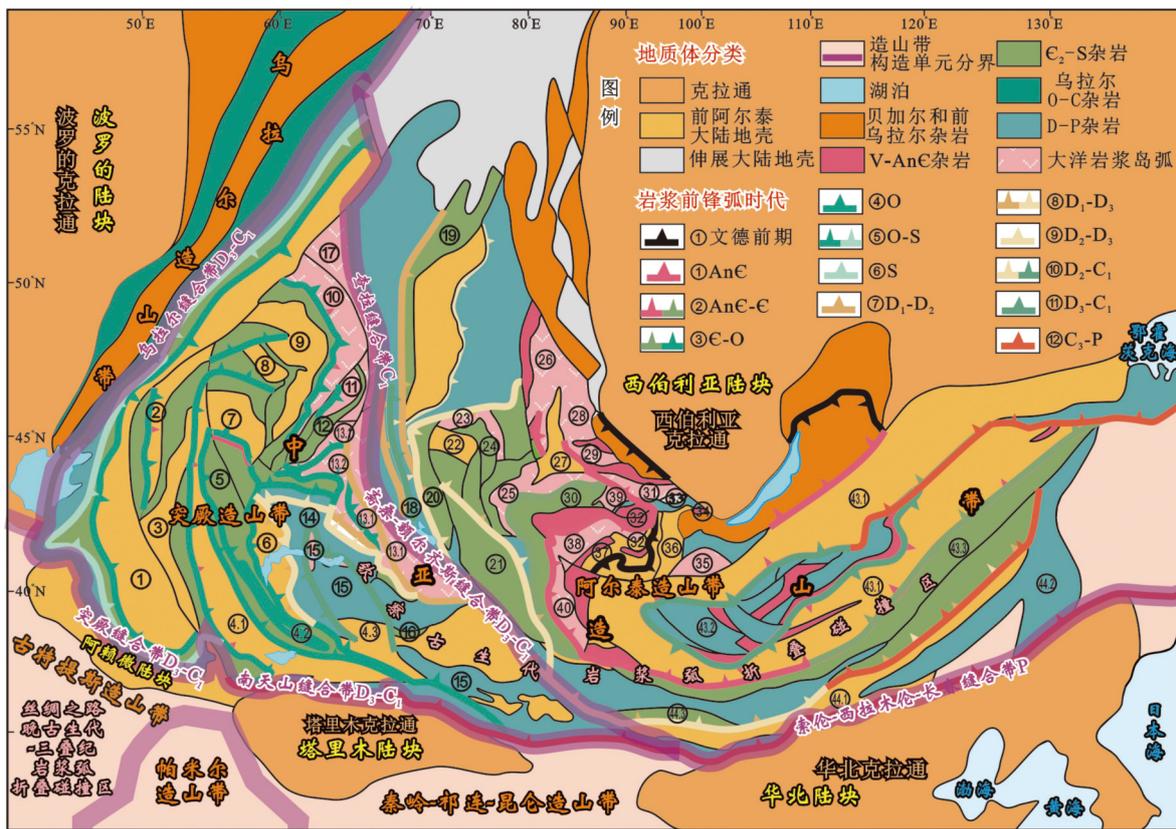
辽或满洲)微陆块(图1)。

中亚造山带划分为44个构造单元(以中亚当地地名命名),主要包括新元古代前贝加尔微陆块、新元古代前阿尔泰微陆块,新元古代—古生代增生杂岩,新元古代—古生代岩浆弧,多被后期中生代—新生代盆地覆盖(Sengör et al., 1996)(图2,图中数字与后文数字对应)。

- ①瓦莱里亚诺夫-查特卡尔(Valerianov-Chatkal),前阿尔泰大陆基底,阿尔泰岩浆弧和增生杂岩;
- ②图尔盖(Turgay),前阿尔泰大陆基底、阿尔泰岩浆弧和增生杂岩,埋在2 km厚的中生代沉积盖层下;
- ③拜科努尔-塔拉斯(Baykonur-Talas),前阿尔泰大陆基底、早古生代岩浆弧和增生杂岩;
- ④.1热兹卡兹甘-吉尔吉斯(Djezkazgan-Kirgiz),前阿尔泰大陆基底、阿尔泰古生代岩浆弧和增生杂岩;
- ④.2加莱尔-奈曼(Jalair-Naiman),前阿尔泰大陆地壳、早古生代边缘海杂岩、早古生代岩浆弧和增生杂岩;
- ④.3或⑩博尔塔拉(Borotala),前阿尔泰大陆基底、早古生代岩浆弧和增生杂岩;
- ⑤萨雷苏(Sarysu),阿尔泰岩浆弧和增生杂岩;
- ⑥阿塔苏-莫因蒂(Atasu-Mointy),前阿尔泰大陆基底、早古生代—志留纪岩浆弧和增生杂岩;
- ⑦田吉兹(Tengiz),前阿尔泰大陆基底、阿尔泰埃迪卡拉纪—早古生代岩浆弧和增生杂岩;
- ⑧卡尔梅克-科尔科切塔夫(Kalmyk KolKokchetav),前阿尔泰大陆基底、阿尔泰文德纪—早古生代岩浆弧和增生杂岩;
- ⑨伊希姆-斯特普尼亚克(Ishim-Stepnyak),前阿尔泰大陆地壳、埃迪卡拉纪—早古生代岩浆弧和增生杂岩;
- ⑩伊什凯尔姆斯(Ishkeolmes),早古生代岩浆弧和增生杂岩;
- ⑪塞勒提(Selety),前阿尔泰大陆地壳、早古生代岩浆弧和增生杂岩;
- ⑫阿克丁(Akdym),埃迪卡拉纪—早古生代岩浆弧和增生杂岩;
- ⑬博什切库尔-塔尔巴哈台(Boshchekul-Tarbagatay),阿尔泰早古生代—志留纪岩浆弧和增生杂岩;
- ⑭塔克图尔马斯(Tekturmas),奥陶纪至中生代增生杂岩,中泥盆世至早石炭世岩浆弧;
- ⑮准噶尔-巴尔喀什(Junggar-Balkhash),早古生代和晚古生代岩浆弧、中晚古生代增生杂岩;
- ⑯或④.3博尔塔拉(Borotala),前阿尔泰大陆基底、早古生代岩浆弧和增生杂岩;
- ⑰塔尔穆诺姆采夫(Tar-Muromtsev),早古生代岩浆弧和增生杂岩;
- ⑱扎尔玛-索尔(Zharma-Saur),早至晚古生代岩浆弧和早古生代增生杂岩;
- ⑲鄂毕-斋桑-苏尔古提(Ob-Zaisan-Surgut),晚泥盆纪—早石炭纪岩

浆弧、晚泥盆世—早石炭世增生杂岩、走滑断层限定的晚泥盆世—早石炭世岩浆弧碎片、晚古生代火山弧；⑳科利万-鲁德尼阿勒泰(Kolyvan-Rudny Altay), 早、中晚古生代岩浆弧和早古生代增生楔；㉑戈尔尼阿勒泰(Gorny Altay), 早古生代岩浆弧和增生楔主要被古生代岩浆弧覆盖, 阿尔泰山部更向西的中古生代增生楔体与弧前盆地；㉒查里什-丘亚-巴诺(Charysh-Chuya-Barnaul), 前阿尔泰山大陆地壳、早古生代岩浆弧和增生杂岩、中古生代岩浆弧和弧前盆地；㉓萨拉尔-库兹巴斯(Salair-Kuzbas), 前阿尔泰山大陆地壳、埃迪卡拉纪—早古生代岩浆弧和增生杂岩、奥陶纪—志留纪弧前盆地、泥盆纪拉张盆地、晚古生代前渊盆地；㉔阿努伊-楚亚(Anuy-Chuya), 早古生代岩浆弧和增生杂岩；㉕东

阿勒泰(Eastern Altay), 前阿尔泰山大陆地壳、早古生代岩浆弧和增生杂岩, 包括巨大的海山碎片；㉖科日科霍夫(Kozhykhov), 早古生代岩浆弧和增生杂岩；㉗库兹涅茨基阿拉套(Kuznetskii Alatau), 前阿尔泰山大陆地壳、早古生代岩浆弧和增生杂岩；㉘贝里克(Belyk), 寒武纪岩浆弧和增生杂岩；㉙克孜尔-喀兹尔(Kizir-Kazyr), 埃迪卡拉纪—中寒武纪岩浆弧和增生杂岩；㉚北萨彦(North Sayan), 埃迪卡拉纪—早古生代岩浆弧和增生杂岩；㉛乌特库姆-奥卡(Utkhum-Oka), 前阿尔泰山大陆地壳、早古生代岩浆弧和增生杂岩；㉜乌鲁盖(Ulugoi), 埃迪卡拉纪—早寒武纪岩浆弧和增生杂岩；㉝加根(Gargan), 前阿尔泰山大陆地壳、早古生代岩浆弧、埃迪卡拉纪—早古生代增生杂岩；㉞基托伊(Kitoy), 早古生代



**地质体代号及说明:** ①瓦莱里亚诺夫-查特卡尔Valerianov-Chatkal; ②图尔盖Turgay; ③拜科努尔-塔拉斯Baykonur-Talas; ④热兹卡兹甘-吉尔吉斯Djezkazgan-Kirgiz; ⑤加莱尔-奈曼Jalair-Naiman; ⑥或⑬博尔塔拉Borotala; ⑦萨雷苏Sarysu; ⑧阿塔苏-莫因蒂Atasu-Mointy; ⑨田吉兹Tengiz; ⑩卡尔梅克-科尔科切塔夫Kalmyk KolKokchetav; ⑪伊希姆-斯普尼亚克Ishim-Stepnyak; ⑫伊什凯尔姆斯Ishkeolmes; ⑬塞勒提Selety; ⑭阿克丁Akdyrnay; ⑮博什切库尔-塔尔巴哈台Boshchekul-Tarbagatay; ⑯塔克图尔马斯Tekturmas; ⑰准噶尔-巴尔喀什Junggar-Balkhash; ⑱或⑲博尔塔拉Borotala; ⑲塔尔-穆诺姆采夫Tar-Muromtsev; ⑳扎尔玛-索尔Zhurma-Saur; ㉑鄂毕-齐桑-苏尔古提Ob-Zaisan-Surgut; ㉒科利万-鲁德尼阿勒泰Kolyvan-Rudny Altay; ㉓戈尔尼阿勒泰Gorny Altay; ㉔查里什-丘亚-巴诺Charysh-Chuya-Barnaul; ㉕萨拉尔-库兹巴斯Salair-Kuzbas; ㉖阿努伊-楚亚Anuy-Chuya; ㉗东阿勒泰Eastern Altay; ㉘科日科霍夫Kozhykhov; ㉙库兹涅茨基阿拉套Kuznetskii Alatau; ㉚贝里克Belyk; ㉛克孜尔-喀兹尔Kizir-Kazyr; ㉜北萨彦North Sayan; ㉝乌特库姆-奥卡Utkhum-Oka; ㉞乌鲁盖Ulugoi; ㉟加根Gargan; ㊱基托伊Kitoy; ㊲吉达Dzhida; ㊳黑帽Darkhat; ㊴桑吉伦Sangilen; ㊵东坦诺拉Eastern Tannuola; ㊶西萨彦Western Sayan; ㊷科丁Kobdin; ㊸奥泽马亚Ozemaya; ㊹汉-泰舍尔Han-Taishir; ㊺图瓦-蒙古Tova-Mongol; ㊻㊼㊽㊾南戈壁South Gobi.

图2 中亚造山带构造特征 (据Sengör, 1996 修编)

Fig. 2 Tectonic features of the Central Asian orogenic belt (modified from Sengör, 1996)

岩浆弧; ⑳吉达(Dzhida), 早古生代岩浆弧和增生杂岩; ㉑黑帽(Darkhat), 新元古代前贝加尔大陆地壳、拉伸纪—成冰纪岩浆弧和增生杂岩; ㉒桑吉伦(Sangilen), 贝加尔微大陆, 与㉓黑帽(Darkhat)和㉔.1图瓦-蒙古(Tova-Mongol)在拉伸纪—成冰纪发生碰撞, 并在早古生代走滑位移; ㉕东坦诺拉(EasternTannuola), 早古生代岩浆弧和增生杂岩; ㉖西萨彦(Western Sayan), 早古生代岩浆弧和增生杂岩; ㉗科丁(Kobdin), 古生代早期和中期岩浆弧和增生杂岩; ㉘奥泽马亚(Ozemaya), 埃迪卡拉纪—早寒武世岩浆弧和增生杂岩; ㉙汉-泰舍尔(Han-Taishir), 前阿尔泰大陆地壳、埃迪卡拉纪—早寒武世岩浆弧和增生杂岩; ㉚图瓦-蒙古(Tova-Mongol): (㉚.1)前阿尔泰大陆地壳和埃迪卡拉纪—二叠纪岩浆弧, (㉚.2)埃迪卡拉纪—三叠纪增生杂岩, (㉚.3)奥陶纪—早石炭纪增生杂岩; ㉛南戈壁(South Gobi), 前阿尔泰大陆基底、古生代岩浆弧、早古生代和晚古生代增生杂岩。

这些从波罗的克拉通和西伯利亚克拉通分离的由新元古代贝加尔或前阿尔泰大陆基底、新元古代—早古生代增生杂岩和岩浆弧组成的微陆块, 在波罗的克拉通东缘和西伯利亚克拉通东缘(现西南缘)形成新元古代—古生代弧盆系, 主要分布在中亚钦察大草原, 因此被命名为钦察弧(Kipchak arc)(Şengör et al., 1991, 1993, 1996)。

中亚造山带, 具有独特的岩性组合和结构特征, 其中包括普遍存在的玄武岩-燧石-浊积岩组合, 浊积岩占优, 横向和沿走向连续性有限。常被后期花岗岩闪长岩和花岗岩岩基侵入。变质作用通常较低, 仅局部角闪岩化(Şengör et al., 1996)。不同于乌拉尔造山带和喜马拉雅造山带那样具有狭窄、细长的蛇绿岩带, 为追踪造山带连续性提供了极好的标志。由于俯冲-增生杂岩的过度生长, 中亚造山带弧形岩浆轴通常以离散跳跃的方式沿着海沟发育(Şengör et al., 1993)。

中亚造山带, 属岛弧型造山带, 与乌拉尔造山带弧-陆碰撞及喜马拉雅造山带陆-陆碰撞成因不同, 又称突厥型造山带(Şengör et al., 1991, 1993, 1996), 与多岛弧盆系构造模式(潘桂棠等, 1994, 1996, 2012)类似。主要构造特征包括: ①具有巨大的俯冲增生杂岩, 增生岩中的复理石向着海沟后退方向时代逐渐变新; ②有多条钙碱性火山岩和花岗岩带, 其生成时代也向着海沟后退方向变新; ③有

多条蛇绿岩带, 是海沟后退到适宜的构造位置时沿滑脱断层就位形成的, 同时形成多条韧性剪切带; ④增生楔形成过程是引起陆壳侧向和垂向生长的过程, 也是山脉的初始形成过程(Moore et al., 1982; Ye et al., 1997), 增生楔及其顶部盆地的形成可为消减带处陆壳生长以及造山带演化提供重要信息(Şengör, 1991)。

## (2) 中亚造山带构造演化

新元古代拉伸纪—成冰纪(1 000~635 Ma), 波罗的克拉通和西伯利亚克拉通同位于罗迪尼亚大陆东缘, 东缘岛弧与大陆碰撞形成新元古代造山带, 在波罗的克拉通东缘形成前乌拉尔新元古代造山带, 在西伯利亚克拉通东缘(现西南缘)形成前阿尔泰新元古代造山带。新元古代埃迪卡拉纪(635~541 Ma), 伴随原特提斯向西俯冲消减背景下的弧后扩张, 这些东缘新元古代造山带从波罗的陆块和西伯利亚陆块分离, 形成由新元古代—早古生代前阿尔泰大陆基底、岩浆弧和增生杂岩组成的微陆块①、②、③、⑤、⑥、⑦、⑧、⑨、⑪、⑬、⑭、⑯、⑰、⑲、⑳、㉑、㉒、㉓、㉔、㉕、㉖、㉗、㉘、㉙、㉚、㉛、㉜、㉝、㉞、㉟、㊱、㊲、㊳、㊴、㊵、㊶、㊷、㊸、㊹、㊺、㊻、㊼、㊽、㊾、㊿、①.1、①.2、①.3、②.1、②.2、②.3、③.1、③.2、③.3、④.1、④.2、④.3、⑤.1、⑤.2、⑤.3、⑥.1、⑥.2、⑥.3、⑦.1、⑦.2、⑦.3、⑧.1、⑧.2、⑧.3、⑨.1、⑨.2、⑨.3、⑩.1、⑩.2、⑩.3、⑪.1、⑪.2、⑪.3、⑫.1、⑫.2、⑫.3、⑬.1、⑬.2、⑬.3、⑭.1、⑭.2、⑭.3、⑮.1、⑮.2、⑮.3、⑯.1、⑯.2、⑯.3、⑰.1、⑰.2、⑰.3、⑱.1、⑱.2、⑱.3、⑲.1、⑲.2、⑲.3、⑳.1、⑳.2、⑳.3、㉑.1、㉑.2、㉑.3、㉒.1、㉒.2、㉒.3、㉓.1、㉓.2、㉓.3、㉔.1、㉔.2、㉔.3、㉕.1、㉕.2、㉕.3、㉖.1、㉖.2、㉖.3、㉗.1、㉗.2、㉗.3、㉘.1、㉘.2、㉘.3、㉙.1、㉙.2、㉙.3、㉚.1、㉚.2、㉚.3、㉛.1、㉛.2、㉛.3、㉜.1、㉜.2、㉜.3、㉝.1、㉝.2、㉝.3、㉞.1、㉞.2、㉞.3、㉟.1、㉟.2、㉟.3、㊱.1、㊱.2、㊱.3、㊲.1、㊲.2、㊲.3、㊳.1、㊳.2、㊳.3、㊴.1、㊴.2、㊴.3、㊵.1、㊵.2、㊵.3、㊶.1、㊶.2、㊶.3、㊷.1、㊷.2、㊷.3、㊸.1、㊸.2、㊸.3、㊹.1、㊹.2、㊹.3、㊺.1、㊺.2、㊺.3、㊻.1、㊻.2、㊻.3、㊼.1、㊼.2、㊼.3、㊽.1、㊽.2、㊽.3、㊾.1、㊾.2、㊾.3、㊿.1、㊿.2、㊿.3, 形成钦察弧(Kipchak arc)(Şengör et al., 1991, 1993, 1996), 埃迪卡拉纪已有微陆块①、②、④.1、⑤、⑦、⑲、⑳、㉑、㉒、㉓、㉔、㉕、㉖、㉗、㉘、㉙、㉚、㉛、㉜、㉝、㉞、㉟、㊱、㊲、㊳、㊴、㊵、㊶、㊷、㊸、㊹、㊺、㊻、㊼、㊽、㊾、㊿及㉚.1弧-弧碰撞形成岩浆弧和(或)增生杂岩(图2)。

中亚造山带古生代构造演化就是由钦察弧弧-弧碰撞完成的。早古生代, 钦察弧③、④.1、④.2、④.3、⑥、⑦、⑧、⑨、⑩、⑪、⑬、⑭、⑮、⑯、⑰、⑱、⑲、⑳、㉑、㉒、㉓、㉔、㉕、㉖、㉗、㉘、㉙、㉚、㉛、㉜、㉝、㉞、㉟、㊱、㊲、㊳、㊴、㊵、㊶、㊷、㊸、㊹、㊺、㊻、㊼、㊽、㊾、㊿弧-弧碰撞, 形成早古生代岩浆弧和(或)增生杂岩(图2)。其中, ①~⑰弧-弧碰撞形成哈萨克斯坦-准噶尔“陆块”的主要部分, ⑱~㉚与西伯利亚克拉通拼贴形成西伯利亚陆块(图2)。

晚古生代, 钦察弧⑬、⑭、⑮、⑱、⑲、⑳.1、⑳.2、⑳.3弧-弧碰撞, 形成晚古生代岩浆弧和(或)增生杂岩, 哈萨克斯坦-准噶尔“陆块”最后成型(图2)。向西与波罗的陆块拼贴, 其间形成最后一期乌拉尔缝合带(D<sub>3</sub>—C<sub>1</sub>)。向北东与西伯利亚陆块(阿尔泰造山带)拼贴, 形成查拉缝合带(C<sub>1</sub>)—斋桑-额尔齐斯缝合带(D<sub>3</sub>—C<sub>1</sub>)。哈萨克斯坦-准噶尔“陆块”和西伯利亚陆块, 与南部阿赖微陆块、塔里木陆块及华北陆块完成拼贴, 形成突厥缝合带(D<sub>3</sub>—C<sub>1</sub>)—南天山缝合带(D<sub>3</sub>—C<sub>1</sub>)—索伦-西拉木

伦-长春缝合带(P)(图1,图2)。

中亚造山带最后的俯冲活动可一直持续到中生代—新生代。东南部蒙古-鄂霍茨克洋关闭从晚古生代持续到了三叠纪—侏罗纪,成冰纪(700 Ma±)从西伯利亚陆块分离的黑龙江微陆块沿蒙古-鄂霍茨克缝合带(T—J)最终与西伯利亚陆块拼贴。白垩纪,西伯利亚陆块沿上扬斯克缝合带(J<sub>3</sub>—K)与北美板块拼贴。白垩纪—新生代,西伯利亚陆块沿库页岛缝合带(K—Q)与北美板块拼贴(图1,图2)。

### 1.1.2 乌拉尔造山带

乌拉尔造山带位于波罗的陆块和西伯利亚陆块,及哈萨克斯坦-准噶尔“陆块”之间。起始于新元古代原特提斯俯冲引起的乌拉尔弧后洋盆拉开,新元古代—古生代是原特提斯西部边缘的多岛弧盆系,经历了新元古代、早古生代、晚古生代及中生代—新生代多期造山。

#### (1) 乌拉尔造山带构造特征

乌拉尔造山带可以划分为6个构造带,即①前乌拉尔前渊;②西乌拉尔;③中乌拉尔;④塔吉尔-马格尼托戈尔斯克(岛弧带);⑤东乌拉尔(穆戈贾尔)和⑥乌拉尔过渡带(图3)。

前乌拉尔前渊,具波罗的陆块前寒武系结晶基底,缺失寒武系。奥陶系—志留系,为物源来自波罗的陆块的陆源沉积。下-中泥盆统,为物源来自波罗的陆块的陆源沉积,中泥盆统见碳酸盐岩。上泥盆统—下石炭统—下二叠统发育生物礁,中石炭统—下二叠统为复理石建造,下二叠统空谷阶为蒸发岩沉积,中—上二叠统—三叠系为磨拉石建造,三叠系为陆源沉积。上古生界—三叠系厚度达5~6 km。

西乌拉尔,具波罗的陆块前寒武系结晶基底及巨厚裂谷充填,缺失寒武系。奥陶纪至石炭纪有两个沉积相区。西部贝尔斯克(Belsk)-埃列茨(Elets)为大陆架陆源-碳酸盐系列沉积物覆盖在结晶基底上,包括珊瑚礁、(生物)灰岩和石英砂岩等。东部泽莱尔(Zilair)-勒姆瓦(Lemva)下奥陶统裂谷期以浅水陆源类磨拉石系列-典型的碱性和亚碱性玄武岩火山岩系列;中奥陶统开始的被动大陆边缘形成了大陆坡,并发育凝缩沉积的硅质-泥质沉积物;下志留统为含笔石黑色页岩;下泥盆统该区域南部为彩色燧石、燧石角砾岩和砂岩偶见深水泥质石灰岩,北部可上延至中石炭统;上泥盆统—下石炭统为东部岛弧火山-沉积层侵蚀形成的杂砂岩复理石,

局地(如萨克马拉 Sakmara、克拉卡 Kraka)蛇绿岩、火山岩-沉积岩和侵入岛弧地层或岩体推覆于被动大陆边缘沉积物之上。

中乌拉尔,主要由变质的前寒武系和下古生界岩石组成,形成了乌拉尔山脉轴部及隆起最高部。波罗的陆块结晶基底,被里菲和文德(中元古代和新元古代)沉积物覆盖。变质的岩石组合主要为花岗岩和角闪岩,包括更古老的(太古界)复合体,乌拉尔南部的巴什基尔盆地由里菲期(中元古代和部分新元古代,年龄约为1 750~1 650 Ma、1 380~1 350 Ma、730~700 Ma)浅水陆源-碳酸盐系列(厚度达15 km)和中等体积的亚碱性火山岩和裂谷组成。乌拉尔主断层(MUF)为典型的蛇绿岩缝合线,宽度可变(有时可达20 km以上),是乌拉尔洋闭合的最后遗迹。广泛分布蛇纹岩杂岩、构造角砾岩和糜棱岩,间断分布榴辉岩-青金石-片岩等变质岩。断层面东倾,倾角35°~55°,将波罗的陆块和岛弧分开。乌拉尔主断层最初是伸展断层,乌拉尔大陆地壳分离的时间约为480 Ma,早古生代被动大陆边缘期间静止了一段时间。晚泥盆世马格尼托戈尔斯克(Magnitogorsk)岛弧与波罗的陆块斜向碰撞(Ivanov, 2000; Puchkov, 2000),乌拉尔主断层转变为逆冲断层。

上述三个带是波罗的陆块早古生代被动大陆边缘演化形成的,局地包含部分外来岩体,如萨克马拉和克拉卡岩体就是从东部岛弧推覆过来的外来岩体。

塔吉尔-马格尼托戈尔斯克(岛弧带),位于乌拉尔主断层(MUF)东部,但不是一个整体,东部边界是东马格尼托戈尔斯克断层(EMF)。该带明显分为两个不同年龄但组成相似的岛弧带,即塔吉尔(Tagil)和马格尼托戈尔斯克(Magnitogorsk)。塔吉尔弧始于中奥陶世,从乌拉尔中北部一直延伸到北部至极地乌拉尔,但其碎片在南乌拉尔的存在与否是一个值得讨论的问题。马格尼托戈尔斯克弧始于早泥盆世,构成南乌拉尔山脉东部斜坡的最大部分,其碎片也出露在塔吉尔带东部。塔吉尔弧和马格尼托戈尔斯克弧,拉斑玄武岩和低钾枕状玄武岩厚1.5~2.5 km,底部为片状岩脉辉绿岩复合体,玄武岩通常与变质的玻璃质碎屑和碧玉薄层互层,后者包含丰富的中晚奥陶世(塔吉尔弧)和早泥盆世艾姆斯阶(马格尼托戈尔斯克弧)牙形石。岩石序列自下而上为①钠玄武岩、②钠流纹岩-玄武岩、

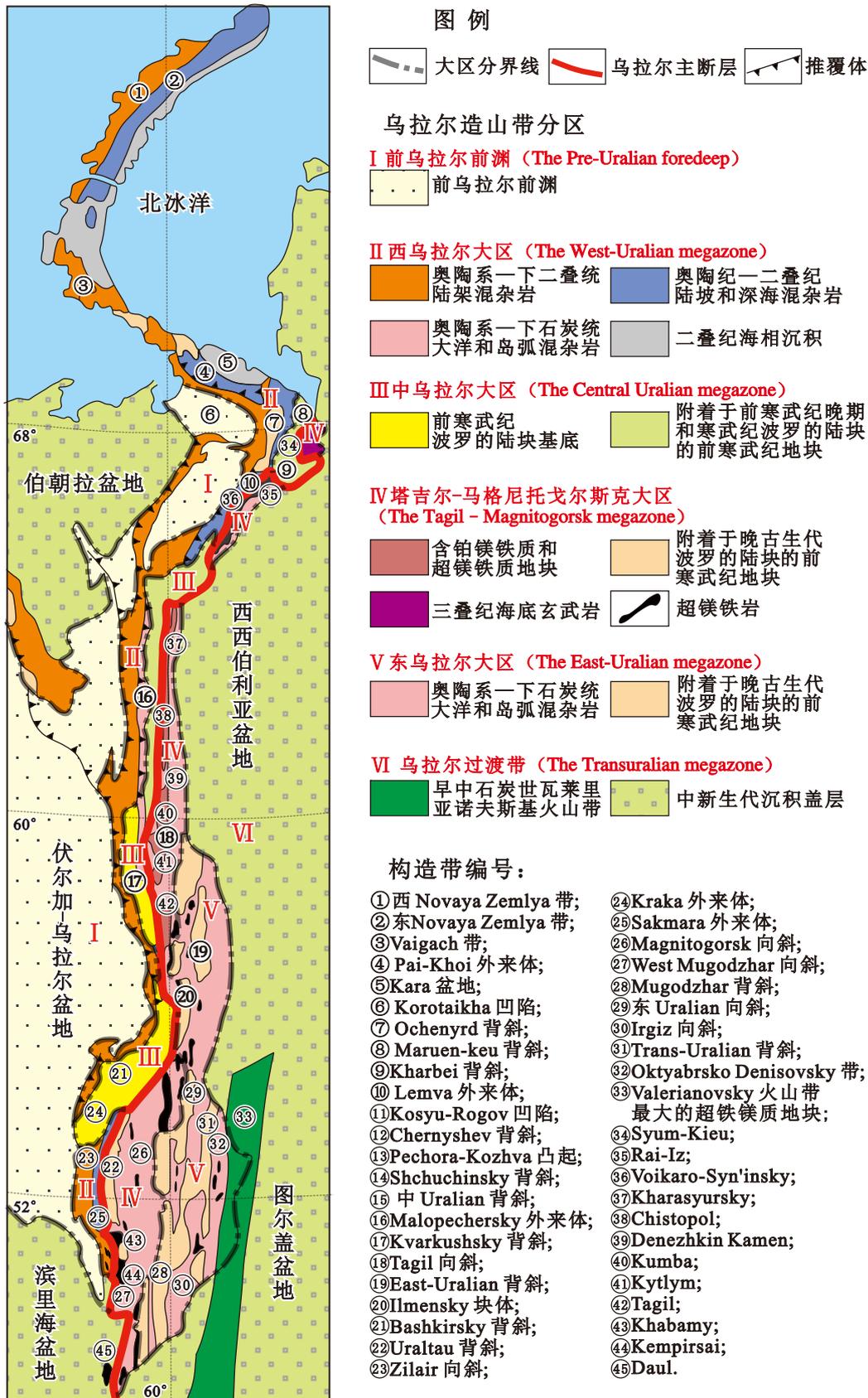


图 3 乌拉尔造山带构造区划图 (据 Zonenshain, 1990; Ivanov, 2013 修编)

Fig. 3 Tectonic zoning map of the Ural orogenic belt (modified from Zonenshain, 1990; Ivanov, 2013)

③安山岩-英安岩、④安山岩-玄武岩、⑤安山岩和⑥玄武岩-粗面岩-粗面流纹岩,两个序列的年龄差异被保留下来。塔吉尔弧早泥盆世亚碱性火山岩,上覆中晚泥盆世铝土矿和石灰岩。马格尼托戈尔斯克弧亚碱性火山岩层只出现在上泥盆世,上覆复理石及拉斑玄武岩和亚碱性火山岩。塔吉尔弧西部靠近 MUF 的含铂镁铁质和超镁铁质东倾岩体(深度 6~8 km)向北到极地断续延伸了 900 多千米,由纯橄榄岩、单斜辉石岩、橄榄石和二辉辉长岩、花岗岩组成,是乌拉尔-阿拉斯加带状镁铁质-超镁铁质岩体的典型代表,铂带的岩石组合与岛弧有关,在俯冲带不同深度熔化,俯冲岩浆作用发生在早泥盆世(420~415 Ma)(Ivanov et al., 1998)。塔吉尔弧和马格尼托戈尔斯克弧除了年龄差别之外,其岛弧性质也有不同,塔吉尔弧是硅铝岛弧,马格尼托戈尔斯克弧属硅镁岛弧。塔吉尔弧晚奥陶纪—志留纪火山作用的演化是由钙碱性岩石向亚碱性岩石逐渐演化的,小体积亚碱性火山岩在形成初期就已经喷发,后来逐渐增加,最后的早泥盆世图拉玄武岩火山复合体已经完全由亚碱性组成,没有典型的拉斑玄武岩,其玄武岩显示了岛弧特性(如 Sr、Ba 最大值,不同的 Nb、Th 和弱 Ce 极小值),为硅铝岛弧,含前寒武纪异种石榴石(石榴石变质岩)和锆石火山岩,是岛弧岩浆被来自岛弧基底古地壳物质污染的证据。马格尼托高尔斯克弧泥盆纪火山岩系列具有超俯冲复合物的典型地球化学特征,如 Nb、Ta、Zr、Hf、Y 的负异常和 LIL 元素(K、Rb、Ba、Cs)和 LREE 浓度的增强(Ivanov et al., 1986; Yazeva et al., 1998; Kosarev et al., 2005),没有显示出任何被大陆地壳污染的迹象,是在东倾俯冲带上方形成的硅镁岛弧复合体。

东乌拉尔,广泛发育花岗岩和片麻岩,存在前寒武纪硅铝质结晶地壳,分裂前为附着于波罗的陆块的微陆块(即穆戈贾尔微陆块),是乌拉尔造山带的“主花岗岩轴”。东界是卡尔塔利断层。弧后盆地的岩浆作用形成辉长岩组合,活动大陆边缘阶段发育花岗闪长岩和闪长岩-花岗闪长岩岩基侵入(规模相当大,长达 100 km),后期钙碱性闪长岩-花岗闪长岩岩浆作用转变为亚碱性,碰撞阶段形成地壳深熔花岗岩岩基侵入体。该带南乌拉尔的“主花岗岩轴”花岗岩最初是在晚古生代(早石炭世巴什基尔期)俯冲带上方形成的(Ivanov et al., 1986),晚期与新生大陆地壳增厚有关。

乌拉尔过渡带,位于乌拉尔造山带的最东部,可能具有增生性质。发育古生代破碎的火山成因和沉积系列,前石炭纪包括不同类型的复合体:①前寒武纪结晶片岩块体;②奥陶纪陆源-火山成因裂谷复合体;③中晚奥陶世发育狭窄的水下蛇绿岩带;④志留纪火山-沉积岛弧复合体;⑤中晚泥盆世深水燧石-页岩系列。上覆早石炭世钙碱性火山岩(安山岩和安山岩-玄武岩玢岩及其凝灰岩),构成后增生复合体。后均被中-新生代(盆地)沉积岩覆盖。该带还发育蛇纹岩杂岩和糜棱岩,以及走滑断层和逆冲断层。

## (2) 乌拉尔造山带构造演化

乌拉尔造山带经历了 6 个构造沉积演化阶段,即新元古代拉伸纪—成冰纪裂谷阶段,新元古代埃迪卡拉纪古乌拉尔造山阶段,早古生代泥盆纪—早石炭世弧后扩张阶段,石炭纪乌拉尔洋关闭阶段,中晚二叠世乌拉尔造山阶段,中生代—新生代陆内造山阶段。

新元古代(拉伸纪—成冰纪—埃迪卡拉纪,1 000~541 Ma)裂谷阶段,伴随罗迪尼亚大陆解体,在波罗的陆块东缘形成 4 条裂谷,由陆块内部向东缘外部依次为滨里海中央坳陷裂谷、乌拉尔西裂谷、穆戈贾尔西裂谷和穆戈贾尔东裂谷,文德晚期—早寒武世乌拉尔洋沿后面 3 个裂谷打开。在南乌拉尔裂谷充填巨厚的(12.75~19.5 km)里菲系滨浅海碎屑岩和碳酸盐岩夹多层火山岩,为完整的基性-中性-酸性裂谷型火山岩系列,上覆厚约 2 000 m 的文德系裂谷充填滨浅海碎屑岩。

新元古代(埃迪卡拉纪,635~541 Ma)古乌拉尔造山阶段,原特提斯洋(古亚洲洋)位于波罗的陆块北部的蒂马尼德斯(Timanides)微陆块与波罗的陆块碰撞,在乌拉尔造山带北部形成新元古代造山带的前乌拉尔杂岩。蒂马尼德斯太古代至古元古代结晶基底位于南乌拉尔和中乌拉尔西部的波罗的陆块之上,在埃迪卡拉纪晚期碰撞造山,发育完整的威尔逊旋回微大陆、洋壳、俯冲和增生杂岩。

早古生代(541~419 Ma)弧后扩张初期阶段,寒武系无沉积或被剥蚀。奥陶纪,乌拉尔边缘海有来自波罗的陆块的乌拉尔微陆块和穆戈贾尔微陆块,同样来自波罗的陆块的瓦列里安诺夫斯基(Valerianovsky)-查特卡尔(Chatkar)微陆块已漂移到原特提斯洋(古亚洲洋)。乌拉尔洋蛇绿岩形成始于早奥陶世(480 Ma),宽度约 600~800 km(图 1-

10D)。志留纪, 乌拉尔微陆块和穆戈贾尔微陆块之间开始出现萨克马拉岛弧(即塔吉尔区硅铝岛弧), 到晚志留世, 乌拉尔洋向东俯冲到萨克马拉岛弧之下并在伊伦迪克(Irendyk)形成弧后扩张。泥盆纪—早石炭世(419~331 Ma)弧后扩张后期阶段, 早-中泥盆世(395~385 Ma), 萨克马拉岛弧已经和乌拉尔微陆块拼贴, 乌拉尔洋向西俯冲到伊伦迪克(Irendyk)岛弧之下并在马格尼托戈尔斯克(Magnitogorsk)形成弧后扩张; 晚泥盆世—早石炭世维宪期(383~331 Ma), 伊伦迪克岛弧与穆戈贾尔微陆块拼贴, 乌拉尔洋向西俯冲到马格尼托戈尔斯克(Magnitogorsk)岛弧之下, 受此影响, 滨里海盆地出现弧后扩张引发的裂隙, 在南恩巴-东南拗陷东部及中央拗陷形成裂隙。

石炭纪(331~299 Ma)乌拉尔洋关闭阶段, 早—中石炭世(331~307 Ma), 乌拉尔微陆块及穆戈贾尔微陆块与波罗的陆块拼贴, 乌拉尔洋开始关闭; 同期原特提斯洋(古亚洲洋)向瓦列里安诺夫斯基(Valerianovsky)岛弧俯冲, 哈萨克斯坦陆块开始与波罗的陆块拼贴(图 1-10H)。晚石炭世(307~299 Ma), 乌拉尔洋关闭, 哈萨克斯坦陆块与波罗的陆块拼贴, 形成乌拉尔花岗岩主轴的花岗闪长岩和乌拉尔东部巨厚的超俯冲火山作用带。早二叠世(299~271 Ma)过渡阶段, 已关闭的乌拉尔洋从海相沉积逐渐过渡为陆相沉积, 前乌拉尔发育浅水碳酸盐台地(生物礁), 西乌拉尔为深水复理石建造, 到早二叠世空谷期(276~271 Ma)为陆相蒸发岩。

中晚二叠世(271~251 Ma)乌拉尔造山阶段, 乌拉尔主断层(MUF)以东的所有大区大规模隆升, 并遭受强烈剥蚀殆尽, 为前乌拉尔前渊磨拉石建造提供陆源物质。东乌拉尔地壳厚度增加。

中生代—新生代(251 Ma 至今)陆内造山阶段, 三叠纪, 有限的碰撞后扩张和超地幔柱岩浆作用, 乌拉尔山脉正断层和成煤地堑系统形成。早侏罗世末, 发生短暂的造山运动, 在乌拉尔山脉北部影响加强, 是派-霍伊(Pai-Khoi)和诺瓦亚-泽姆利亚(Novaya-Zemlya)的主要造山阶段。现今, 乌拉尔造山带经历了造山—隆升—剥蚀—陆内造山—再剥蚀等地质作用过程之后, 被进一步挤压缩短, 并向两侧陆块推覆。

### 1.1.3 秦-祁-昆造山带

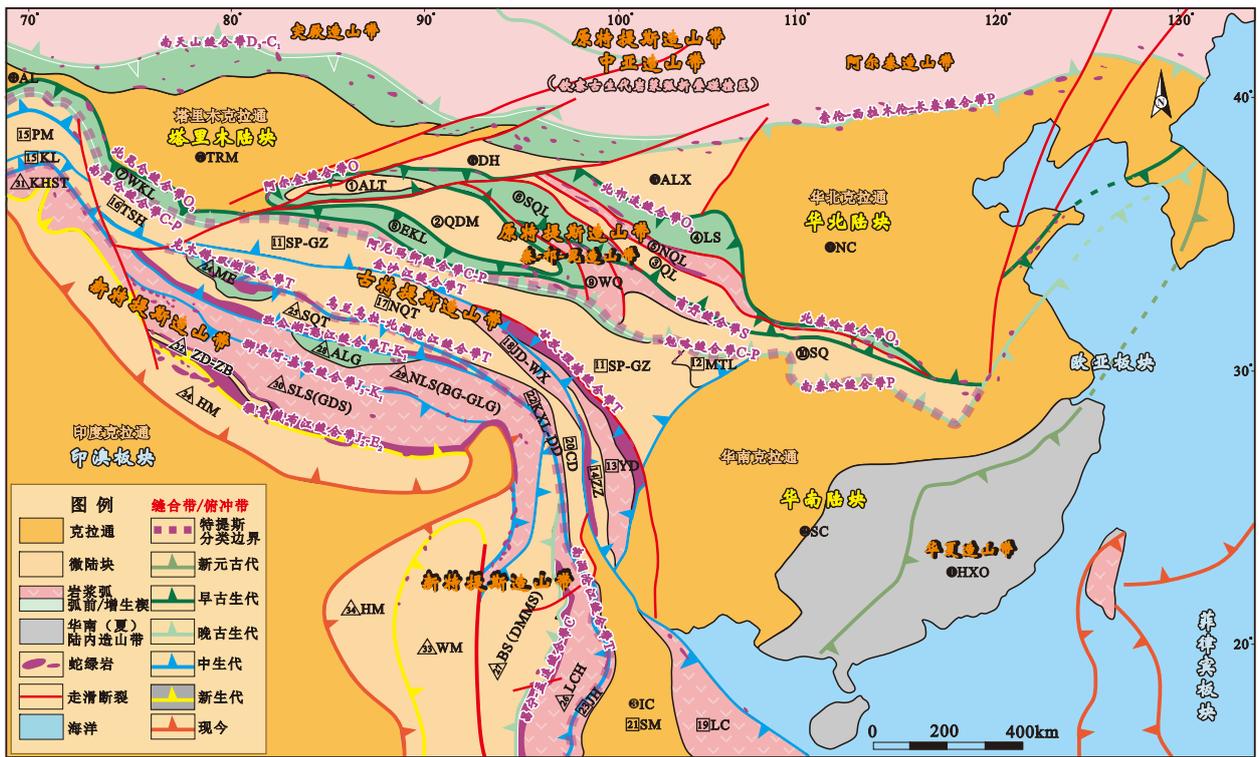
秦(岭)-祁(连)-昆(仑)造山带, 又称(中国)中央造山带, 位于塔里木陆块和华北陆块以南, 帕米

尔造山带以东, 古特提斯造山带以北, 华南陆块以北。新元古代—早古生代是原特提斯东部(现南部)边缘的多岛弧盆系。

秦-祁-昆造山带, 其形成受原特提斯洋和秦-祁-昆弧后洋盆俯冲消减的双重制约。新元古代—早古生代, 原特提斯洋向东(现今向南)俯冲, 在泛华夏大陆(主体为塔里木-华北陆块)南缘形成秦-祁-昆多岛弧盆系。早古生代秦-祁-昆弧盆系向西(现今向北)俯冲消减, 发育昆仑前锋弧。东昆仑岩浆岩带中新元古代钙碱性-高钾钙碱性花岗闪长岩、花岗岩类侵入体, 锆石 U-Pb 年龄  $703 \pm 15$  Ma, 可能为昆仑前锋弧的标志(吴福元等, 2020)。昆仑前锋弧北侧自东向西发育秦岭弧盆系、北祁连弧盆系、中祁连微陆块、南祁连弧盆系、柴北缘缝合带、柴达木微陆块、东昆仑弧盆系、阿尔金弧盆系、西昆仑弧盆系, 其早古生代地质演化历史包括了多岛弧、弧后海底扩张与弧后盆地萎缩、俯冲消亡和弧-弧、弧-陆碰撞, 碰撞后, 该区大部于泥盆纪转化为陆地, 成为泛华夏大陆(华北陆块)西南缘的一部分(潘桂棠等, 1994, 1996, 2012)(图 4)。

#### (1) 秦-祁-昆造山带构造特征

秦岭弧盆系, 从北向南是北部的华北克拉通、中部的北秦岭微陆块和南秦岭微陆块, 以及南部的华南克拉通, 其间通过宽坪、商丹和勉略 3 个缝合带相接。北秦岭的属性长期存疑, 既不同于华北, 也不同于华南, 其内部组成复杂, 发育格林威尔期的地质记录, 并发育 500 Ma 左右的高压-超高压变质岩(秦岭群)及大量奥陶纪—志留纪花岗岩。南秦岭大多认为具扬子克拉通属性。北秦岭和华北之间的宽坪群主要为一套绿片岩相-角闪岩相的拉斑玄武岩、浅海碎屑岩和碳酸盐, 长期被认为是形成在华北克拉通之上的一套元古代被动陆缘火山-沉积杂岩, 但物源示踪排除了这一结论, 其变质沉积岩的源区与华北克拉通无任何关联(Cao et al., 2016), 是形成于早古生代(490~440 Ma)的蛇绿混杂岩(Dong et al., 2014)。宽坪群南侧的二郎坪群为早古生代角闪岩相变质的基性-酸性火山岩、碎屑沉积岩和碳酸盐, 代表了北秦岭南侧商丹洋向北俯冲形成的弧后盆地。由于华北克拉通南缘不发育任何早古生代变形、变质与岩浆活动, 一般认为宽坪洋向南俯冲消减到北秦岭微陆块之下(Dong and Santosh, 2016; Li et al., 2018)。但北秦岭微陆块~500 Ma 高压-超高压变质岩比宽坪洋更早, 或



地质体说明：  
 泛华夏大陆：●HXO华夏造山带；●SC华南(扬子)陆块；●IC印支陆块；●NC华北陆块；●ALX阿拉善微陆块；●DH敦煌微陆块；●TRM塔里木陆块；●AL阿赖微陆块。  
 原特提斯：▲秦-祁-昆造山带；①ALT阿尔金微陆块；②QDM柴达木微陆块；③QL祁连微陆块；④LS龙首山增生楔；⑤NQL北祁连岩弧；⑥SQL南祁连增生楔；⑦WKL西昆仑增生楔；⑧EKL东昆仑增生楔；⑨WQ西秦岩弧；⑩SQ南秦岭微陆块。  
 古特提斯：⑪SP-GZ松潘-甘孜微陆块；⑫MTL摩天岭微陆块；⑬YD义敦岩弧及增生楔；⑭ZZ中咱微陆块；⑮PM-KL帕米尔-喀喇昆仑微陆块；⑯TSH天水海微陆块；⑰NQT-CD北羌塘微陆块；⑱JD-WX江达-维西岩弧；⑲LC绿春岩弧；⑳CD昌都微陆块；㉑SM思茅微陆块；㉒KSL-DD开心岭-东达山岩弧；㉓JH景洪岩弧。  
 新特提斯：▲AME马尔岗木增生楔；▲SQT南羌塘微陆块；▲LCH临沧岩弧及增生楔；▲BS(DMMS)保山(滇缅马苏)微陆块；▲ALG昂龙岗增生楔；▲NLS(BG-GLG)北拉萨(班戈-高黎贡)岩弧；▲SLS(GDS)南拉萨(冈底斯)岩弧；▲KHST科希斯坦岩弧；▲ZD-ZB扎达-仲巴微陆块；▲WM西缅微陆块；▲HM喜马拉雅微陆块。

图 4 特提斯造山带(东部)构造区划图(据李三忠等, 2016; 尹福光等, 2019 修编)

Fig. 4 Tectonic zoning map of the eastern Tethys orogenic belt (according to Li et al., 2016; Yin et al., 2019)

是北秦岭地体向南沿商丹缝合带俯冲而折返所致, 宽坪洋可能是通过向北俯冲而消亡(吴元保和郑永飞, 2013), 这一俯冲体系与目前的华北南缘并非原地系统, 可能已被后期的构造错位。商丹缝合带, 通过西秦岭关子镇蛇绿岩与更西部的柴北缘缝合带相连, 关子镇蛇绿岩中辉长岩锆石年龄 518 Ma, 与柴北缘蛇绿岩相同; 商丹缝合带蛇绿岩的松树沟杂岩可能是造山带橄辉岩(Nie et al., 2017), 丹凤群可能是商丹带的蛇绿混杂堆积, 所保留的物质记录表明该洋盆可能在 520~470 Ma 打开, 随后发生向北俯冲并形成北秦岭早古生代花岗岩(507~400 Ma, 主体 460~420 Ma, 王晓霞等, 2015), 约在 420 Ma 左右关闭, 形成泥盆纪刘岭群前陆盆地沉积。秦岭与大别山之间桐柏地区至少经历了两次大洋的形成、俯冲与增生过程, 其中早古生代大洋的历史与秦岭宽坪洋一致, 约在 440~420 Ma 关闭(刘晓春等, 2015)。南秦岭与扬子克拉通之间的勉略缝合带, 向西与阿尼玛卿缝合带相接, 属古特提斯洋(后述)

(吴福元等, 2020)。

祁连弧盆系, 自北而南主要的地质体有阿拉善微陆块、北祁连缝合带、中祁连微陆块、南祁连缝合带和欧龙布鲁克-全吉微陆块。阿拉善微陆块一般被认为是华北克拉通的一部分, 而中祁连微陆块主要由中—晚元古代变质岩及相关沉积岩组成, 显示格林威尔期造山作用及其后的裂谷或板内作用, 南部的欧龙布鲁克-全吉微陆块出露太古—元古代变质基底和未变质的南华系—早古生代沉积盖层。北祁连缝合带组成复杂, 大体可划分为早古生代蛇绿混杂岩(560~490 Ma)、表征大洋俯冲的高压-低温蓝片岩/硬柱石榴辉岩(520~460 Ma)、志留纪复理石和分布在缝合带南北两侧地块上的岛弧岩浆岩(510~446 Ma, 反映双向俯冲作用), 北祁连洋应该在 420 Ma 左右关闭。南祁连缝合带出露的蛇绿岩时代 510~480 Ma, 发育大量早古生代火山-沉积岩及硅质岩和灰岩, 为洋壳-增生楔岩石组合, 闭合时代可能在 435 Ma 之前, 比北祁连略早。南

北祁连洋闭合后,区内广泛分布泥盆纪磨拉石建造(吴福元等, 2020)。

柴达木微陆块,主体被沉积物覆盖,目前可用以限定其基底组成的物质记录来自昆仑北坡的金水口群(陆松年等, 2006)。柴达木北缘缝合带,主要地质事件是 460 Ma 左右洋壳俯冲的高压变质作用、440~423 Ma 大陆深俯冲的超高压变质岩(鱼卡-锡铁山-都兰榴辉岩)和造山带石榴橄榄岩(绿梁山胜利口),以及 460~420 Ma 活动大陆边缘变质作用/深熔作用和 440~360 Ma 造山后垮塌成因的各类花岗质岩浆活动(宋述光等, 2013),说明柴北缘弧后洋盆在 423~440 Ma 之前关闭,与阿尔金类似,之后被泥盆纪磨拉石覆盖(吴福元等, 2020)。

东昆仑弧盆系,包括昆北微陆块、昆中缝合带、昆南微陆块和阿尼玛卿缝合带(古特提斯洋,后述)等。昆北微陆块是柴达木微陆块的南缘,其西南缘为祁漫塔格带,金水口群为其变质基底。昆中缝合带以西部的纳赤台群混杂岩和东部的清水泉蛇绿岩为代表,洋盆大约在 580~520 Ma 打开,510~450 Ma 俯冲,并于 440 Ma 左右关闭。昆南微陆块以大规模发育弧岩浆杂岩为特征,变质基底为苦海群。昆中缝合带两侧微陆块基底金水口群和苦海群具有相同的碎屑锆石年龄,反映昆北和昆南微陆块两者以前可能属同一整体,结合相对短暂的扩张时间,因而有昆中洋为小洋盆之说。值得注意的是,昆南阿尼玛卿缝合带一直被认为是古特提斯洋(姜春发等, 1992; Yang et al., 1996),但也存在早古生代蛇绿岩踪迹,如布青山蛇绿岩,同时存在寒武纪和石炭纪两期蛇绿岩(刘战庆等, 2011; 裴先治等, 2018),且早期蛇绿岩被泥盆纪弧岩浆岩侵入(边千韬等, 1999);东昆仑弧盆系岩浆活动极其强烈,以花岗岩为主,主体时代为二叠纪—三叠纪(260~240 Ma),次为早古生代(450~380 Ma),反映两次大的岩浆作用旋回;东昆仑弧盆系发育晚泥盆世和晚三叠世两套磨拉石建造。上述特征表明,区内存在两次不同的造山事件,分别代表了早古生代昆中洋(原特提斯弧后洋盆)和晚古生代阿尼玛卿洋(古特提斯)关闭及对应两侧大陆的碰撞拼合(吴福元等, 2020)。

阿尔金弧盆系,由北而南由阿北微陆块、北阿尔金缝合带、阿中微陆块和南阿尔金缝合带组成。阿北微陆块实际上是塔里木陆块的一部分,其基底为高角闪岩相-麻粒岩相变质的太古宙—古元古宙

米兰群、新太古代 TTG 片麻岩和各类古元古代花岗片麻岩,盖层为未变质的中晚元古代安南坝群。北阿尔金缝合带,主要由古生代俯冲混杂岩、中高级变质的阿尔金群、少量呈透镜状产出的高压-超高压变质岩(榴辉岩)—镁铁-超镁铁杂岩—花岗岩和少量碎屑岩组成;花岗片麻岩时代 940~900 Ma,镁铁-超镁铁岩原岩时代 780~730 Ma,高压变质作用时代~500 Ma。阿中微陆块,又称阿尔金微陆块,主要由中晚元古代浅变质-未变质片岩-千枚岩、砾岩-砂岩-灰岩等组成,具体时代难以限定;其南部发育大量榴辉岩,变质作用时代与北侧缝合带相同,均为~500 Ma。阿中微陆块以南的南阿尔金缝合带,主要为早古生代俯冲碰撞混杂岩(刘良等, 2013, 2015; 吴福元等, 2020)。

西昆仑弧盆系,自北而南可以划分为北昆仑微陆块、库地缝合带(北昆仑洋盆,原特提斯弧后盆地)、南昆仑岛弧、康西瓦缝合带(南昆仑洋盆,古特提斯洋)和巴颜喀拉(甜水海)微陆块,后 2 个单元属古特提斯(后述)。北昆仑微陆块由太古—中元古代古老变质岩系、新元古代沉积岩和早古生代花岗岩构成,被认为曾是塔里木陆块的一部分,早古生代时转变为南侧大洋(北昆仑洋)俯冲形成的活动大陆边缘。南昆仑岛弧组成复杂,古生代—早中生代花岗岩大量发育,还发育大量变质沉积岩及大理岩,原认为属中、新元古代地层,现多认为是早古生代的增生杂岩(肖文交等, 2000);康西瓦早古生代初期沉积岩被 505 Ma 花岗岩侵入并显示晚古生代—早中生代变质改造(许志琴等, 2004; 张传林等, 2019)。库地缝合带,其蛇绿岩辉长岩和辉石岩脉体时代为 526~494 Ma,还发育大片高级变质岩系,以前多被认为属于古老的变质地体,但不排除是变质的增生杂岩。北昆仑微陆块南部发育大量 440 Ma 花岗岩,被认为是库地洋(北昆仑洋)向北俯冲形成的岩浆弧,但被 410 Ma 的碰撞型岩体所切割。但南昆仑地体发育 510~400 Ma 花岗岩,其中表征造山后的 A 型花岗岩为 400 Ma,少部分花岗岩形成于 370 Ma,该地块内部还发育泥盆纪磨拉石建造,因此早古生代花岗岩的形成部分来自北侧库地洋向南俯冲的贡献(丁道桂等, 1996; Zhang et al., 2019b; 张传林等, 2019)。推测库地洋盆大约在 440~410 Ma 左右闭合(吴福元等, 2020)。

## (2) 秦-祁-昆造山带构造演化

华北-塔里木陆块以南的华南陆块、柴达木、

中祁连等微陆块是在新元古代—早古生代早期从冈瓦纳大陆北缘裂离出来,这些陆块/微陆块之间以多岛洋分割,分散在大洋中间(高长林等, 2005; Li et al., 2008),在早古生代经历了陆块/微陆块之间的俯冲与拼合过程,并伴随多条蛇绿岩带和高压-超高压变质带的形成,如北秦岭缝合带、北祁连缝合带、柴北缘缝合带、阿尔金缝合带等(李三忠等, 2016)。根据碎屑锆石对比(Cao et al., 2016),宽坪群碎屑岩和北祁连下古生界物源没有华北陆块组成,说明北秦岭洋(宽坪洋)、北祁连洋、北阿尔金洋是分割性的(弧后)洋盆(李三忠等, 2016)。根据北秦岭—中祁连带状分布的早古生代花岗岩,可以判断早古生代宽坪洋是向南俯冲到中阿尔金-中祁连-北秦岭微陆块之下,或朝柴达木微陆块外侧的欧龙布鲁克(达肯达坂群)和昆中(金水口群)微陆块之下俯冲,宽坪洋—北祁连洋—北阿尔金洋南侧是活动大陆边缘,而北侧华北陆块南缘、塔里木陆块西南缘、柴达木微陆块内南北侧残存的下古生界都为被动陆缘沉积建造。此外,双变质带特征的岩石学标志也进一步指示宽坪洋向南的俯冲极性,向西延伸至北祁连、柴北缘到西昆仑也揭示早古生代的向南俯冲极性。商丹洋晚古生代向北俯冲,影响到华北陆块南缘,晚泥盆世华北—北秦岭—中祁连—中阿尔金—柴达木—塔里木与冈瓦纳北缘拼合(李三忠等, 2016)。

此外,印支陆块内部(越南南部)东西向展布的三歧-色潘(Tam Ky-Phuoc Son Sepon)缝合带,分割北部的长山微陆块(Truong Son)和南部的昆嵩微陆块(Kontum),发育早古生代 Hiep Duc 蛇绿岩,北侧发育早古生代花岗岩和变质岩,是早古生代造山带,但在三叠纪被叠加改造(Nakano et al., 2007; Tran et al., 2014; Shi et al., 2015; Gardner et al., 2017; Nguyen et al., 2019)(吴福元等, 2020)。应归属原特提斯东部(现泛华夏大陆南部)弧盆系。

中国云南昌宁-孟连带与原特提斯同期的早古生代蛇绿岩也有少量发育,在志留纪 440~420 Ma 闭合,之后发育泥盆纪磨拉石建造,则不应归属原特提斯东部(现泛华夏大陆南部)弧盆系,而是同期冈瓦纳大陆东部(后来的基梅里大陆)早古生代的弧盆系。紧邻该缝合带东侧的澜沧群为早古生代火山-沉积建造(Nie et al., 2017),原澜沧江带存在早古生代弧型岩浆岩(Lehmann et al., 2013),带内存在南汀河、湾河和牛井山蛇绿岩(444~439 Ma)

(王保弟等, 2013, 2018)。该缝合带继续向南进入缅甸东部、泰国和马来西亚境内,并一直延伸至印度尼西亚,称清迈-本洞-劳勿(Chiang Rai-Bentong-Raub)缝合带,西侧为 Inthanon 增生杂岩带,东侧为 Sukhothai 弧(Sone and Metcalfe, 2008)。Sukhothai 弧向北相当于云南的临沧岩体,向南与马来半岛盛产锡矿的花岗岩相连, Sukhothai 弧与印支陆块的界限相当于澜沧江缝合带(后述),向南与泰国的 Nan 和 Sra Kaeo 缝合带相连(吴福元等, 2020)。

总之,秦-祁-昆弧盆系,经过新元古代—早古生代造山作用,将塔里木、华北、华南、印支等陆块及其周缘微陆块(如敦煌、阿拉善微陆块),拼合为泛华夏大陆(Cathaysia)。其南缘南昆仑-阿尼玛卿-南秦岭晚古生代缝合带构成了原特提斯造山带和古特提斯造山带的构造分界。

## 1.2 古特提斯造山带

古特提斯造山带,位于波罗的陆块—哈萨克斯坦-准噶尔“陆块”—泛华夏大陆(阿赖微陆块—塔里木陆块—华北陆块—华南(扬子)陆块及秦-祁-昆新元古代—早古生代造山带)南侧。古特提斯洋,活动时间为志留纪(440 Ma)—三叠纪(200 Ma)(Metcalfe, 2021),形成于劳俄(及其后来的劳亚)大陆—泛华夏大陆与基梅里大陆(Cimmeria, 此时位于冈瓦纳大陆东北缘)之间。基梅里大陆包括土耳其(安纳托利亚)、中伊朗、阿富汗法拉赫和赫尔曼德、羌塘、拉萨、中缅马苏等微陆块,二叠纪从冈瓦纳大陆北部裂离,三叠纪远离冈瓦纳大陆(Şengör, 1984, 1990; Scotese et al., 2022)。正是基梅里大陆逐渐向北漂移,并在三叠纪末(~200 Ma)与劳亚大陆的拼合,使古特提斯洋不断缩小—消亡,古特提斯及其边缘弧盆系俯冲消减—碰撞造山,最终形成古特提斯三叠纪造山带。

古特提斯造山带,北界为断续分布的斯塔夫罗波尔-曼格什拉克-阿姆达利亚晚古生代缝合带,向东过帕米尔造山带,与康西瓦(南昆仑)-阿尼玛卿-勉略(南秦岭)晚古生代缝合带相连。南界为高加索-赫拉特—澜沧江三叠纪缝合带,南与新特提斯造山带相邻。古特提斯造山带因大致位于丝绸之路(Silk Road)古道,又称丝绸之路晚古生代—三叠纪岩浆弧-弧碰撞区(Natal'in and Şengör, 2005)。以帕米尔造山带为界,古特提斯造山带分为西部和东部(图 2)。

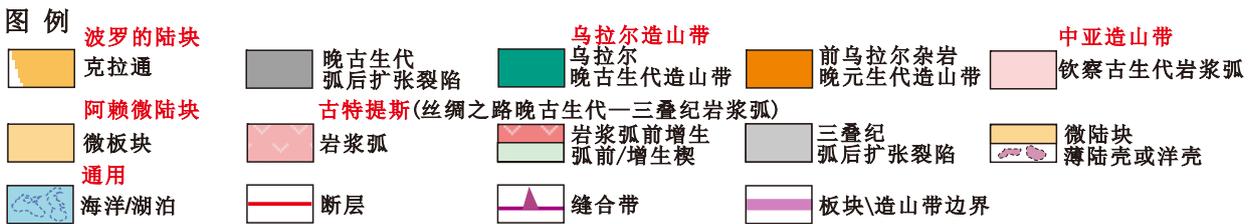
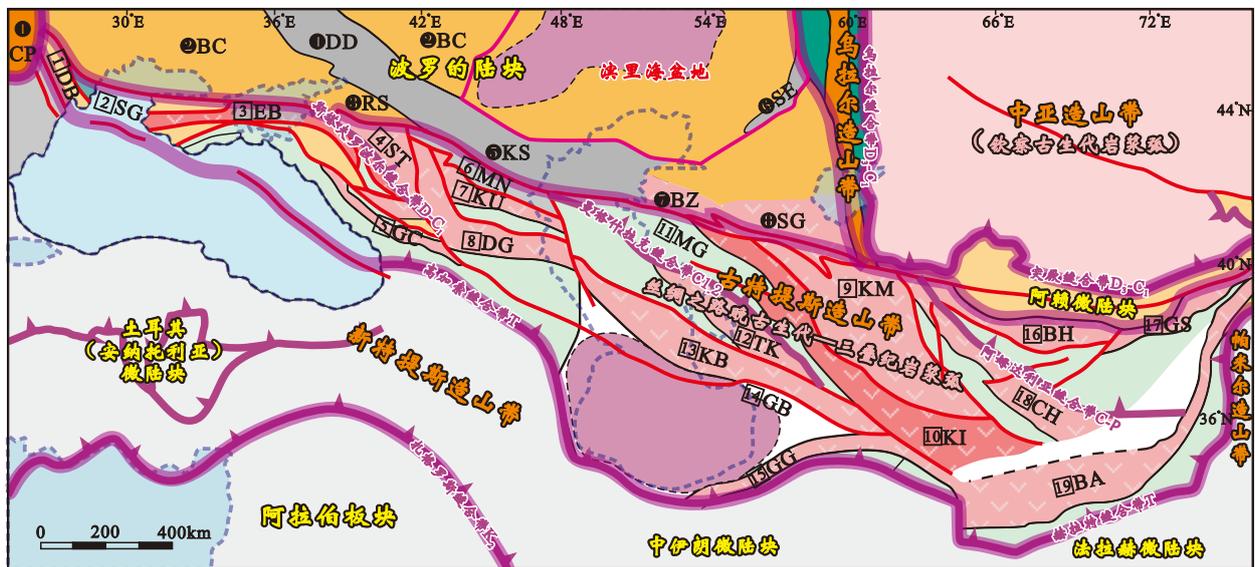
1.2.1 古特提斯造山带西部

古特提斯造山带西部弧盆系,分布在波罗的陆块—乌拉尔造山带—哈萨克斯坦-准噶尔“陆块”—阿赖微陆块南侧,东至帕米尔造山带,南界为高加索-赫拉特三叠纪缝合带(图5)。

波罗的陆块边界断裂的中乌斯秋尔特断裂北部是南倾的大陆边缘弧索格达(SG, Sogdian)岩浆弧(C-T), 钻遇地层为上石炭统—下二叠统凝灰岩、安山岩、玄武岩、页岩、砂岩和夹浅海生物灰岩, 火山岩 K-Ar 年龄分别为(255±10)Ma、(249±7)Ma、(223±10)Ma 和(197±7)Ma。北乌斯秋尔特盆地布扎奇(BZ, Buzachi)岩浆弧, 上石炭统—下二叠统为

海相页岩和碳酸盐岩, 下部夹 6~50 m 安山岩; 上二叠统和三叠系见凝灰岩, 还见 K-Ar 年龄 225 Ma 的花岗岩, 表明火山(岩浆)活动延续到了三叠纪。索格达弧以西为第聂伯-顿涅茨拗拉谷(DD, Dniepr Donets Aulacogen)弧后扩张裂陷(D—C)—卡宾斯基隆起(KS, Karpinsky Swell)弧后扩张裂陷(D—C), 该期弧后扩张裂陷向东分两支延伸到了滨里海盆地, 一支为滨里海盆地中央拗陷弧后扩张裂陷(D—C), 另一支为滨里海盆地东南拗陷-南恩巴(SE)弧后扩张裂陷(D—C)(图5)。

波罗的陆块中乌斯秋尔特断裂以南的古特提斯(丝路弧)西部弧盆系, 可划分出 18(+4)个构造



**地质体说明:** ①CP喀尔巴阡山Carpathians.  
**波罗的板块:** ②BC波罗的克拉通Batic Craton; ③RS罗斯托夫凸起Rostov Salient; ④DD第聂伯-顿涅茨拗拉谷(弧后裂陷)Dniepr Donets Aulacogen; ⑤KS卡宾斯基隆起Karpinsky Swell; ⑥SE南恩巴隆起South Enba Uplift; ⑦BZ布扎奇半岛Buzachi Peninsula; ⑧SG索格达弧Sogdian arc(晚古生代)。  
**古特提斯(丝绸之路)岩浆弧:** ①DB北多布鲁贾North Dobrudja; ②SG斯凡图-格奥尔格Sfantu Gheorghe; ③EB埃伊斯克-别列赞斯克Eysk-Berezansk弧前增生岩浆弧(P-T); ④ST斯塔夫罗波尔Stavropol岩浆弧(D-C); ⑤GC大高加索Greater Caucasus岩浆弧及增生楔(D-P-T); ⑥MN曼尼奇槽Manych trough弧后扩张裂陷(T); ⑦KU库玛Kuma岩浆弧及增生楔(T); ⑧DG达吉斯坦Dagestan岩浆弧及增生楔(T); ⑨KM卡拉库姆Karakum岩浆弧(D-P-T); ⑩KI弧前增生岩浆弧(D-P-T); ⑪MG曼格什拉克Mangyshlak弧前增生楔(杂岩)(C-T); ⑫TK图尔基尔Tuarkyr岩浆弧及增生楔(S-D/C-P-T); ⑬KB卡拉博加兹Karabogaz岩浆弧(S/D-C); ⑭GB大巴尔汗山脉Great Balkhan Range增生楔(C-T); ⑮GG戈尔甘Gorgan岩浆弧及增生楔(P); ⑯BH布哈拉Bukhara岩浆弧及增生楔(C-P); ⑰GS吉萨尔Gissar岩浆弧及增生楔(C-P); ⑱CH察尔津Chardjou岩浆弧及增生楔(C-T); ⑲BA班德埃米尔Bande Amir(马什哈德-北帕米尔弧岩浆弧及增生楔Mashhad-North Pamir arc, P-T)。

图5 古特提斯造山带(西部)构造特征(据 Bakirov, 1970; Natal'in and Şengör, 2005 修编)

Fig. 5 Structural Characteristics of the western Paleotethys Orogenic Belt (modified from Bakirov, 1970; Natal'in and Şengör, 2005)

单元,为微陆块或岩浆弧及其弧前增生杂岩,由北西向南东依次为①北多布鲁贾(DB, North Dobrudja)微陆块;②斯凡图-格奥尔格(SG, Sfantu Gheorghe);③埃伊斯克-别列赞斯克(EB, Eysk-Berezansk)弧前增生岩浆弧(P—T);④斯塔夫罗波尔(ST, Stavropol)岩浆弧(D—C);⑤大高加索(GC, Greater Caucasus)岩浆弧及增生楔(D—P—T—J);⑥曼尼奇槽(MN, Manych trough)弧后扩张裂陷(T);⑦库玛(KU, Kuma)岩浆弧及增生楔(T);⑧达吉斯坦(DG, Dagestan)岩浆弧及增生楔(T);⑨卡拉库姆(KM, Karakum)岩浆弧(D—P—T);⑩KI弧前增生岩浆弧(D—P—T);⑪曼格什拉克(MG, Mangyshlak)弧前增生楔(杂岩)(C—T);⑫图尔基尔(TK, Tuarkyr)岩浆弧及增生楔(S—D—C—P—T);⑬卡拉博加兹(KB, Karabogaz)岩浆弧(S—D—C);⑭大巴尔汗山脉(GB, Great Balkhan Range)增生楔(C—T);⑮戈尔甘(GG, Gorgan)岩浆弧及增生楔(P);⑯布哈拉(BH, Bukhara)岩浆弧及增生楔(C—P);⑰吉萨尔(GS, Gissar)岩浆弧及增生楔(C—P);⑱察尔津(CH, Chardjou)岩浆弧及增生楔(C—T);⑲班德埃米尔(BA, Bande Amir)(马什哈德-北帕米尔弧 Mashhad -North Pamir arc)岩浆弧及增生楔(P—T)。其中,④斯塔夫罗波尔(ST)岩浆弧(D—C)钻遇千枚岩、页岩、硅质页岩、砂岩、石灰岩、泥灰岩、辉绿岩、安山岩和二长岩(D—C<sub>1</sub>),被花岗岩(C<sub>3</sub>—P)侵入;⑫图尔基尔(TK)岩浆弧及增生楔(S—D—C—P—T)古生代晚期花岗岩侵入体钻遇岛弧辉长岩和超镁铁岩(C<sub>1,2</sub>)及活动大陆弧和浅海火山碎屑岩(P);⑯布哈拉(BH)和⑰吉萨尔(GS)岩浆弧及增生楔(C—P)南缘阿姆达利亚(Amudarya)钻遇镁铁-超镁岩(图5)。

晚古生代,古特提斯北部持续发育一个向劳亚大陆—泛华夏大陆俯冲的俯冲带,从斯塔夫罗波尔岩浆弧(D—C)—卡拉库姆岩浆弧-弧前增生岩浆弧-弧前增生楔(杂岩)(D—P)—布哈拉岩浆弧及增生楔(C—P)—吉萨尔(Gissar)岩浆弧及增生楔(C—P)被后期走滑断裂切割的缝合线(D—C—P),经北帕米尔,到塔里木陆块南部的南昆仑缝合线(C—P),被阿尔金走滑断裂切割,到阿尼玛卿缝合带(C—P),向东可一直到秦岭-大别山造山带南缘的缝合带(C—P)。与该俯冲带相关的岩浆弧,就是丝绸之路晚古生代岩浆弧。由于俯冲作用一直延续到了三叠纪(局地可延续到侏罗纪),因此与俯

冲相关的丝绸之路晚古生代岩浆弧除在三叠纪继续发生岩浆作用外,古特提斯石炭纪—二叠纪缝合带南侧还发育丝绸之路三叠纪岩浆弧,直到古特提斯关闭,形成高加索缝合带(T)—赫拉特缝合带(T)—澜沧江缝合带(T)。这条古特提斯三叠纪缝合带是古特提斯造山带的南界,也是丝绸之路晚古生代—三叠纪岩浆弧的南界。

由于斜向俯冲、缩短和弧-弧碰撞、弧后伸展和陆内变形,丝路弧的演化经历了相当复杂的过程。晚古生代,泛华夏大陆(塔里木陆块—华北陆块)与劳亚大陆(哈萨克斯坦-准噶尔“陆块”—西伯利亚陆块)拼贴时,塔里木陆块北缘呈球状右旋运动(290~245 Ma)(Laurent-Charvet et al., 2003),塔里木陆块南缘引发大规模(约2000 km)剪切。位于塔里木陆块—华北陆块南部边缘的丝路弧受此影响,在早二叠纪晚期纵向缩短约1700 km以适应亚洲形状的变化,这种缩短与丝绸之路弧之南的古特提斯斜向俯冲引起的岩浆弧平移一致(图6A、6B)(Natal'in and Şengör, 2005)。

缩短前,丝路弧西部沿吉萨尔弧—布哈拉弧—乌斯秋尔特(索格达弧)一线,存在与二叠纪俯冲相关的岩浆活动(图6a)。三叠纪早期,察尔金弧、卡拉库姆弧和图尔基尔弧活动年龄相似,这些岩浆弧走滑到原弧前面(图6b、6c、6d),之后卡拉博加兹弧开始更年轻的岩浆活动并继续走滑(图6e)。库马弧、斯塔夫罗波尔弧和埃伊斯克-别列赞斯克弧相对于波罗的陆块移动较慢,而其他弧进一步向西走滑,最后马什哈德-北帕米尔弧和戈尔甘弧走滑到位,南里海弧后盆地打开(图6f)。

### 1.2.2 古特提斯造山带东部

古特提斯造山带东部弧盆系,分布在帕米尔造山带东侧,塔里木陆块—秦-祁-昆造山带—华北陆块南侧,华南(扬子)陆块西侧。北界为康西瓦(南昆仑)-阿尼玛卿-勉略(南秦岭)晚古生代缝合带,南界为澜沧江三叠纪缝合带,其间由北向南依次为松潘-甘孜微陆块、甘孜-理塘三叠纪缝合带、中咱微陆块(含义敦岛弧)、金沙江三叠纪缝合带、甜水海-北羌塘微陆块(属基梅里大陆)、昌都-思茅微陆块(属印支陆块)(图4)。

康西瓦(南昆仑)-阿尼玛卿-勉略(南秦岭)晚古生代缝合带,西起慕士塔格山,向东经康西瓦、苏巴什、木孜塔格、布喀达坂、西大滩、阿尼玛卿、洪水川、玛沁至玛曲,继续东延受若尔盖前陆褶冲

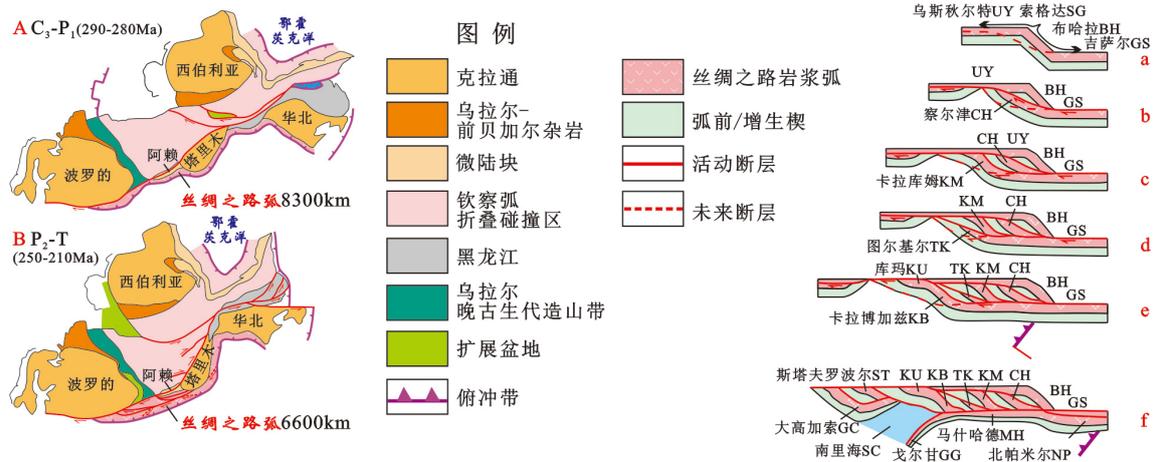


图6 丝绸之路岩浆弧走滑碰撞示意图(据 Natal'in and Şengör, 2005 修编)

Fig. 6 Schematic diagram of strike slip folding of magma arc along the Silk Road (modified from Natal'in and Şengör, 2005)

带的叠覆而断续分布,于川西北塔藏地区再次显露,并与勉县-略阳缝合带联为一体。带内的前寒武系变质岩、基性-超基性岩和古生代蛇绿岩、蛇绿混杂岩、增生杂岩、高压变质岩等各类“岩块”,以及强烈剪切变形的片岩类、板岩类等十分发育,岩石组合类型多样,分布广泛(潘桂棠等,2012)。

值得注意的是,康西瓦缝合带北侧的南昆仑(岛弧)发育 510~400 Ma 和 240~210 Ma 的两套花岗岩,发育泥盆纪和三叠纪两套磨拉石建造,该缝合带晚古生代向北俯冲。西大滩-阿尼玛卿洋以布青山混杂岩为代表,出现早古生代和晚古生代两套蛇绿岩,洋盆最后关闭的时代在 250~240 Ma。东昆仑地区岩浆活动极其强烈,以花岗岩为主,主体时代为二叠纪—三叠纪(260~240 Ma),次为早古生代(450~380 Ma),反映两次大的岩浆作用旋回;也发育晚泥盆世和晚三叠世两套磨拉石建造,表明也存在两次不同的造山事件。勉略缝合带,向西与阿尼玛卿缝合带相接,但在勉略带一直未发现古生代蛇绿岩,以前认定的蛇绿岩现在都被确认为新元古代岩浆杂岩;但勉略带之北三叠纪岩浆作用极为强烈,这是勉略洋向北俯冲直至三叠纪关闭的重要证据。继续向东,古特提斯留下的遗迹只有大别-苏鲁地区大面积发育的高压-超高压变质岩,但不排除大别山北麓的北淮阳杂岩是当时大洋向北俯冲形成的增生杂岩的可能(吴福元,2020)。因此,康西瓦-阿尼玛卿-勉略缝合带,代表了早古生代原特提斯东部(现南部)边缘洋盆和晚古生代古特提斯北部边缘洋盆,分两期关闭及对应两侧(微)陆块的碰撞拼合。

松潘-甘孜微陆块,主要包括北部巴颜喀拉盆地和南部雅江盆地,其间被鲜水河混杂带隔开。①巴颜喀拉晚古生代—中三叠世弧后盆地(晚三叠世转化为弧后前陆盆地),巴颜喀拉盆地位于泛华夏大陆(华南陆块、秦-祁-昆古生代造山带)与中甸微陆块之间,现呈倒三角形形状,盆地几乎全为三叠系巨厚(数千米至数万米)复理石沉积,是古特提斯洋关闭缩小—消亡前的沉积响应。震旦系和早古生界为被动陆缘,发育浅海相碎屑岩-碳酸盐岩和深海相复理石;晚古生代为弧后盆地,泥盆纪—石炭纪为碳酸盐缓坡、台地,石炭纪—二叠纪开始弧后扩张,形成巴颜喀拉洋盆;中三叠世,弧后洋盆向南、向北双向俯冲,盆地在不断收缩过程中演化为残留海,沉积一套陆源碎屑浊积岩;晚三叠世转入饱和充填的弧后前陆盆地阶段,充填了上万米厚的细碎屑浊积岩和复理石;晚三叠世末,前陆盆地充填消亡。②雅江晚三叠世残余盆地,位于西侧义敦岛弧和甘孜-理塘结合带与东北侧巴颜喀拉盆地之间,是在二叠纪被动大陆边缘盆地基础上发展起来的,早—中三叠世随甘孜-理塘洋盆扩张,为被动边缘盆地滨-浅海相碎屑岩-碳酸盐岩建造;晚三叠世随着甘孜-理塘洋壳俯冲消减-洋盆闭合消亡,西侧形成义敦岛弧-盆地系,东侧雅江盆地转变为残余盆地—残留海盆,形成巨厚的浅海-次深海相的砂泥质复理石沉积,晚三叠世末期充填消亡;白垩系为含煤和红色磨拉石建造。鲜水河混杂带呈北西向分布,相对集中分布于炉霍、道孚一带,其间的三叠系浊积岩见基性、超基性岩与枕状玄武岩共生的蛇绿岩(邓永福,1984;莫宣学等,1993;罗改等,

2021); 侏倭一带下二叠统见橄榄玄武岩、火山角砾岩及灰岩、砂板岩, 下三叠统见砂板岩、硅质浊积岩; 鲜水河混杂岩带洋盆形成于早二叠世晚期至早中三叠世, 消减闭合于晚三叠世中晚期(潘桂棠等, 2001)。

甘孜-理塘三叠纪缝合带, 主要由洋脊型拉斑玄武岩、苦橄玄武岩、镁铁质与超镁铁质堆晶岩、辉长岩、辉绿岩墙、蛇纹岩(变质橄榄岩)及放射虫硅质岩等组成, 呈被肢解的构造岩块与外来的奥陶纪至三叠纪灰岩块、其他沉积岩块体及复理石砂板岩、裂谷型碱性玄武岩等组成构造混杂岩带。甘孜-理塘洋盆是在石炭纪较深水沉积的裂堑式深海盆基础上进一步扩张而成, 形成时代为晚二叠世至早中三叠世, 洋壳俯冲于晚三叠世中期。西侧形成较为典型的义敦岛弧-弧后盆地系, 闭合和充填消亡于晚三叠世末(莫宣学等, 1993; 刘增乾等, 1993; 潘桂棠等, 2001)。

义敦晚三叠世岛弧, 是甘孜-理塘洋盆向西俯冲消减作用的产物。主要为晚三叠世火山-沉积岩系和印支晚期-燕山期花岗岩基, 发育较完整的弧盆系(潘桂棠等, 2001)。

中咱微陆块, 具前寒武系变质褶皱基底; 下古生界为被动陆缘中绿片岩相片岩, 中寒武统一志留系为滨-浅海相碎屑岩、碳酸盐岩。泥盆系不整合于下伏地层之上, 上古生界为被动边缘裂陷浅水向西部边缘较深水过渡的中低绿片岩相片岩夹大套变基性火山岩, 泥盆系—三叠系为滨、浅海相碳酸盐岩-碎屑岩, 二叠系夹基性火山岩; 东西两侧晚古生代为被动边缘沉积, 与西侧金沙江洋盆和东侧甘孜-理塘洋盆发育时间相对应, 形成一套被动边缘盆地中的滑塌堆积、浊积岩及基性、中基性火山岩组合。中—新生代以来一直处于隆起剥蚀状态(潘桂棠等, 2001)。

金沙江三叠纪缝合带, 主要由蛇纹石化超镁铁岩、超镁铁堆晶岩(辉石岩-纯橄榄岩)、辉长岩-辉绿岩墙群、洋脊型玄武岩及硅质岩和放射虫硅质岩组成, 与其他被肢解的泥盆纪、石炭纪、二叠纪灰岩块及其基质绿片岩构成蛇绿混杂岩带。金沙江洋盆形成于早石炭世至早二叠世早期(古特提斯鼎盛时期), 早二叠世晚期开始向西俯冲消减, 分别形成朱巴龙-羊拉-东竹林洋内弧及其西侧的西渠河-雪压央口-吉义独-工农弧后盆地(洋壳基底)、江达-德钦-维西陆缘火山弧及其火山弧西侧的昌

都-兰坪-思茅弧后盆地(陆壳基底)(王立全等, 1999; 张克信等, 2021)。中三叠世洋盆闭合, 转入残留海盆并发生弧-陆碰撞, 形成江达-德钦-维西碰撞型火山弧及其西侧的昌都-兰坪-思茅弧后前陆盆地, 上三叠统磨拉石建造不整合覆盖在蛇绿混杂岩带之上(潘桂棠等, 2001; 朱同兴等, 2020)。

甜水海微陆块, 基底为前寒武纪(最老地层为古元古界)变质岩系; 寒武系—石炭系为稳定陆块陆表海盆地浅海相碳酸盐岩-碎屑岩; 二叠系为活动边缘裂陷盆地深水陆棚-斜坡相碎屑岩-碳酸盐岩夹硅质岩和玄武岩、火山角砾岩组合; 三叠系—白垩系为稳定陆块陆表海盆地滨浅海相碎屑岩碳酸盐岩。受北侧康西瓦-阿尼玛卿古特提斯洋向北俯冲消减及晚三叠世强烈的弧-陆碰撞造山作用影响, 微陆块西北侧见与碰撞作用有关的中钾钙碱性系列的岛弧型花岗岩类(其中闪长岩 229~208 Ma, 二长花岗岩 214 Ma)(尹福光等, 2019)。

北羌塘微陆块, 基底可能为前奥陶系变质褶皱“软基底”中—深变质岩系; 中奥陶统一泥盆系主要为较稳定的台型浅海碎屑岩-碳酸盐岩沉积; 石炭纪—二叠纪为次稳定台型浅海相碎屑岩与碳酸盐岩组合, 并伴有板内拉张火山活动; 早—中三叠世受金沙江洋盆向南俯冲消减作用影响为弧后盆地, 下—中三叠统发育海陆过渡相-浅海相碎屑岩和碳酸盐岩; 晚三叠世受弧陆碰撞造山作用制约转变为(弧后)前陆盆地, 上三叠统为海陆交互相碎屑岩角度不整合于上二叠统之上; 侏罗系是北羌塘前陆盆地充填主体, 沉积了厚度巨大的河流三角洲-滨浅海的海相磨拉石沉积, 白垩系主要为一套陆相磨拉石建造沉积。北羌塘微陆块南缘发育陆缘火山岩浆弧带, 带内主体发育陆相—海陆交互相中酸性系列火山岩和碎屑岩及其侵入岩, 为碰撞—后碰撞期火山岩浆活动, 晚三叠世碰撞型花岗岩类侵入体分布于唐古拉山口以东, 花岗闪长岩-二长花岗岩(215±4 Ma, 晚三叠世)。侏罗纪—白垩纪为碰撞—后碰撞期侵入岩浆活动的中酸性侵入岩(尹福光等, 2019)。

昌都-思茅微陆块(后者属印支陆块), 发育较完整的晚古生界和中生界, 东西两侧分别对称发育陆缘火山-岩浆弧, 自东向西划分为江达-维西陆缘弧带, 向南接绿春陆缘弧带; 中间为昌都-思茅中生代双向弧后前陆盆地; 开心岭-东达山陆缘弧带, 向南连接景洪陆缘弧带。①江达-维西-绿春陆缘弧,

岩浆岩极为发育,是二叠纪—三叠纪金沙江洋盆向昌都思茅微块(属印支陆块)之下俯冲形成的。最老的基底为中—古元古界深变质岩系;早二叠世晚期进入陆缘弧发育阶段,弧火山岩从早到晚依次发育拉斑玄武岩系列、钙碱性系列、钾玄武岩系列,标志着岛弧产生—发展—成熟的完整过程(莫宣学等, 1993),弧火山活动一直持续到晚二叠世,为海陆交互相—浅海相碎屑岩、碳酸盐岩和中基性—中酸性系列火山岩;早—中三叠世进入弧—陆碰撞阶段,形成碰撞型火山岩浆作用,叠加于二叠纪俯冲型陆缘火山弧之上,发育类似弧火山岩性质的玄武安山岩—安山岩—英安岩—流纹岩系列的火山岩组合。②昌都—思茅弧后前陆盆地,思茅具中元古界结晶基底,昌都奥陶系为变形强烈的浅变质岩系,思茅早古生界为深水陆棚—斜坡相复理石和笔石页岩建造;昌都下泥盆统不整合覆于奥陶系上构成褶皱基底;晚古生代金沙江洋盆拉张将昌都—思茅微陆块从华南(扬子)陆块裂离,昌都发育浅海台地过渡相碳酸盐岩和碎屑岩,思茅石炭系为被动边缘裂陷见基性火山岩及硅质岩,二叠纪转化为弧后盆地滨浅海相—深水陆棚相碎屑岩及碳酸盐岩组合夹中酸性火山岩、放射虫硅质岩;早—中三叠世由于盆地两侧弧陆碰撞造山转变为弧后前陆盆地,昌都局部发育下、中三叠统,上三叠统一白垩系为弧后前陆盆地沉积序列,思茅上三叠统不整合在古生界之上,为海陆交互相滨浅海相碎屑岩—碳酸盐岩沉积。③开心岭—东达山—景洪陆缘弧带,开心岭—东达山基底为元古界角闪岩相变质岩系;景洪最老地层为中上泥盆统被动边缘斜坡至盆地边缘海底扇浊积岩和硅质岩(李兴振等, 1999),开心岭—东达山上泥盆统为绿片岩相变质岩系(原岩为活动边缘盆地碎屑岩及泥质岩和火山岩建造);开心岭—东达山下石炭统为海陆交互相含煤线碎屑岩夹碳酸盐岩建造;二叠纪为主造弧期,主体为浅海相碳酸盐岩—碎屑岩和中基性—中酸性火山岩建造,火山岩为岛弧型拉斑玄武岩—钙碱性玄武岩、安山岩、英安岩、流纹岩、钾玄武岩及相应的火山碎屑岩组合;开心岭—东达山早三叠世为弧陆碰撞阶段,发育中酸性岩浆活动,景洪三叠纪为弧弧碰撞,发育碰撞型岩浆岩、后碰撞弧岩浆岩及碰撞后伸展型岩浆岩,为碎屑岩—碳酸盐岩及玄武岩、安山岩和流纹岩组成的岛弧型火山沉积建造。侏罗纪—白垩纪均为陆相磨拉石沉积(尹福光等, 2019; 潘桂棠等, 2022; 林方成等, 2022)。

澜沧江三叠纪缝合带,分为3段,西段为龙木错—双湖缝合带,东段为乌兰乌拉—北澜沧江缝合带,南段为南澜沧江缝合带。①龙木错—双湖缝合带,主要由石炭纪—二叠纪含砾板岩、砂板岩、火山岩和强烈变形的蓝片岩、绿片岩、千糜岩、糜棱岩等低温中—高压变质岩系及分布其中的超基性岩、枕状玄武岩、放射虫硅质岩、结晶灰岩、大理岩等大小不等的岩块(片)和辉长岩绿岩脉岩墙组成,表现为较典型的蛇绿构造混杂岩特征,岑托和平错查多岗日洋岛增生杂岩带( $C_2—P_2$ )呈巨大的构造岩块夹持于龙木错—双湖缝合带中。②乌兰乌拉—北澜沧江缝合带,变形强烈,为俯冲碰撞挤压机制造物,与弧弧碰撞密切相关,缝合带中见晚三叠世弧火山岩不整合覆盖,缝合带东侧碎屑岩英安岩—流纹岩弧火山岩组合及晚三叠纪S型花岗岩,表明北澜沧江洋壳的双向俯冲消减特征。③南澜沧江缝合带,北段卷入大型变形构造的地质体包括晚古生代岛弧蛇绿混杂岩、陆缘弧火山岩、弧后盆地沉积岩系,中三叠世碰撞弧酸性火山岩、三叠纪花岗闪长岩,中侏罗世坳陷盆地不整合覆盖在变形构造之上;中段卷入的地质体主要为古生代绿片岩相变质岩;南段卷入了中元古代绿片岩相变质基底,晚古生代陆缘弧石英闪长岩、弧后盆地碳酸盐岩,中三叠世碰撞弧酸性火山岩,三叠纪弧后镁铁—超镁铁杂岩和闪长岩,晚三叠世—早侏罗世陆相火山—沉积岩系(尹福光等, 2019)。

### 1.2.3 古特提斯造山带构造演化

古特提斯洋活动时间为志留纪(440 Ma)—三叠纪(200 Ma)(Metcalf, 2021)。早志留世(~440 Ma),原特提斯洋向东部(现南部)冈瓦纳大陆(泛华夏大陆)俯冲并引起弧后扩张,使泛华夏大陆从冈瓦纳大陆东北部分离(并在晚古生代远离),在泛华夏大陆东北侧(现南侧)打开古特提斯洋(Stampfli et al., 2002; 余星等, 2022)。其间,西部瑞克洋在石炭纪关闭,劳亚大陆与冈瓦纳大陆于320 Ma±在西部拼合为潘几亚超大陆(Pangea),古特提斯洋位于潘几亚超大陆东侧。基梅里大陆在二叠纪从冈瓦纳大陆东北缘分离,并向北漂移,在三叠纪末(~200 Ma)与劳亚大陆的拼合,古特提斯洋同期缩小—俯冲消减—闭合直至造山。同期,在基梅里大陆南部从二叠纪开始弧后扩张形成新特提斯边缘海,三叠纪已形成开阔的新特提斯洋,与古特提斯洋此消彼长。

古特提斯洋晚古生代向北俯冲消减,在其北缘形成晚古生代丝绸之路弧盆系,该弧盆系关闭造山形成古特提斯北界,为断续分布的斯塔夫罗波尔-曼格什拉克-阿姆达利亚晚古生代缝合带,向东过帕米尔造山带,与康西瓦(南昆仑)-阿尼玛卿-勉略(南秦岭)晚古生代缝合带相连。

古特提斯洋晚古生代—三叠纪(西部主要向北,东部为双向)俯冲消亡,随着基梅里大陆最北端与泛大陆(Pangea)拼贴,古特提斯洋在三叠纪末(200 Ma)最终关闭,其南缘弧盆系造山形成古特提斯南界,即高加索-赫拉特—澜沧江三叠纪缝合带。

应该注意的是,古特提斯洋在东部的消亡过程比较复杂,几乎同时消亡的3个弧后洋盆,巴颜喀拉洋盆(476 km,古特提斯北缘弧盆系)、金沙江洋盆(1 800 km,古特提斯主大洋)和澜沧江洋盆(1 200 km,古特提斯南缘弧盆系)(莫宣学,1990估算),呈现与(微)陆块间列的构造(古地理)格局。早二叠世晚期洋盆转入俯冲消减,中二叠世—三叠纪多数微陆块边缘发育陆缘弧、增生弧等,广泛发育石炭纪—三叠纪超基性-基性-中酸性岩浆岩,上三叠统广泛不整合在下伏地层之上,是晚古生代—三叠纪多岛弧盆系发育、弧后扩张、弧-弧或弧-陆碰撞的地质演化(潘桂棠等,2012)。晚古生代—三叠纪,这3个小洋盆几乎同时向南、向北双向俯冲,巴颜喀拉洋盆形成义敦弧盆系,该次级弧盆系关闭造山形成甘孜-理塘三叠纪缝合带,松潘-甘孜微陆块与中咱微陆块拼贴;金沙江弧后洋盆的前锋弧是江达-维西-绿春岛弧,洋盆向西南俯冲消亡—碰撞造山形成金沙江三叠纪缝合带,已与泛华夏大陆拼贴的松潘-甘孜微陆块—中咱微陆块与基梅里大陆最北端的甜水海-北羌塘微陆块和昌都-思茅微陆块拼贴;澜沧江洋盆是金沙江洋朝南向基梅里大陆俯冲形成的弧后洋盆,其双向俯冲消亡(局地可持续到侏罗纪)—碰撞造山形成澜沧江三叠纪缝合带,实现基梅里大陆甜水海-北羌塘微陆块—昌都-思茅微陆块与南羌塘微陆块—保山-滇缅马苏微陆的拼贴。

### 1.3 新特提斯造山带

新特提斯造山带,位于古特提斯造山带南侧,向西至南欧巴尔干半岛、亚平宁半岛及北非阿斯特拉山,向东位于古特提斯造山带西侧,向东南可延至印度尼西亚岛弧,南邻现今非洲板块—阿拉伯板块—印澳板块。北界为高加索-赫拉特—澜沧江

三叠纪缝合带,南界为扎格罗斯缝合带( $K_2$ — $E$ )—雅鲁藏布江缝合带( $J_3$ — $E_2$ )(图1,图4)。

新特提斯造山带,在帕米尔造山带以西,从西向东主要包括亚平宁微陆块、巴尔干微陆块、土耳其微陆块、中伊朗微陆块、卢特微陆块、法拉赫及赫尔曼德微陆块。在帕米尔造山带以东,主要包括南羌塘微陆块、滇缅马苏微陆块、(北、南)拉萨微陆块、西缅微陆块、喜马拉雅微陆块。这些微陆块,实际上是中生代—新生代不同时间拼贴到劳亚大陆(含基梅里大陆)南缘的弧盆系。

新特提斯洋形成于基梅里大陆与非洲—阿拉伯—印度—澳大利亚板块(克拉通)之间,两者是不同时期从冈瓦纳大陆裂离的陆块(群)。新特提斯洋活动时间约为280~65 Ma(Stampfli et al., 2002)。早二叠世(~280 Ma),基梅里大陆从冈瓦纳大陆裂离,在其南侧形成新特提斯洋。三叠纪末(~200 Ma),新特提斯洋向北俯冲,基梅里大陆(中伊朗、南羌塘、滇缅马苏等微陆块)与劳亚大陆(此时已含泛华夏大陆)拼贴,形成高加索-赫拉特—澜沧江三叠纪缝合带,班公湖-怒江弧后洋盆拉开(潘桂棠等,2020)。侏罗纪末(~150 Ma),新特提斯洋向北俯冲速率开始超过洋中脊扩张速率,新特提斯洋开始缩小。白垩纪,伴随大西洋和印度洋扩张,新特提斯洋不断缩小,其间几乎同时,南羌塘微陆块—滇缅马苏微陆块与北拉萨微陆块拼贴造山形成班公湖-怒江缝合带( $T$ - $K_1$ ),北拉萨微陆块与南拉萨微陆块拼贴造山形成狮泉河-嘉黎缝合带( $J_3$ - $K_1$ )。白垩纪末(~65 Ma),印度板块与欧亚大陆(板块)拼贴,新特提斯洋基本关闭,至新生代造山形成扎格罗斯缝合带( $K_2$ — $E$ )—印度河-雅鲁藏布江缝合带( $J_3$ — $E_2$ ),残留地中海、黑海及里海等新特提斯洋子遗。

白垩纪冈瓦纳大陆开启了裂解,由其裂解的非洲板块—阿拉伯板块—印澳板块向北漂移,并在白垩纪末(~65 Ma)与劳亚大陆拼合,新特提斯洋也不断缩小直至消亡,最终在新生代造山形成新特提斯造山带,即阿尔卑斯-喜马拉雅侏罗纪—白垩纪—新生代造山带(已完成造山)和印度尼西亚弧盆带(造山仍在进行中)。

## 2 特提斯造山带构造演化

将原特提斯造山带(钦察弧)(Şengör and Natal'in, 1996)及古特提斯造山带(丝路弧)弧盆系

(Natal'in and Şengör, 2005; 尹福光等, 2019)细节, 与 Scotese(2022)基于全球古地磁数据的板块演化结合, 加上相关生物古地理成果(郭福祥, 2001), 综合编图, 是一种有益的尝试。

特提斯造山带构造演化, 经历了新元古代、早古生代、晚古生代、中生代及新生代 5 个阶段。新元古代, 原特提斯洋扩张转为俯冲; 波罗的陆块与西伯利亚陆块从罗迪尼亚大陆(Rodinia)东缘分离, 原特提斯在波罗的陆块及西伯利亚陆块东缘造山, 形成前乌拉尔和前贝加尔造山带; 同期, 华南陆块(现)东南缘形成华夏造山带(图 7)。早古生代, 原特提斯洋西缘, 在波罗的陆块东缘和西伯利亚陆块东缘(现南缘)形成钦察古生代岩浆弧, 波罗的陆块东缘钦察弧-弧碰撞形成哈萨克斯坦-准噶尔“陆块”, 西伯利亚陆块东缘钦察弧-弧碰撞并与之拼贴; 原特提斯洋东缘, 塔里木、华北、华南、印支等陆块及其周缘小陆块通过秦-祁-昆造山拼合形成泛华夏大陆, 并从冈瓦纳大陆裂离, 古特提斯洋打开。晚古生代, 原特提斯洋关闭, 古特提斯洋扩张转俯冲, 新特提斯洋打开; 波罗的陆块东缘与哈萨克斯坦-准噶尔(弧盆系)陆块碰撞并形成乌拉尔造山带, 二者与西伯利亚陆块拼贴最终形成劳亚大陆, 泛华夏大陆西部与劳亚大陆拼贴, 原特提斯洋关闭; 古特提斯洋向北俯冲, 形成丝绸之路岩浆弧, 古特提斯北缘弧盆系(丝路弧)早期造山; 基梅里大陆从冈瓦纳大陆裂离, 新特提斯洋打开。中生代, 古特提斯洋关闭, 新特提斯洋扩张转俯冲; 基梅里大陆与劳亚大陆拼贴, 古特提斯洋关闭; 冈瓦纳大陆裂解, 大西洋、印度洋打开, 新特提斯洋向北俯冲。新生代, 大西洋、印度洋扩张, 非洲-阿拉伯-印澳板块与劳亚(欧亚)板块碰撞, 新特提斯洋关闭—造山, 原特提斯、古特提斯陆内造山, 形成原、古、新特提斯造山带。

## 2.1 新元古代

全球新元古代构造演化经历了拉伸纪、成冰纪和埃迪卡拉纪 3 个时期(图 7), 新元古代拉伸纪(1 000~720 Ma), 罗迪尼亚(Rodinia)大陆解体。1 000 Ma, 原始古大洋(Paleopanthalassic Ocean)扩张(图 7a)。950~900 Ma, 波罗的陆块和西伯利亚陆块分离(图 7b-c)。850~750 Ma, 原始古大洋扩张转向(东、西两侧)俯冲, 向西的俯冲在波罗的陆块与西伯利亚陆块东缘形成俯冲带(图 7d-f)。

新元古代成冰纪(720~635 Ma), 原特提斯洋继

承原始古大洋, 向东、西两侧俯冲。700 Ma, 古大洋南北扩张, 西伯利亚陆块北部与黑龙江微陆块呈近于 180°扇形打开并形成蒙古-鄂霍次克洋(Mongol-Okhotsk Ocean)雏形; 原特提斯洋(Prototethys Ocean)向东俯冲, 弧后拉伸形成宽坪边缘海及最早的昆仑前锋弧(703±15 Ma); 原特提斯洋向西俯冲, 向波罗的陆块俯冲形成乌拉尔边缘海(Uralian Sea), 向西伯利亚陆块俯冲形成钦察边缘海(Kipchak Sea)(图 7g)。650 Ma, 原特提斯洋向东、西俯冲消减, 宽坪海、乌拉尔海、钦察海“弧后”扩张(图 7h)。

新元古代埃迪卡拉纪(635~541 Ma), 原特提斯洋继续向东、西两侧俯冲, 明显收缩。600 Ma, 古大洋进一步扩张, 全球泛非运动结束, 形成短暂的潘诺提亚超大陆(Pannotia); 原特提斯洋向东、西俯冲, 宽坪、乌拉尔、钦察等原特提斯边缘海继续“弧后”扩张(图 7i)。570~541 Ma, 波罗的陆块和西伯利亚陆块东缘乌拉尔-钦察边缘海弧盆系第一次造山形成新元古代造山带, 即前贝加尔和前乌拉尔弧盆系杂岩镶边, 古生代钦察弧就是以这套杂岩镶边体为前寒武纪基底的微陆块(含岛弧)发展而来的; 伊阿珀托斯洋(Iapetus)开始扩张, 波罗的陆块和西伯利亚陆块连同劳伦大陆开始从潘诺提亚超大陆(Pannotia)裂离(图 7j)。

## 2.2 早古生代

伊阿珀托斯洋(Iapetus)扩张, 潘诺提亚超大陆(Pannotia)解体, 劳伦大陆和波罗的陆块从潘诺提亚超大陆裂离, 波罗的陆块也与劳伦大陆和西伯利亚陆块进一步分离, 其东南为冈瓦纳大陆。原特提斯洋向东、西两侧俯冲, 在东缘泛华夏大陆(位于冈瓦纳大陆西北角)以东弧后扩张形成秦-祁-昆弧盆系, 在西缘波罗的陆块和西伯利亚陆块以东弧后扩张形成钦察弧盆系(图 8)。

### 2.2.1 寒武纪

早寒武世(540 Ma), 伊阿珀托斯洋扩张, 波罗的陆块和西伯利亚陆块进一步分离, 波罗的陆块内部发育裂谷。原特提斯洋向东、西两侧俯冲, 在东缘泛华夏大陆以东弧后扩张形成秦-祁-昆弧后洋盆(如商丹洋盆约在 520 Ma 打开, 北祁连、阿尔金和西昆仑弧后小洋盆也在此阶段打开, 东昆仑弧盆系洋盆约在 580~520 Ma 打开), 在西缘西伯利亚陆块以东弧后扩张形成钦察弧后洋盆, 在西南缘波罗的陆块以东弧后扩张形成乌拉尔弧后洋盆(图 8)。

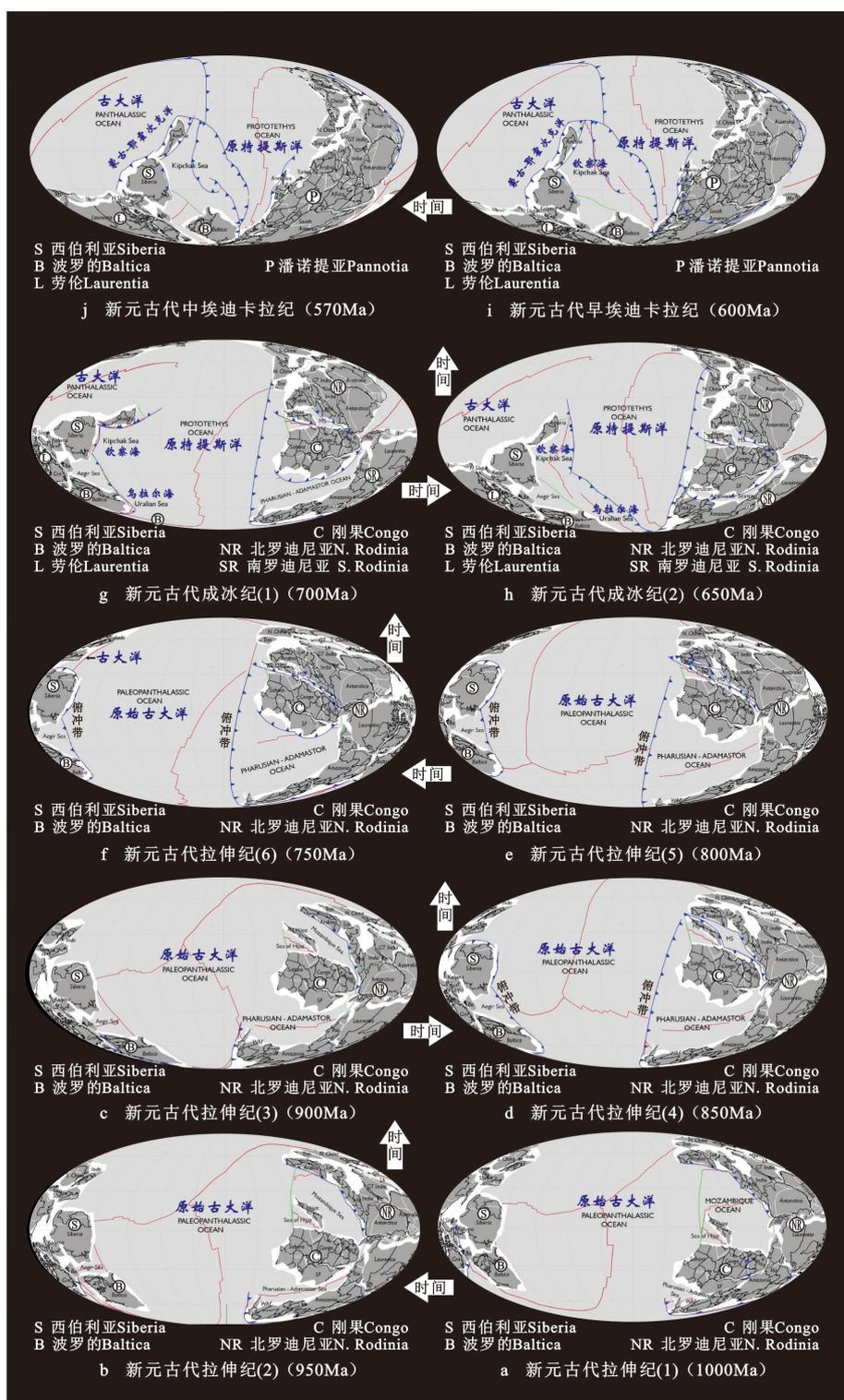


图7 全球(特提斯)新元古代(1 000~570 Ma)板块构造演化图 (Scotese, 2022)

Fig. 7 Evolution of Global (Tethys) Neoproterozoic (1 000~570 Ma) plate tectonics (Scotese, 2022)

晚寒武世(500 Ma), 原特提斯洋继续向东、西两侧俯冲, 原特提斯洋西缘由于弧后扩张, 钦察弧与波罗的陆块分离, 在其西南拉开新的钦察、乌拉尔弧后洋盆。同时, 伊阿珀托斯洋开始向北(西伯

利亚陆块)俯冲, 波罗的陆块与西伯利亚陆块距离拉近, 波罗的陆块与西伯利亚陆块东缘的钦察弧缩短。由于原特提斯洋的分隔, 其东、西生物(三叶虫)古地理面貌明显不同, 东侧为冈瓦纳(太平洋)

早寒武世  
540Ma

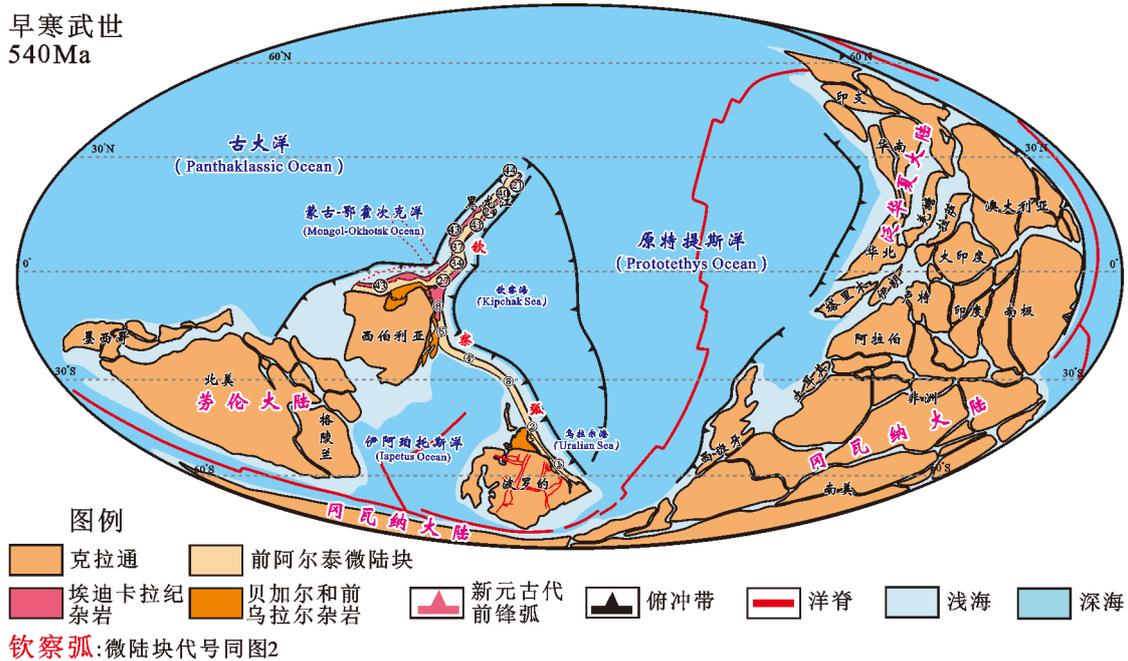


图8 全球(特提斯)早寒武世(540 Ma)板块构造图(据Şengör, 1996; Scotese, 2022 修编)

Fig. 8 Global (Tethys) Early Cambrian (540 Ma) plate tectonics Map (modified from Şengör, 1996; Scotese, 2022)

晚寒武世  
500Ma

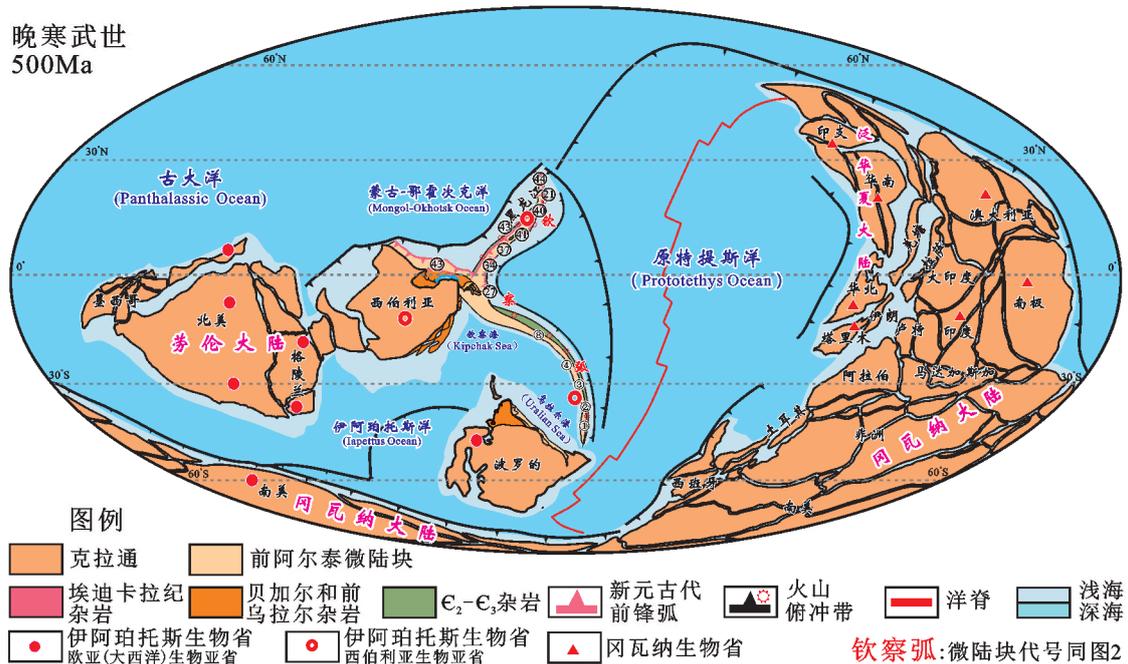


图9 全球(特提斯)晚寒武世(500 Ma)板块构造图(据Şengör, 1996; Scotese, 2022 修编)

Fig. 9 Global (Tethys) Late Cambrian (500Ma) plate tectonics Map (modified from Şengör, 1996; Scotese, 2022)

生物省, 含三叶虫 *Redlichiids*; 西侧为伊阿珀托斯(大西洋)生物省, 含三叶虫 *Olenellids*。西伯利亚和钦察弧属伊省的西伯利亚生物亚省, *Olenellids* 和 *Redlichiids* 混生(混生主要在钦察弧南部), 但仍以大西洋动物群占优势(郭福祥, 2001)(图9)。

### 2.2.2 奥陶纪

早奥陶世(480 Ma), 阿瓦隆陆块(Avalon)从冈瓦纳大陆裂离, 瑞克洋(Rheic)打开。晚奥陶世(445 Ma), 瑞克洋已扩张为大洋并向北(波罗的陆块南缘)俯冲, 阿瓦隆陆块已与波罗的陆块拼贴, 伊

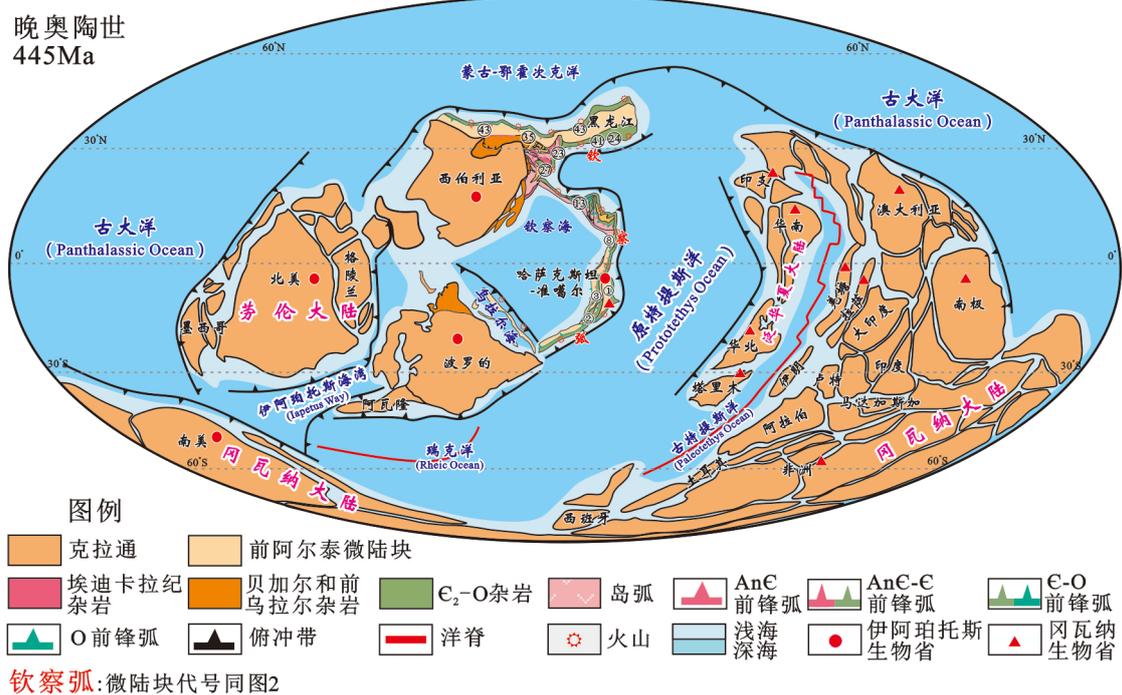


图 10 全球 (特提斯) 晚奥陶世 (445 Ma) 板块构造图 (据 Sengör, 1996; Scotese, 2022 修编)

Fig. 10 Global (Tethys) Late Ordovician (445 Ma) plate tectonics Map (modified from Sengör, 1996; Scotese, 2022)

阿珀托斯洋向北(劳伦大陆)俯冲消减并明显缩小变成海湾,带动西伯利亚陆块和波罗的陆块向北漂移的纬度大于  $30^\circ$ ,波罗的陆块与劳伦大陆进一步拉近并在晚奥陶世末完成拼贴。两端受限的钦察弧进一步缩短,并产生明显的弧-弧碰撞,形成哈萨克斯坦陆块雏形。原特提斯洋持续向西(钦察弧方向)俯冲,钦察弧弧后扩张,乌拉尔弧后洋盆进一步拉开(图 10)。

原特提斯洋持续向东(泛华夏大陆方向)俯冲,秦-祁-昆弧后洋盆继承发育并进一步拉开(如祁连弧后洋盆早奥陶世扩张宽度达 2 400 km),秦-祁-昆弧盆系造山形成北昆仑-阿尔金-北祁连-北秦岭等奥陶纪缝合带。包含塔里木、华北、华南及印支等陆块的泛华夏大陆开始与冈瓦纳大陆分离,古特提斯洋拉开(图 10)。

由于原特提斯洋的分隔,奥陶纪全球生物(三叶虫)古地理继承了寒武纪的格局。东侧为冈瓦纳生物省(三叶虫 *Selenopeltis*, *Hungaiid*, *Calymenid*, *Trinucleid-malonolid*, *Pliomerina-alymeni* 组合),古特提斯洋没有分隔泛华夏大陆和冈瓦纳大陆。西侧为伊阿珀托斯生物省(三叶虫 *Bathyurid*, *Asaphid*, *Monorakid-remopleurid* 组合)。但在晚奥陶世,广泛分布于泛华夏大陆的 *Agetolitid* 珊瑚动物群入侵

到了钦察弧(郭福祥, 2001)(图 10)。

### 2.2.3 志留纪

伊阿珀托斯洋关闭,波罗的陆块与劳伦大陆完成拼贴,形成劳俄大陆(Laurussia)。瑞克洋向劳俄大陆俯冲,原特提斯洋持续向西(钦察弧方向)俯冲,钦察弧内部弧盆系进一步缩短—碰撞,北部拼贴到西伯利亚陆块,南部形成哈萨克斯坦陆块。钦察弧弧后的乌拉尔弧后洋盆向东俯冲,形成塔吉尔弧(图 11)。

原特提斯洋持续向东(泛华夏大陆方向)俯冲,泛华夏大陆的秦-祁-昆弧盆系关闭—造山形成早古生代原特提斯造山带,越南南部三歧-色潘带弧盆系(位于印支微陆块)在志留纪关闭造山。古特提斯洋进一步拉开,古特提斯洋东部的昌宁-孟连带早古生代弧(澜沧岩系)盆系(位于滇缅马苏微陆块)也在志留纪关闭造山(图 11)。

由于原特提斯洋和瑞克洋的分隔,志留纪生物(腕足和珊瑚动物群)古地理分为 3 省。北方生物省,包括北半球中、高纬度的西伯利亚和钦察弧,腕足 *Tuvaella-Tannuspirifer-Stegerhynchella* 动物群繁盛,珊瑚有 *Tungussophyllum*, *Diplophyllum*, *Evenkiella*, *Densphyllum*, *Altaja*, *Cyathactis* 等。麦尔文诺开夫列克生物省(*Malvino Kevlek*, 冈瓦纳生物省),主要包括南半球高纬度的冈瓦纳大陆,含腕

晚志留世  
420Ma

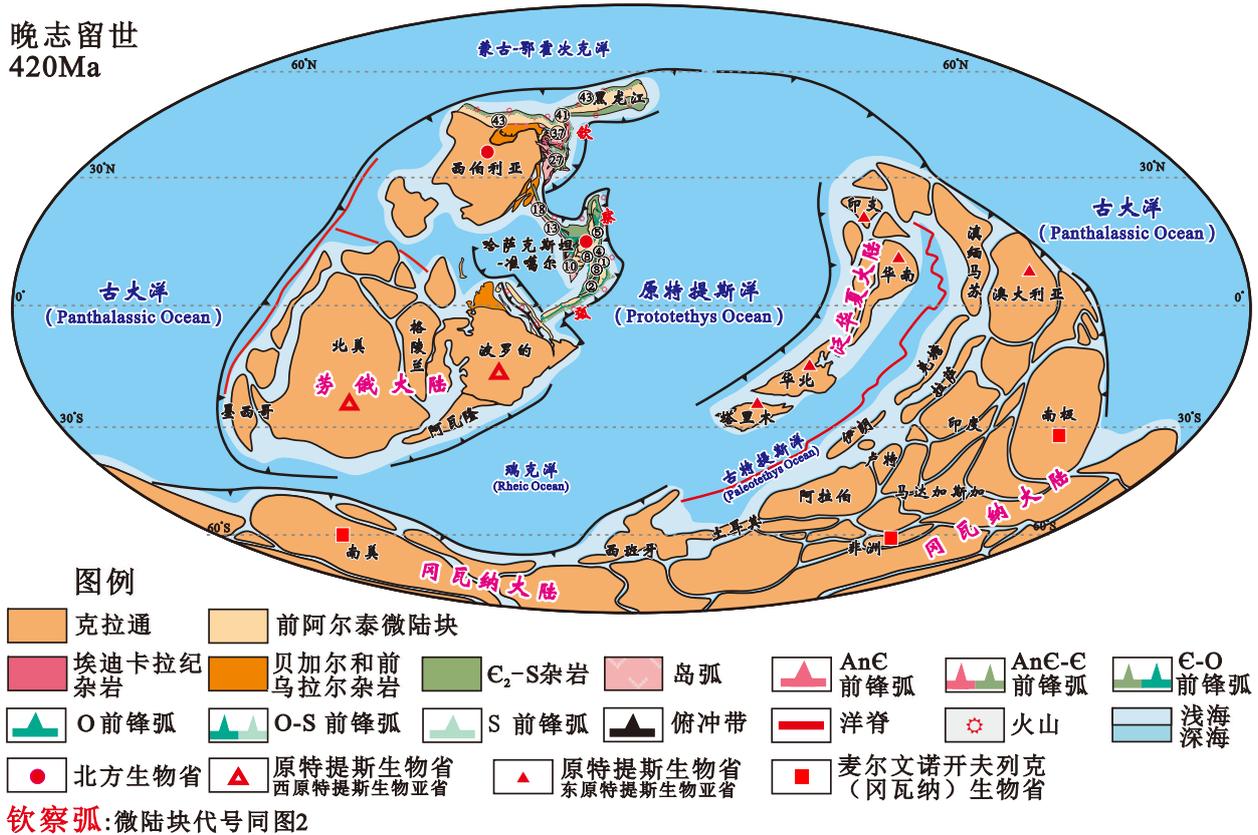


图 11 全球(特提斯)晚志留世(420 Ma)板块构造图(据Şengör, 1996; Scotese, 2022 修编)

Fig. 11 Global (Tethys) Late Silurian (420 Ma) plate tectonics Map (modified from Şengör, 1996; Scotese, 2022)

足 *Clarkeia*、*Australina*。特提斯生物省,分布在全球中低纬度,被原特提斯洋分隔为2个亚省。西原特提斯生物亚省,主要包括劳俄大陆,珊瑚有 *Ryderophyllum-Raterophyllum*、*Briantelasma Athophylloides*、*Goniophyllum-Ychophyllum*、*Holmophyllum-Xyphelasma* 等组合;东原特提斯生物亚省,主要包括泛华夏大陆和澳大利亚(可见古特提斯洋还未分隔),代表性珊瑚有 *Crassilasma-Tungussophyllum*、*Kodonophyllum-Maikottia*、*Cerriaster-Plexoides*、*Angulophyllum-Spongophyllum*、*Gyalophylloides-Idiophyllum* 等(郭福祥, 2001)(图 11)。

### 2.3 晚古生代

原特提斯洋俯冲消减—关闭消亡并造山形成原特提斯造山带,古特提斯扩张—俯冲消减,新特提斯拉开。

#### 2.3.1 泥盆纪

蒙古-鄂霍茨克洋向南(西伯利亚陆块)俯冲,古大洋向东(劳俄大陆)俯冲,古大洋向西(泛华夏大陆)俯冲,原特提斯洋向西(哈萨克斯坦陆块和西伯利亚陆块)向北(西伯利亚陆块)俯冲消减并明显

收缩,劳俄大陆和西伯利亚陆块进一步靠拢,钦察弧更进一步缩短,产生更多弧-弧碰撞,拼贴到西伯利亚陆块的钦察弧碎片更多,哈萨克斯坦陆块规模更大。乌拉尔弧盆系并向南西(波罗的陆块)俯冲消减,先后形成伊伦迪克和马格尼托戈尔斯克岛弧带(图 12)。

古特提斯洋已扩张为大洋,并向东向北俯冲,在劳俄大陆(波罗的陆块)东缘和泛华夏大陆南缘,形成丝绸之路弧盆系。波罗的东缘发育斯塔夫波尔和卡拉库姆等弧盆系,泛华夏大陆南缘发育康西瓦(南昆仑)-阿尼玛卿-勉略(南秦岭)弧盆系,滇缅马苏微陆块发育昌宁—孟连晚古生代弧盆系(图 12)。

泥盆纪全球生物(腕足动物群)古地理分为4省。北方生物省,包括北半球中、高纬度的西伯利亚、钦察弧和北美西部(说明西伯利亚陆块与劳俄大陆已经很接近了),含腕足 *Siberella*、*Karpinskia*、*Leptaenopyxis*、*Paraspirifer*、*Rhytistrophia*、*Resserella*、*Chonostrophia*、*Fallaxispirifer*、*Eleutrokomma*、*Cariniferella* 等,以及珊瑚 *Barrand-*

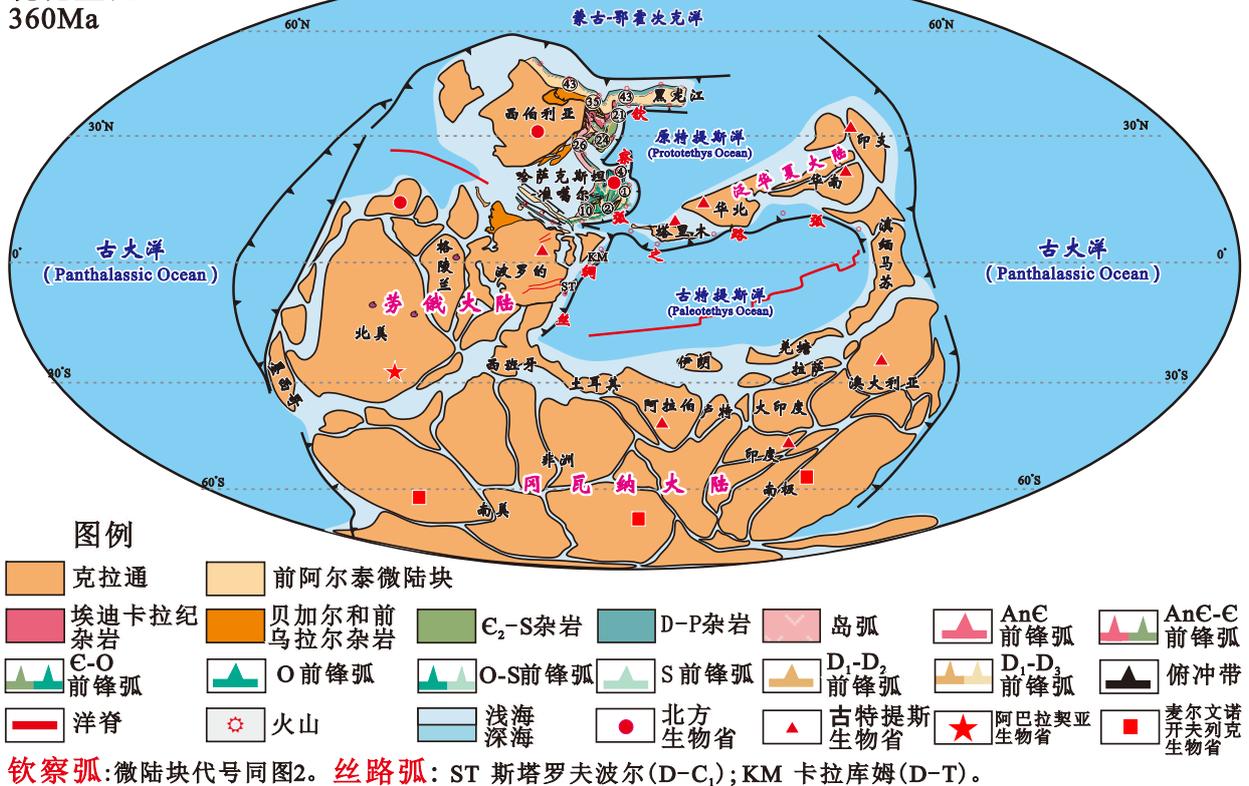
晚泥盆世  
360Ma

图 12 全球(特提斯)晚泥盆世(360 Ma)板块构造图(据Şengör, 1996; Scotese, 2022 修编)

Fig. 12 Global (Tethys) Late Devonian (360Ma) plate tectonics Map (modified from Şengör, 1996; Scotese, 2022)

*eophyllum*-*Pseudaulacophyllum*、*Circumtexpiphyllum*-*Astrictophyllum*、*Salairophyllum*-*Camuraphyllum* 组合。麦尔文诺开夫列克生物省(冈瓦纳生物省), 主要包括南半球高纬度的冈瓦纳大陆, 代表性腕足有 *Australospirifer*、*Scaphiocoelia*、*Pleurothyrella*、*Notiochonetes*、*Tanerhynchia*、*Australocoelia*。阿巴拉契亚生物省, 位于中纬度的劳俄大陆(北美)南部, 含腕足 *Nanothyris*、*Rensselaerina*、*Leptocoelia*、*Trematospira*、*Pseudoparazyga* 等。古特提斯生物省, 位于全球中、低纬度, 环绕古特提斯洋分布, 包括西缘劳俄大陆东部(波罗的), 北缘泛华夏大陆(塔里木、华北、华南、印支), 南缘冈瓦纳大陆北部(北非、阿拉伯、印度、澳大利亚等)(郭福祥, 2001), 说明古特提斯扩张不大, 还没有完成古生物(腕足类)分隔(图 12)。

## 2.3.2 石炭纪

劳俄大陆(东部波罗的)和哈萨克斯坦-准噶尔“陆块”及西伯利亚陆块拼贴, 形成劳亚大陆(Laurasia)。劳亚大陆与冈瓦纳大陆拼贴形成泛大陆(Pangea, 潘几亚超大陆)(图 13)。

钦察弧原南部(现西部)弧-弧碰撞形成哈萨克斯坦-准噶尔“陆块”, 钦察弧原北部(现东部)弧-弧碰撞拼贴到西伯利亚陆块。哈萨克斯坦-准噶尔“陆块”和西伯利亚陆块也完成拼贴, 形成查拉缝合带—斋桑-额尔齐斯缝合带。波罗的陆块与哈萨克斯坦-准噶尔“陆块”拼贴, 乌拉尔弧盆系关闭造山并形成乌拉尔缝合带。哈萨克斯坦-准噶尔“陆块”与泛华夏大陆最西端(阿赖微陆块和塔里木陆块)拼贴, 形成突厥缝合带—南天山缝合带。最东端残留小面积原特提斯洋(图 13)。

古特提斯洋进一步扩张, 向北(劳亚大陆—泛华夏大陆)俯冲, 在波罗的—阿赖—塔里木—华北南缘及华南—印支西缘, 继续发育丝绸之路弧盆系。波罗的东缘发育斯塔夫罗波尔、卡拉库姆、索格达、图尔基尔、察尔津弧盆系, 阿赖南缘发育布哈拉、吉萨尔弧盆系, 塔里木-华北南缘—华南-印支西缘继续发育康西瓦(南昆仑)-阿尼玛卿-勉略(南秦岭)弧盆系, 向南到滇缅马苏微陆块(属基梅里大陆)昌宁—孟连晚古生代弧盆系造山形成昌宁—孟连石炭纪缝合带(图 13)。

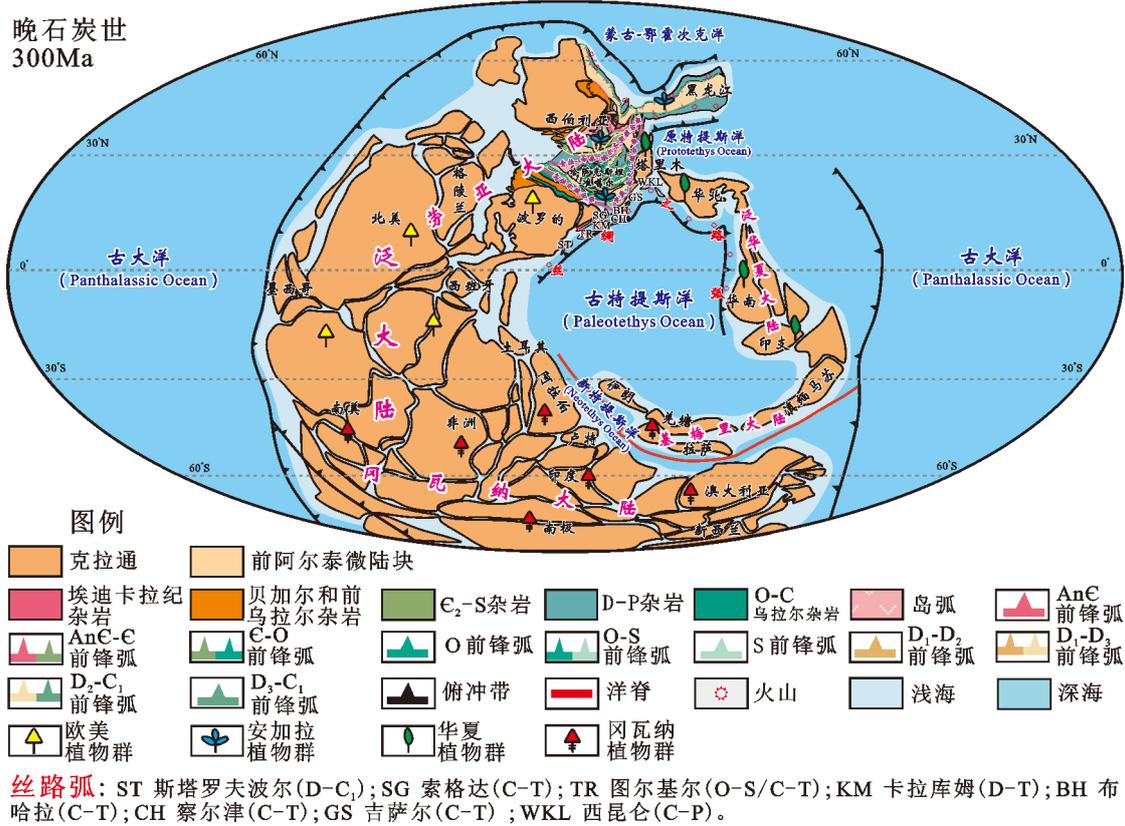


图 13 全球(特提斯)晚石炭世(300 Ma)板块构造图(据Şengör, 1996; Scotese, 2022 修编)

Fig. 13 Global (Tethys) Late Carboniferous (300 Ma) plate tectonics Map (modified from Şengör, 1996; Scotese, 2022)

含伊朗、羌塘、拉萨及滇缅马苏等微陆块的基梅里大陆(Cimmeria)从冈瓦纳大陆裂离,新特提斯拉开(图 13)。

石炭纪全球生物(植物群)古地理分为 4 省,形成了欧美、安加拉、华夏、冈瓦纳 4 大植物群,由于古特提斯的分隔相对分野明确。欧美植物群,分布在泛大陆中低纬度的劳伦、波罗的及北南美、北非;安加拉植物群,分布在泛大陆北部高纬度的哈萨克斯坦-准噶尔、西伯利亚等地;华夏植物群,晚石炭世由欧美植物群演变而来,主要分布在中低纬度泛华夏大陆的塔里木、华北、华南、印支,在锡霍特-阿林、科累马、北美西缘、南美西缘、坎贝尔海台等地也有分布,说明原特提斯已不能对华夏植物群的分布造成分隔;冈瓦纳植物群,分布在泛大陆南部高纬度的冈瓦纳大陆,包括南美、非洲、阿拉伯、拉萨、印度、澳大利亚、南极等地(郭福祥,2001)(图 13)。

### 2.3.3 二叠纪

原特提斯洋关闭,华北陆块与现属西伯利亚陆块的黑龙江微陆块拼贴,形成索伦-西拉木伦-长春

二叠纪缝合带(图 6,图 14)。

古特提斯洋进一步收缩,整体向北俯冲,继续发育丝绸之路弧。之前的丝路弧沿波罗的陆块—阿赖微陆块—塔里木陆块南缘形成泥盆系—早二叠世岛弧及弧前杂岩镶边,长度约 8 300 km,到晚二叠世丝路弧长度约 6 600 km(缩短 1 700 km),丝路弧明显弧-弧碰撞(图 6)。在劳亚大陆东南缘和泛华夏大陆南缘—西缘形成丝路弧弧盆系拼贴后的断续分布的斯塔夫罗波尔-曼格什拉克-阿姆达利亚晚古生代缝合带—康西瓦(南昆仑)-阿尼玛卿-勉略(南秦岭)晚古生代缝合带(图 14)。

古特提斯洋南部的基梅里大陆快速向北漂移,远离冈瓦纳大陆,新特提斯洋明显扩张(图 14)。

二叠纪全球生物(植物群)古地理继承了石炭纪的格局。欧美植物群分布在泛大陆中低纬度地区,安加拉植物群分布在泛大陆北部高纬度地区,华夏植物群主要分布在中低纬度的泛华夏大陆,冈瓦纳植物群分布在泛大陆南部高纬度地区(郭福祥,2001)(图 14)。早二叠世,安加拉冷水型腕足类

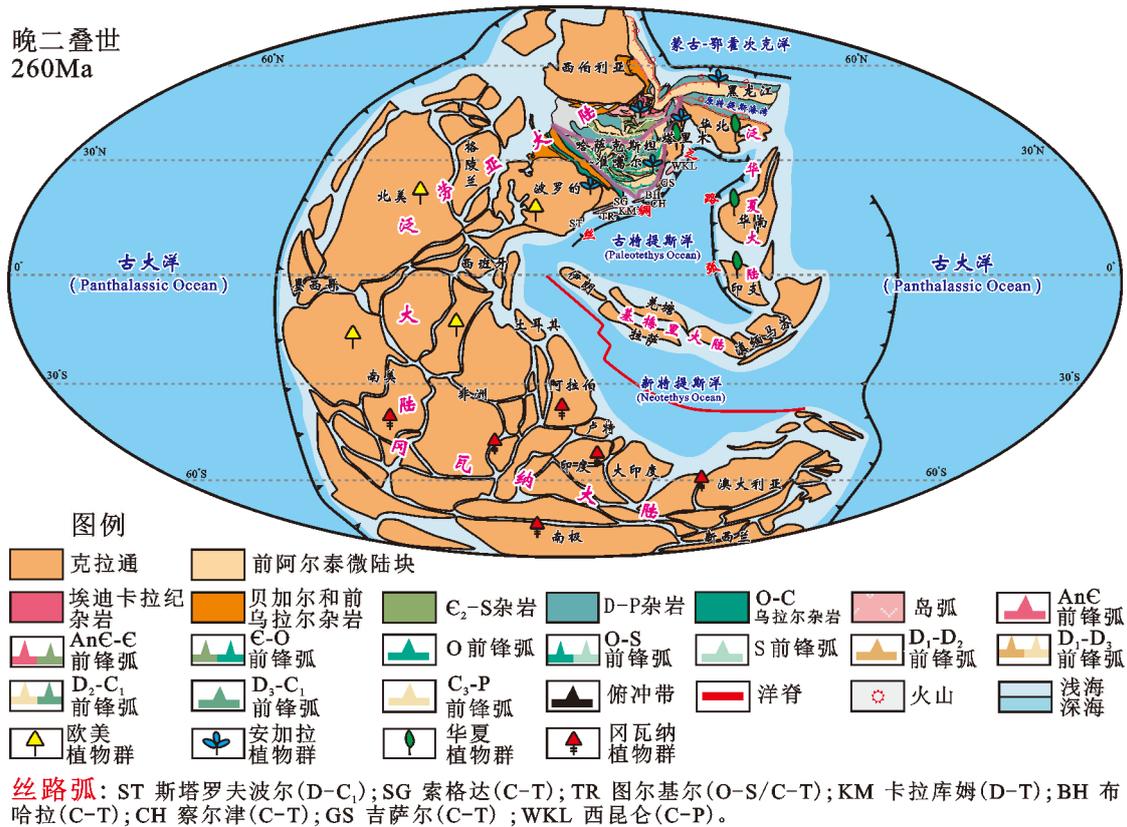


图 14 全球(特提斯)晚二叠世(260 Ma)板块构造图(据Şengör, 1996; Scotese, 2022 修编)

Fig. 14 Global (Tethys) Late Permian (260 Ma) plate tectonic map (modified from Şengör, 1996; Scotese, 2022)

*Yakovlevia*、*Konchiproductus*、*Spiriferella*、*Neospirifer* 等入侵塔里木北东缘敦煌地区,与特提斯暖水型腕足类 *Leptodus* 混生;晚二叠世,安加拉植物大量入侵塔里木,同时华夏植物群和欧美植物群消失,表明塔里木向北部高纬度漂移。晚石炭世—早二叠世早期,基梅里大陆的土耳其—中伊朗—拉萨发育冈瓦纳相冰海杂砾岩,并含冈瓦纳冷水型动物群,如冷水型腕足类 *Waagenites*、*Costiferina*、*Stepanoviella*、*Neospirifer*、苔藓虫 *Hexagonella*、*Protoretepora*、*Streblascopora* 和蜓类 *Monodiexodina* 等;早二叠世晚期,土耳其—中伊朗—拉萨广泛发育特提斯相暖水型动物群,如暖水型蜓类 *Neoschwagerina*、*Misellina*、*Sumatrana*、*Dunbarulla*、*Yangchienia*、*Maklaya*、*Parafusulina*、*Pseudofusulina* 等。也反映了基梅里大陆在二叠纪快速向北(由冷到暖)漂移(郭福祥, 2001)。

## 2.4 中生代

古特提斯俯冲消减—关闭造山,新特提斯扩

张—俯冲消减。泛大陆(Pangea)南部冈瓦纳大陆解体,大西洋、印度洋打开(图 15)。

### 2.4.1 三叠纪

古特提斯洋俯冲消减—关闭造山,新特提斯洋扩张—向北俯冲,蒙古-鄂霍次克洋扇形俯冲消减。

中三叠世(240 Ma),古特提斯洋向北(劳亚大陆—泛华夏大陆)俯冲消减,丝路弧进一步缩短并弧-弧碰撞。新特提斯洋继续扩张并开始向北俯冲,基梅里大陆向北漂移。蒙古-鄂霍次克洋向南(西伯利亚方向)扇形俯冲(图 15a)。

晚三叠世(202 Ma),古特提斯洋关闭造山,丝路弧经晚古生代—三叠纪(局地可延续到侏罗纪)弧-弧碰撞最终形成古特提斯造山带。基梅里大陆北部与劳亚大陆拼贴,形成甘孜-理塘、金沙江、高加索-赫拉特—澜沧江 3 条三叠纪缝合带。新特提斯洋向北(基梅里大陆)俯冲,班公湖-怒江弧后洋盆拉开。蒙古-鄂霍次克洋扇形俯冲消减,形成向东开口的海湾(图 15b)。

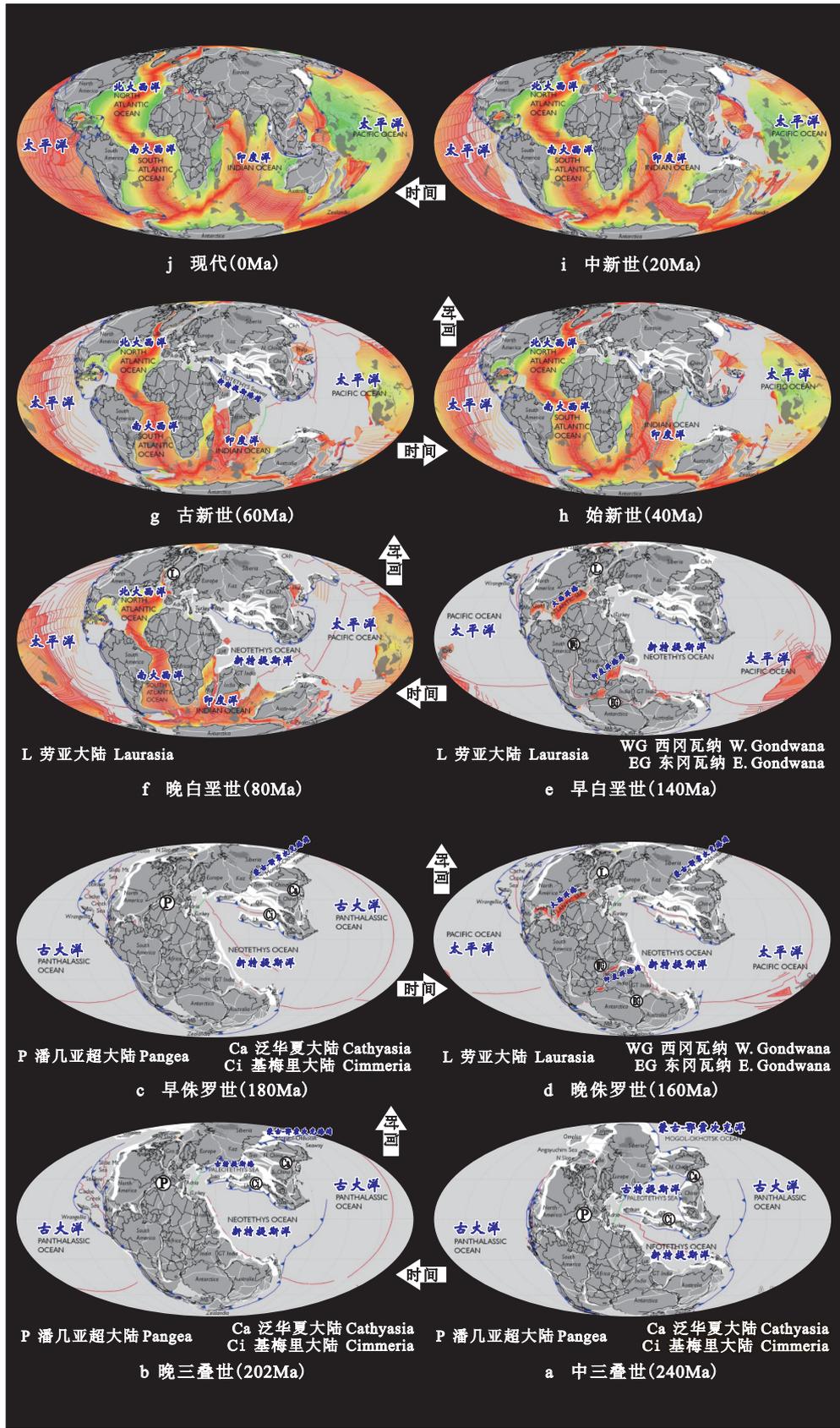


图 15 全球（特提斯）中生代—新生代（251 Ma 至今）板块构造演化图（Scotese, 2022）

Fig. 15 Global (Tethys) Mesozoic–Cenozoic (251 Ma to present) plate tectonic evolution map (Scotese, 2022)

### 2.4.2 侏罗纪

新特提斯洋向北俯冲消减, 蒙古-鄂霍次克洋扇形关闭造山。

早侏罗世(180 Ma), 新特提斯洋向北(基梅里大陆)俯冲, 班公湖-怒江弧后洋盆进一步拉开。蒙古-鄂霍次克洋扇形俯冲关闭(图 15c)。

晚侏罗世(160 Ma), 新特提斯洋向北俯冲, 基梅里大陆内部弧后扩张同时存在班公湖-怒江(羌塘与北拉萨微陆块之间)和狮泉河-嘉黎(北拉萨和南拉萨微陆块之间)2个弧后洋盆。蒙古-鄂霍次克洋扇形关闭造山, 黑龙江微陆块“回归”西伯利亚, 形成蒙古-鄂霍次克(T—J)缝合带(图 15d)。

### 2.4.3 白垩纪

新特提斯洋向北俯冲消减并明显缩小, 泛大陆(Pangea)南部冈瓦纳大陆解体, 大西洋、印度洋开始打开。

早白垩世(140 Ma), 新特提斯洋向北俯冲, 基梅里大陆内部羌塘与北拉萨微陆块拼贴形成班公湖-怒江缝合带(T—K<sub>1</sub>), 北拉萨和南拉萨微陆块拼贴形成狮泉河-嘉黎缝合带(J<sub>3</sub>—K<sub>1</sub>)。泛大陆(Pangea)分裂为劳亚大陆、西冈瓦纳大陆和东冈瓦纳大陆, 大西洋、印度洋拉开呈海峡(图 15e)。

晚白垩世(80 Ma), 新特提斯洋向北俯冲并明显缩小。西、东冈瓦纳大陆裂解, 大西洋、印度洋拉开呈窄大洋(图 15f)。

## 2.5 新生代

新特提斯洋关闭造山, 形成(新)特提斯造山带。

古新世(60 Ma), 新特提斯洋向北俯冲并开始关闭, 形成海湾。大西洋、印度洋进一步拉开, 印度板块向北漂移(图 15g)。

始新世(40 Ma), 非洲-阿拉伯-印度板块与欧(劳)亚板块拼贴, 新特提斯洋关闭, 形成扎格罗斯缝合带(K<sub>2</sub>—E)—雅鲁藏布江缝合带(J<sub>3</sub>—E<sub>2</sub>)。大西洋、印度洋扩张为大洋(图 15h)。

中新世(20 Ma), (新)特提斯陆内造山。大西洋、印度洋进一步扩张(图 15i)。

现代(0 Ma), (新)特提斯强烈造山(青藏高原隆升), 形成(新)特提斯造山带。太平洋向东西两侧俯冲消减, 大西洋、印度洋扩张, 形成现代板块格局(图 15j)。

## 3 结语

本文第一作者, 在二十世纪九十年代参加了原

地矿部成都地质矿产研究所刘宝珺、许效松老师主持的有关西部盆地的科研课题, 多次有幸亲历成矿所老一辈学者丘东洲、颜仰基、陈智梁、潘桂棠、李兴振、罗建宁、吴应林、蒲心纯、范影年等老师有关西部盆地和青藏高原构造沉积演化的学术讨论, 并获赠陈智梁、范影年老师有关特提斯的专著, 从此埋下了“特提斯”的种子。1994—1995年参加许效松老师带领的天山、塔里木、昆仑、云贵高原野外考察, 1996年参加西藏羌塘东段路线地质填图(队长雍永源), 2000年参加西藏波密幅地质填图(队长郑来林), 粗浅认识了“特提斯”。后来长期从事塔里木盆地、四川盆地、准噶尔盆地、东海、南海以及海外哈萨克斯坦、中东、哥伦比亚等地的油气地质科研, 研究不同构造背景下的层序地层和沉积相, 尝试用特提斯构造理论研究区域地质背景, 体验到了“特提斯”的魅力。2022年研究滨里海盆地构造演化时, 被国内外大量中亚特提斯研究成果吸引, 萌发了撰写本文的想法。再次学习潘桂棠、许效松、陈智梁、李兴振等前辈有关特提斯的科研成果, 更加敬佩他们的真知灼见。近年来, 国内外学者的相关研究也取得了新的进展, “特提斯”的面貌也越来越清晰。

本论文涉及的地学内涵庞杂, 作者的研究方向和地学知识局限, 欢迎同行批评指正。

## References

- Bakirov A A, 1970. Fundament, Osnovnye Razlomny Turanskoy Plity v Svyazi s Eye Neftegazonosnostyu. Nedra, Moscow.
- Bian Q T, Luo X Q, Li H S, et al., 1999. Discovery of the Early Paleozoic and Early Carboniferous-Early Permian ophiolites in the A'nyemaqen, Qinghai province, China[J]. *Scientia Geologica Sinica*, (4): 523–524 (in Chinese with English abstract).
- Blakey R, Wong T, 2003. Carboniferous-Permian paleogeography of the assembly of Pangaea. In: *Proceedings of the XVth International Congress on Carboniferous and Permian Stratigraphy*[J]. Utrecht, 443–456.
- Cao H H, Li S Z, Zhao S J, et al., 2016. Detrital zircon geochronology of Neoproterozoic to Early Paleozoic sedimentary rocks in the North Qinling Region for the tectonic evolution of the Kuanping Ocean[J]. *Precambrian Research*, 279: 1–16.
- Cao Y, Wang J, Liu J G, et al., 2016. Formation and significance of adakitic rocks in Datong pluton of Early Paleozoic magmatic arc of Western Kunlun Orogen[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 46(2): 425–442.
- Chen Z L, 1994. Tethyan Geology for 100 Years [J], *Tethyan Geology*,

- (00) : 1–22.
- Deng Y F, 1984. The preliminary study of the characters and the age of the volcanic mélangé strata of the marine rift in the Luhuo belt, western Sichuan [J]. *Contribution to the Geology of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau*, (2) : 91–100.
- Ding D G, Wang D X, Liu W X, et al., 1996. The West Kunlun Orogenic Belt and Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1–238.
- Dong Y P, Santosh M, 2016. Tectonic architecture and multiple orogeny of the Qinling Orogenic Belt, Central China[J]. *Gondwana Research*, 29 (1) : 1–40.
- Dong Y P, Yang Z, Liu X M, et al., 2014. Neoproterozoic amalgamation of the Northern Qinling terrain to the North China Craton: Constraints from geochronology and geochemistry of the Kuanping ophiolite[J]. *Precambrian Research*, 255: 77–95.
- Gao C L, Huang Z G, Ye D L, et al., 2005. Three paleo-oceans of the Early Paleozoic and their control to basins in China[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, (5) : 19–28 (in Chinese with English abstract).
- Geng Q R, Li W C, Wang L Q, et al., 2021. Paleozoic tectonic framework and evolution of the central and western Tethys[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 41 (02) : 297–315 (in Chinese with English abstract).
- Gardner C J, Graham I T, Belousova E, et al., 2017. Evidence for Ordovician subduction-related magmatism in the Truong Son terrane, SE Laos: Implications for Gondwana evolution and porphyry Cu exploration potential in SE Asia[J]. *Gondwana Research*, 44: 139–156.
- Guo F X, 2001. Paleozoic Tectonics-Paleobiogeography of Xinjiang, China[J]. *Xinjiang Geology*, 19 (1) : 7 (in Chinese with English abstract).
- Huang J Q, Chen B W, 1987. The Tethys Sea Evolution of China and Its Adjacent Area [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1–109.
- Isozaki Y, Maruyama S, Furuoka F, 1990. Accreted oceanic materials in Japan[J]. *Tectonophysics*, 181 (1-4) : 179–205.
- Ivanov K S, 1998. The main features of geological history (1.6-2.0 MG) and structure of the Urals[J]. *Ural Basin Review of Accounting Studies*, Ekaterinburg, 252p (in Russian) .
- Ivanov K S, 2000. Estimation of the subduction and collision paleospeeds in the Urals genesis[J]. *Reports of the Russian Academy of Sciences*, 377 (2) : 231–234.
- Ivanov K S, Puchkov V N, Yu N F, et al., 2013. Tectonics of the Urals and adjacent part of the West-Siberian platform basement: Main features of geology and development[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 31 (aug.10) : 12–24.
- Ivanov S N, Puchkov V N, Ivanov K S, et al., 1986. Formation of the Earth's Crust of the Urals[J]. Nauka, Moscow, 246p (in Russian) .
- Jiang C F, Yang J S, Feng B G, et al., 1992. Opening-Closing Tectonics of Kunlun Mountains [R]. Beijing: Geological Publishing House: 1–217.
- Kosarev A M, Puchkov V N, Seravkin I B, 2005. Petrologo-geochemical particularities of the early Devonian-Eifelian island-arc volcanites of the Magnitogorsk zone in geodynamical context[J]. *Lithosphere*, 4: 24–40 (in Russian) .
- Lai S C, 1994. Volcanism and tectonic evolution on the northern edge of the Tibet Plateau [J]. *Modern Geology*, 8 (3) : 2.
- Laurent-Charvet S, Charvet J, Monie P. 2003. Late Paleozoic strike-slip shear zones in eastern central Asia (NW China) : new structural and geochronological data[J]. *Tectonics*, 22 (2) : 1009.
- Lehmann B, Zhao X F, Zhou M F, et al., 2013. Mid-Silurian back-arc spreading at the northeastern margin of Gondwana: The Dapingzhang dacite-hosted massive sulfide deposit, Lancangjiang zone, southwestern Yunnan, China[J]. *Gondwana Research*, 24 (2) : 648–663.
- Li S Z, Zhao S I, Liu X, et al., 2018. Closure of the Proto-Tethys Ocean and Early Paleozoic amalgamation of microcontinental blocks in East Asia[J]. *Earth Science Reviews*, 186: 37–75.
- Li S Z, Zhao S J, Li X Y, et al., 2016. Proto-Tethys Ocean in East Asia (I) : Northern and southern border faults and subduction polarity[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 32 (09) : 2609–2627 (in Chinese with English abstract).
- Li W C, Pan G T, Hou Z Q, et al., 2010. Multiple Island Arc Basin System in Southwest “Sanjiang” : The Collisional Orogenic Metallogenic Theory and Prospecting Techniques [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1–461.
- Li X Z, Pan G T, Luo J N, 1990. A Boundary between Gondwana and Laurasia Continents in Sanjiang Region[J]. *Contribution to the Geology of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau*, (20) : 217–233 (in Chinese with English abstract).
- Li X Z, Xu X S, Pan G T, 1995. Evolution of The Pan-Cathaysian Landmass Group and Eastern Tethyan Tectonic Domain [J]. *Lithofacies Paleogeography*, 15 (4) : 1–13.
- Li X Z, Liu W J, Wang Y Z, et al., 1999. Tectonic Evolution and Mineralization of Tethys in Sanjiang of Southwest China (General) [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1–276.
- Li Z X, Bogdanova S V, Collins A S, et al., 2008. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: A synthesis[J]. *Precambrian Research*, 160 (12) : 179–210.
- Lin F C, Li S, Zeng Q Q, et al., 2022. Review on the progress of geological survey works in Southwest China in the past ten years (2011-2020) [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 42 (04) : 507–528 (in Chinese with English abstract).
- Liu B J, 2021. Mr. Pan Guitang's Geological Feelings [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 41 (2) : 132–135 (in Chinese with English abstract).
- Liu L, Cao Y T, Chen D L, et al., 2013. New progresses on the HP-UHP metamorphism in the South Altyn Tagh and the North Qinling[J]. *Chinese Science Bulletin*, 58 (22) : 2113–2123 (in Chinese with English abstract).
- Liu L, Kang L, Cao Y T, et al., 2015. Early Paleozoic granitic

- magmatism related to the processes from subduction to collision in South Altyn, NW China[J]. *Science China (Earth Science)*, 45 (8) : 1126 (in Chinese with English abstract).
- Liu X C, Li S Z, Jiang B M, 2015. Tectonic evolution of the Tongbai-Hong'an orogen in central China: From oceanic subduction/accretion to continent-continent collision[J]. *Science China (Earth Science)*, 45 (8) : 1088 – 1108 (in Chinese with English abstract).
- Liu Z Q, Li X Z, Ye Q T, et al., 1993. Classification of tectonic magmatic zones and distribution of mineral resources in the Sanjiang region [M] Beijing: Geological Publishing House: 1 – 246 (in Chinese).
- Liu Z Q, Pei X Z, Li R B, et al., 2011. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Geochronology of the Two Suites of Ophiolites at the Buqingshan Area of the A'nyemaqen Orogenic Belt in the Southern Margin of East Kunlun and its tectonic implication[J]. *Acta Geologica Sinica*, 85 (2) : 185 – 194 (in Chinese with English abstract).
- Liu S N, 2001. From Rodinia to Gondwana Supercontinents—Thinking about problems of Researching Neoproterozoic Supercontinents[J]. *Earth Science Frontiers*, 8 (4) : 8 (in Chinese with English abstract).
- Lu S N, Yu H F, Li H K, et al., 2006. Early Paleozoic suture zones and tectonic divisions in the “Central China Orogen” [J]. *Geological Bulletin of China*, 25 (12) : 1368 – 1380 (in Chinese with English abstract).
- Luo G, Wang Q W, Qin Y L, et al., 2021. Divisions and their basic characteristics of tectonic units in Sichuan Province[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 41 (4) : 633 – 647 (in Chinese with English abstract).
- Metcalfe I, 2021. Multiple Tethyan Ocean basins and orogenic belts in Asia[J]. *Gondwana Research*, 100: 87 – 130.
- Mo X X, Lu F X, Shen S Y, et al., 1993. Sanjiang Tethyan volcanism and related mineralization [M] Beijing: Geological Publishing House: 1 – 267.
- Mo X X, Pan G T, 2006. From the Tethys to the formation of the Qinghai-Tibet Plateau: Constrained by tectonic magmatic events[J]. *Earth Science Frontiers*, (6) : 43 – 51 (in Chinese with English abstract).
- Moore G F, Curray J R, Emmel F J, 1982. Sedimentation in the Sunda Trench and forearc region[J]. *Geological Society, London, Special Publications*, 10: 245 – 248.
- Nakano N, Osanai Y, Owada M, et al., 2007. Geologic and metamorphic evolution of the basement complexes in the Kontum Massif, central Vietnam[J]. *Gondwana Research*, 12 (4) : 438 – 453.
- Natal'in B A, Şengör A M C. 2005. Late Palaeozoic to Triassic evolution of the Turan and Scythian platforms: The pre-history of the Palaeo-Tethyan closure[J]. *Tectonophysics*, 404 (3) : 175 – 202.
- Nguyen Q M, Feng Q L, Zi J W, et al., 2019. Cambrian intra-oceanic arc trondhjemite and tonalite in the Tam Ky-Phuoc Son Suture Zone, central Vietnam: Implications for the early Paleozoic assembly of the Indochina Block[J]. *Gondwana research*, 70: 151 – 170.
- Nie H, Yang J, Zhou G, et al., 2017. Geochemical and Re-Os isotope constraints on the origin and age of the Songshugou peridotite massif in the Qinling orogen, central China[J]. *Lithos*, 292-293: 307 – 319.
- Pan G T, 1994. An Evolution of Tethys in Global Ocean-continent Transformation[J]. *Tethyan Geology*, (0) : 23 – 40 (in Chinese with English abstract).
- Pan G T, Chen Z L, Li X Z, et al., 1997. The Geological Tectonic Formation and Evolution of the Eastern Tethys [R]. Beijing: Geological Publishing House: 65 – 128.
- Pan G T, Chen Z L, Li X Z, 1996. Models for the evolution of the polyarc-basin system in Eastern Tethys[J]. *Lithofacies Paleogeography*, 16 (2) : 14 (in Chinese with English abstract).
- Pan G T, Wang L Q, Li R S, et al., 2012. Tectonic model of archipelagic arc-basin systems: The key to the continental geology[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 32 (3) : 1 – 20 (in Chinese with English abstract).
- Pan G T, Wang L Q, Li X Z, et al., 2001. The tectonic framework and spatial allocation of the archipelagic arc-basin systems on the Qinghai-Xizang Plateau [J] *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, (3) : 1 – 26.
- Pan G T, Zhu D C, Wang L Q, et al., 2004. Bangong Lake—Nu River suture zone—the northern boundary of Gondwanaland: Evidence from geology and geophysics[J]. *Earth Science Frontiers*, 11 (4) : 371 – 382 (in Chinese with English abstract).
- Pan G T, Wang L Q, Geng Q R, et al., 2020. Space-time structure of the Bangonghu-Shuanghu-Nujiang-Changning-Menglian Mega-suture zone: A discussion on geology and evolution of the Tethys Ocean[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 40 (3) : 1 – 19 (in Chinese with English abstract).
- Pan G T, Wang L Q, Yin F G, et al., 2022. Researches on geological-tectonic evolution of Tibetan Plateau: A review, recent advances, and directions in the future[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 42 (02) : 151 – 175 (in Chinese with English abstract).
- Pan G T, Xu Q, Wang L Q, 2001. The frame mechanism of multiple island arc-basin system in Tibetan Plateau[J], *Mineral Petrol*, 21 (3) : 186 – 189.
- Pei X Z, Li R B, Li Z C, et al., 2018. Composition Feature and Formation Process of Buqingshan Composite Accretionary Mélange Belt in Southern Margin of East Kunlun Orogen[J]. *Earth Science*, 43 (12) : 4498 – 4520 (in Chinese with English abstract).
- Puchkov V N, 2000. The Southern and Middle Urals paleodynamics[J]. *Dauria Ufa*, 145 (in Russian) .
- Ren J S, Xie G L, 1991. Proceeding of first international symposium on Gondwana dispersion and Asian accretion-geological evolution of eastern Tethys: November 25 december 1[C]. Beijing: China University of Geosciences Press.
- Şengör A M C, Yilmaz Y, Ketin I, 1980. Remnants of a pre-Late Jurassic ocean in northern Turkey: Fragments of Permian-Triassic

- Paleo-Tethys?[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 91 (9) : 599.
- Şengör A M C, 1984. The Cimmeride orogenic system and the tectonics of Eurasia, The geological Society of America [J]. *Special Paper* 195.
- Şengör A M C, 1990. Plate tectonics and orogenic research after 25 years: A Tethyan perspective[J]. *Earth-science Reviews*, 27 (1-2) : 1 – 201.
- Şengör A M C, Okurogullari A H, 1991. The role of accretionary wedges in the growth of continents: Asiatic examples from Argand to Plate tectonics[J]. *Ecolgae Geologicae Helvetiae*, 84 (3) : 535 – 551.
- Şengör A M C, Natal'in B A, Burtman V S, 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia[J]. *Nature*, 364 (6435) : 299 – 307.
- Şengör A M C, Natal'in B A, 1996. Paleotectonics of Asia : Fragments of a synthesis[J]. *Cambridge University Press Cambridge*, 486 – 640p.
- Shi M F, Lin F C, Fan W Y, et al., 2015. Zircon U–Pb ages and geochemistry of granitoids in the Truong Son terrane, Vietnam: Tectonic and metallogenic implications[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 101: 101 – 120.
- Sone M, Metcalfe I, 2008. Parallel Tethyan sutures in mainland Southeast Asia: New insights for Palaeo-Tethys closure and implications for the Indosinian orogeny[J]. *Comptes Rendus Geoscience*, 340 (2-3) : 166 – 179.
- Song S G, Zhang G B, Zhang C, et al., 2013. Dynamic process of oceanic subduction and continental collision: petrological constraints of HP-UHP belts in Qilian-Qaidam, the northern Tibetan Plateau[J]. *Chin Sci Bull*, 58 (23) : 2240 – 2245 (in Chinese with English abstract).
- Stampfli G M, Borel G D, 2002. A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 196 (1-2) : 17 – 33.
- Suess E. 1893. Are great ocean depths permanent ? [J]. *Natural Science*, 1893,2: 180–187.
- Tran H T, Zaw K, Halpin J A, et al., 2014. The Tam Ky-Phuoc Son Shear Zone in central Vietnam: Tectonic and metallogenic implications[J]. *Gondwana Research*, 26 (1) : 144 – 164.
- von Raumer J F, Stampfli G M, 2008. The birth of the Rheic Ocean — Early Palaeozoic subsidence patterns and subsequent tectonic plate scenarios[J]. *Tectonophysics*, 461 (1-4) : 9 – 20.
- Wang B D, Wang L Q, Pan G T, et al., 2013. U-Pb zircon dating of Early Paleozoic gabbro from the Nantinghe ophiolite in the Changning-Menglian suture zone and its geological implication[J]. *Chinese Science Bulletin*, 58 (4) : 344 – 354 (in Chinese with English abstract).
- Wang B D, Wang L Q, Wang D B, et al., 2018. Tectonic Evolution of the Changning-Menglian Proto-Paleo Tethys Ocean in the Sanjiang Area, Southwestern China[J]. *Earth Science*, 43 (8) : 2527 – 2550 (in Chinese with English abstract).
- Wang L Q, Pan G T, Li D M, et al., 1999. The spatio-temporal framework and geological evolution of the Jinshajiang arc basin system [J]. *Acta Geologica Sinica*. 73 (3) : 206 – 218.
- Wang L Q, Wang B D, Li G M, et al., 2021. Major progresses of geological survey and research in East Tethys: An overview[J]. *Sedimentary Geology and Tethys Geology*, 41 (02) : 283 – 296 (in Chinese with English abstract).
- Wang X X, Wang T, Zhang C L, 2015. Granitoid magmatism in the Qinling orogen, central China and its bearing on orogenic evolution. *Science China*[J]. *Earth Science*, 45 (8) : 09 (in Chinese with English abstract).
- Wu F Y, Wan B, Zhao L, et al., 2020. Tethys Geodynamics [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 36 (06) : 1627 – 1674 (in Chinese with English abstract).
- Wu Y B, Zheng Y F, 2013. Southward accretion of the North China Block and the tectonic evolution of the Qinling-Tongbai-Hong' an orogenic belt[J]. *Chinese Science Bulletin*, 58 (23) : 2246 – 2250 (in Chinese with English abstract).
- Xiao W J, Hou Q L, Li J L, et al., 2000. Anatomy of the Tectonic Facies and the Process of Multiple Island Proliferation in the West Kunlun Mountains[J]. *Science in China (Series D)*, 30 (C1) : 22 – 28 (in Chinese with English abstract).
- Xu X S, Liu B J, Mou C L, et al., 2004. Marine Basin Analysis of Central-western China and Petroleum Resources [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1 – 230.
- Xu X S, Xu Q, Pan G T, et al., 1996. Paleogeography Of The South China Continent And Its Correlation With Pangea[J]. *Lithofacies Paleogeography*, (02) : 1 – 23 (in Chinese with English abstract).
- Xu X S, Xu Q, Pan G T, et al., 1996. Paleogeography of the South China Continent (SCC) and Its Contrast with Pangea [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1 – 161.
- Xu X H, Gao C L, Jiang X G, et al., 2009. An Outline of Dynamic Analysis of Petroliferous Basins of China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press: 1 – 194.
- Xu Z Q, Qi X X, Liu F L, et al., 2004. The Kangxiwar Caledonian khondalite series in West Kunlun, China, and its geological significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 78 (6) : 733 – 743 (in Chinese with English abstract).
- Yang J S, Robinson P T, Jiang C F, et al., 1996. Ophiolites of the Kunlun Mountains, China and their tectonic implications[J]. *Tectonophysics*, 258 (1-4) : 215 – 231.
- Yazeva R G, Bochkarev V V, 1998. Geology and geodynamics of the Southern Urals[J]. *Ekaterinburg: UB RAS*, 203p (in Russian) .
- Ye S, Flueh D, Klaeschen D, et al., 1997. Crustal structure along the EDGE transect beneath the Kodiak shelf off Alaska derived from OBH seismic refraction data[J]. *Geophysical Journal International*, 130: 283 – 302.
- Yin F G, Sun J, Chang M Y, et al., 2019 Geological Map of the People's Republic of China (Southwest) [M] Beijing: Geological Publishing House: 63 – 98.
- Yu X, Xu X C, Han X Q, et al., 2022. The proposition of Holo-Tethys Ocean and the generalized Tethyan tectonic domain[J]. *Acta*

- Geologica Sinica, 96 (12) : 4131 – 4139 (in Chinese with English abstract).
- Zhang C L, Zou H B, Ye X T, et al., 2019b. Tectonic evolution of the West Kunlun Orogenic Belt along the northern margin of the Tibetan Plateau: Implications for the assembly of the Tarim terrane to Gondwana[J]. *Geoscience Frontier*, 10 (3) : 973 – 988.
- Zhang C L, Ma H D, Zhu B Y, et al., 2019. Tectonic evolution of the Western Kunlun—Karakorum Orogenic Belt and its coupling with the mineralization effect[J]. *Geological Review*, 65 (5) : 1077 – 1102 (in Chinese with English abstract).
- Zhang K X, He W H, Xu Y D, et al., 2016. Palaeogeographic distribution and tectonic evolution of OPS in China[J]. *Earth Science Frontier*, 23 (06) : 24 – 30 (in Chinese with English abstract).
- Zhang K X, He W H, Xu Y D, et al., 2021. Reconstruction of main types for oceanic plate strata in the subduction-accretionary complex and feature of sequence for each type: an example from the Qinghai-Tibet Tethyan Permian strata[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 41 (2) : 137 – 151 (in Chinese with English abstract).
- Zhong D L, 1998. Paleotethysides in West Yunnan and Sichuan [M]. Beijing: Science Press: 1 – 231.
- Zhu T X, Feng X T, Wang X F, et al., 2020. Summary of the Late Triassic tectonic paleogeography in the Qinghai-Tibetan Plateau, China[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 40 (03) : 59 – 71 (in Chinese with English abstract).
- Zonenshain L P, Kuzmin M L, Natapov L M, et al., 1990. Geology of the USSR: A plate-tectonic synthesis[J]. *Amer Geophys Union Geodynamic Ser*, 18 (2-3) : 438 – 454.
- 赖绍聪, 1994. 青藏高原北缘火山作用与构造演化[J]. *现代地质*, 8 (3) : 2.
- 李三忠, 赵淑娟, 李玺瑶, 等, 2016. 东亚原特提斯洋 (I): 南北边界和俯冲极性[J]. *岩石学报*, 32 (09) : 2609 – 2627.
- 李文昌, 潘桂棠, 侯增谦, 等, 2010. 西南“三江”多岛弧盆-碰撞造山成矿理论与勘查技术[M]. 北京: 地质出版社: 1 – 461.
- 李兴振, 潘桂棠, 罗建宁, 1990. 论三江地区冈瓦纳和劳亚大陆的分界[J]. *青藏高原地质文集*, (20) : 217 – 233.
- 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[J]. *岩相古地理*, 15 (4) : 1 – 13.
- 李兴振, 刘文均, 王义昭, 等, 1999. 西南三江地区特提斯构造演化与成矿 (总论) [M]. 北京: 地质出版社: 1 – 276.
- 林方成, 李生, 曾琴琴, 等, 2022. 中国西南地区地质调查工作十年 (2011—2020) 进展综述[J]. *沉积与特提斯地质*, 42 (04) : 507 – 528.
- 刘宝珺, 2021. , 潘桂棠先生的地质情怀[J]. *沉积与特提斯地质*, 41 (2) : 132 – 135.
- 刘良, 曹玉亭, 陈丹玲, 等, 2013. 南阿尔金与北秦岭高压超高压变质作用研究新进展[J]. *科学通报*, 58 (22) : 2113 – 2123.
- 刘良, 康磊, 曹玉亭, 等, 2015. 南阿尔金早古生代俯冲碰撞过程中的花岗质岩浆作用[J]. *中国科学 (地球科学)*, 45 (8) : 1126.
- 刘晓春, 李三忠, 江博明, 2015. 桐柏红安造山带的构造演化: 从大洋俯冲/增生到陆陆碰撞[J]. *中国科学 (地球科学)*, 45 (8) : 1088 – 1108.
- 刘增乾, 李兴振, 叶庆同, 等, 1993. 三江地区构造岩浆带的划分与矿产分布规律[M]. 北京: 地质出版社: 1 – 246.
- 刘战庆, 裴先治, 李瑞保, 等, 2011. 东昆仑南缘阿尼玛卿构造带布青山地区两期蛇绿岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其构造意义[J]. *地质学报*, 85 (2) : 185 – 194.
- 陆松年, 2001. 从罗迪尼亚到冈瓦纳超大陆——对新元古代超大陆研究几个问题的思考[J]. *地学前缘*, 8 (4) : 8.
- 陆松年, 于海峰, 李怀坤, 等, 2006. “中央造山带”早古生代缝合带及构造分区概述[J]. *地质通报*, 25 (12) : 1368 – 1380.
- 罗改, 王全伟, 秦宇龙, 等, 2021. , 四川省大地构造单元划分及其基本特征[J]. *沉积与特提斯地质*, 41 (4) : 633 – 647.
- 莫宣学, 路凤香, 沈上越, 等, 1993. 三江特提斯火山作用与成矿 [M]. 北京: 地质出版社: 1 – 267.
- 莫宣学, 潘桂棠, 2006. 从特提斯到青藏高原形成: 构造-岩浆事件的约束[J]. *地学前缘*, (6) : 43 – 51.
- 潘桂棠, 1994. 全球洋-陆转换中的特提斯演化[J]. *特提斯地质*, (0) : 23 – 40.
- 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 等, 1997. 东特提斯地质构造形成演化 [R]. 北京: 地质出版社: 65 – 128.
- 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 1996. 东特提斯多弧—盆系统演化模式 [J]. *岩相古地理*, 16 (2) : 14.
- 潘桂棠, 王立全, 李荣社, 等, 2012. 多岛弧盆系构造模式: 认识大陆地质的关键[J]. *沉积与特提斯地质*, 32 (3) : 1 – 20.
- 潘桂棠, 王立全, 李兴振, 等, 2001. 青藏高原区域构造格局及其

## 附中文参考文献

- 边千韬, 罗小全, 李红生, 等, 1999. 阿尼玛卿山早古生代和早石炭-早二叠世蛇绿岩的发现[J]. *地质科学*, (4) : 523 – 524.
- 曹颖, 王建, 刘建国, 等, 2016. 西昆仑早古生代岩浆弧大同岩体中埃达克质岩石的成因及地质意义[J]. *吉林大学学报 (地球科学版)*, 46 (2) : 425 – 442.
- 陈智梁, 1994. 特提斯地质一百年[J]. *特提斯地质*, 1 – 22.
- 邓永福, 1984. 川西高原炉霍地带海底裂谷火山混杂堆积特征及时代探讨[J]. *青藏高原地质文集*, (2) : 91 – 100.
- 丁道桂, 王道轩, 刘伟新, 等, 1996. 西昆仑造山带与盆地 [M]. 北京: 地质出版社: 1 – 238.
- 高长林, 黄泽光, 叶德燎, 等, 2005. 中国早古生代三大古海洋及其对盆地的控制[J]. *石油实验地质*, (5) : 19 – 28.
- 耿全如, 李文昌, 王立全, 等, 2021. 特提斯中西段古生代洋陆格局与构造演化[J]. *沉积与特提斯地质*, 41 (02) : 297 – 315.
- 郭福祥, 2001. 新疆古生代构造-生物古地理[J]. *新疆地质*, 19 (1) : 7.
- 黄汲清, 陈炳蔚, 1987. 中国及邻区特提斯海的演化 [M]. 北京: 地质出版社: 1 – 109.
- 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵, 等, 1992. 昆仑开合构造 [R]. 北京: 地质出版社: 1 – 217.

- 多岛弧盆系的空间配置[J]. 沉积与特提斯地质, (3): 1-26.
- 潘桂棠, 朱弟成, 王立全, 等, 2004. 班公湖怒江缝合带作为冈瓦纳大陆北界的地质地球物理证据[J]. 地学前缘, 11(4): 371-382.
- 潘桂棠, 王立全, 耿全如, 等, 2020. 班公湖—双湖—怒江—昌宁—孟连对接带时空结构——特提斯大洋地质及演化问题[J]. 沉积与特提斯地质, 40(3): 1-19.
- 潘桂棠, 王立全, 尹福光, 等, 2022. 青藏高原形成演化研究回顾、进展与展望[J]. 沉积与特提斯地质, 42(02): 151-175.
- 潘桂棠, 徐强, 王立全, 2001. 青藏高原多岛弧-盆系格局机制[J]. 矿物岩石, 21(3): 186-189.
- 裴先治, 李瑞保, 李佐臣, 等, 2018. 东昆仑南缘布青山复合增生型构造混杂岩带组成特征及其形成演化过程[J]. 地球科学, 43(12): 4498-4520.
- Scotese CR, 2022. 板块漂移[EB/OL]. [2017-11-08]/[2023-6-17]. [https://www.bilibili.com/video/BV1ox41j7DF?p=2&vd\\_source=e221a64008fb965a8893c3c5f6d10ed](https://www.bilibili.com/video/BV1ox41j7DF?p=2&vd_source=e221a64008fb965a8893c3c5f6d10ed).
- 宋述光, 张贵宾, 张聪, 等, 2013. 大洋俯冲和大陆碰撞的动力学过程: 北祁连柴北缘高压超高压变质带的岩石学制约[J]. 科学通报, 58(23): 2240-2245.
- 王保弟, 王立全, 潘桂棠, 等, 2013. 昌宁-孟连结合带南汀河早古生代辉长岩锆石年代学及地质意义[J]. 科学通报, 58(4): 344-354.
- 王保弟, 王立全, 王冬兵, 等, 2018. 三江昌宁孟连带原古特提斯构造演化[J]. 地球科学, 43(8): 2527-2550.
- 王立全, 潘桂棠, 李定谋, 等, 1999. 金沙江弧-盆系时空结构及地史演化[J]. 地质学报, 73(3): 206-218.
- 王立全, 王保弟, 李光明, 等, 2021. 东特提斯地质调查研究进展综述[J]. 沉积与特提斯地质, 41(02): 283-296.
- 王晓霞, 王涛, 张成立, 2015. 秦岭造山带花岗岩岩浆作用与造山带演化[J]. 中国科学(地球科学), 45(8): 09.
- 吴福元, 万博, 赵亮, 等, 2020. 特提斯地球动力学[J]. 岩石学报, 36(06): 1627-1674.
- 吴元保, 郑永飞, 2013. 华北陆块古生代南向增生与秦岭桐柏红安造山带构造演化[J]. 科学通报, 58(23): 2246-2250.
- 肖文交, 侯泉林, 李继亮, 等, 2000. 西昆仑大地构造相解剖及其多岛增生过程[J]. 中国科学(D辑), 30(C1): 22-28.
- 许效松, 刘宝珺, 牟传龙, 等, 2004. 中国中西部海相盆地分析与油气资源[M]. 北京: 地质出版社: 1-230.
- 许效松, 徐强, 潘桂棠, 等, 1996. 中国南大陆古地理与Pangea对比[J]. 岩相古地理, (02): 1-23.
- 许效松, 徐强, 潘桂棠, 等, 1996. 中国南大陆演化与全球古地理对比[M]. 北京: 地质出版社: 1-161.
- 徐旭辉, 高长林, 江兴歌, 等, 2009. 中国含油气盆地动态分析概论[M]. 北京: 石油工业出版社: 1-194.
- 许志琴, 戚学祥, 刘福来, 等, 2004. 西昆仑康西瓦加里东期孔兹岩系及地质意义[J]. 地质学报, 78(6): 733-743.
- 尹福光, 孙洁, 常梦瑶, 等, 2019. 中华人民共和国地质图(西南)[M]. 北京: 地质出版社: 63-98.
- 余星, 许绪成, 韩喜球, 等, 2022. “全新特提斯洋”概念与广义特提斯构造域[J]. 地质学报, 96(12): 4131-4139.
- 张传林, 马华东, 朱炳玉, 等, 2019. 西昆仑-喀喇昆仑造山带构造演化及其成矿效应[J]. 地质论评, 65(5): 1077-1102.
- 张克信, 何卫红, 徐亚东, 等, 2016. 中国洋板块地层分布及构造演化[J]. 地学前缘, 23(06): 24-30.
- 张克信, 何卫红, 徐亚东, 等, 2021. 论从俯冲增生杂岩带重建洋板块地层主要类型与序列: 以青藏特提斯二叠系为例[J]. 沉积与特提斯地质, 41(2): 137-151.
- 钟大赉, 1998. 滇川西部古特提斯造山带[M]. 北京: 科学出版社: 1-231.
- 朱同兴, 冯心涛, 王晓飞, 等, 2020. 青藏高原晚三叠世构造-古地理综述[J]. 沉积与特提斯地质, 40(03): 59-71.