

doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2023.01.001

华南青白口纪—三叠纪构造—地层区划及特征

张克信^{1,2}, 何卫红³, 徐亚东³, 翟刚毅⁴, 石万忠⁵, 陆永潮⁵

ZHANG Ke-Xin^{1,2}, HE Wei-Hong³, XU Ya-Dong³, ZHAI Gang-Yi⁴, SHI Wan-Zhong⁵, LU Yong-Chao⁵

1. 古生物与地质环境演化湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430205; 2. 中国地质大学(武汉)地质调查研究院, 湖北 武汉 430074;

3. 中国地质大学(武汉)地球科学学院, 湖北 武汉 430074; 4. 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100029;

5. 中国地质大学(武汉)资源学院, 湖北 武汉 430074

1. Hubei Key Laboratory of Paleontology and Geological Environment Evolution, Wuhan 430205, Hubei, China; 2. Institute of Geological Survey, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 3. School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 4. Oil and Gas Survey Center, China Geological Survey, Beijing 100029, China;

5. School of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan, 430074, Hubei, China

摘要:构造-地层区划是一项具有全局性和战略性的工作,是地质学和地球科学所涉及各领域调查研究的“骨架”。本文针对华南新元古代青白口纪—中生代三叠纪地层发育特征,提出华南该时段构造-地层一至三级综合区划方案。区划的原则是找出各单元独特的、明显区别于相邻单元的构造-岩石建造特征。区划工作主要以大地构造背景和演化历程、洋陆重建与分布、深部构造及结构、构造隆升与拗陷、地层序列和结构、沉积相序等为依据,划分出3个一级单元、6个二级单元和44个三级单元。通过一至三级区划,揭示出青白口纪—三叠纪期间华南原型盆地生成与地层充填序列、控制盆地发育的大地构造环境均与周缘洋盆的演化和洋陆转换过程密切相关。

关键词:青白口纪-三叠纪;构造-地层区划;对接带;叠接带;华南

中图分类号:P535

文献标识码:A

文章编号:2097-0013(2023)01-0001-23

Zhang K X, He W H, Xu Y D, Zhai G Y, Shi W Z and Lu Y C. 2023. The Division of Qingbaikouan-Triassic Tectono-Stratigraphic Regions and Their Characteristics in South China. *South China Geology*, 39(1):1-23.

Abstract: The tectono-stratigraphic regionalization is a global and strategic work, also the “skeleton” of investigation and research in all fields of geology and earth science. An integrated regionalization scheme of the first to third levels of tectono-stratigraphy in South China is proposed in accordance with the development characteristics of Qingbaikouan-Triassic strata. The principle of regionalization is to find out the unique tectono-stratigraphic characteristics of each unit distinguishing from adjacent units. South China tectono-stratigraphic regions are divided into 3 first-level units, 6 second-level units and 44 third-level units according to the tectonic setting and evolutionary history, ocean-continental reconstruction distribution, deep tectonics and structures, tectonic uplift and depression, stratigraphic sequence and structure, sedimentary facies sequence, and so on. Then it is revealed that the formation and stratigraphic filling sequence of the prototype basin in

收稿日期:2022-10-25;修回日期:2023-2-7

基金项目:中国地质调查局项目(Nos. DD20221645, DD20190811)、国家十三五油气重大专项项目(No. 2016ZX05034002-003)

第一作者:张克信(1954—),男,教授,博士生导师,从事地层学、古生物学、沉积学、造山带地质调查研究与教学,E-mail: kx_zhang@cug.edu.cn

South China and the tectonic environment controlling the development of the basins are closely related to the evolution of peripheral ocean basins and the ocean-continental transition.

Key words: Qingbaikouan-Triassic Period; the division of tectono-stratigraphic regions; convergent zone; accretional zone; South China

构造-地层区划是一项具有全局性和战略性的工作,是地质学和地球科学所涉及各领域调查研究的“骨架”(黄汲清,1962;王鸿祯,1978;任纪舜和孙黎薇,2001;程裕淇等,2009;潘桂棠等,2015,2017)。根据研究对象和目的不同,可分为综合区划和断代区划(黄汲清,1962;王鸿祯,1978;张克信等,2015,2017,2020;赵小明等,2017)。

本文针对华南新元古代青白口纪—中生代三叠纪地层,找出各单元独特的、明显区别于相邻单元的构造-岩石建造特征,将华南青白口纪—三叠纪地层划分为扬子、华夏和海南岛-台湾岛3个一级单元,上扬子、下扬子、西华夏、东华夏、海南岛和台湾岛6个二级单元,汉南等44个三级单元(图1)。

1 构造-地层综合区划依据

本文对华南青白口纪—三叠纪构造-地层区划的主要依据是:(1)深部构造及结构;(2)洋陆重建分布、大地构造背景和演化历程;(3)构造抬升与拗陷;(4)地层序列和结构;(5)沉积体系与相序、生物古地理(生物群落);(6)构造形变样式和构造热事件(表1)。

1.1 深部构造及结构

华南是早古生代晚期由扬子克拉通和华夏造山系两大单元拼合而成的,两大构造单元间的拼合带称为“江绍-郴州-钦防断裂带”或“江绍-郴州-钦防对接带”(图2)(潘桂棠等,2015,2017;任纪舜和李崇,2016;张克信等,2015,2017)。据古地磁、沉积和古生物区系等研究(殷鸿福等,1999;Wan T F and Zhu H, 2011;何卫红等,2014;张克信等,2015,2017),新元古代-早古生代期间,华夏与扬子间有华南海相隔,直到志留纪末期才结合成统一的华南陆块。

据对华南深部构造和结构(图3,图4)研究,证实了江绍-郴州-钦防断裂是切穿岩石圈尺度的深

大断裂,以该深大断裂为界,两侧在深部构造和地壳结构上差异明显。深部地震剖面揭示了扬子大区的莫霍面埋深明显大于华夏大区的莫霍面埋深(图3)(He C S et al., 2013; Zheng H W et al., 2013);华南及邻区航磁图(图4)揭示出沿江绍-郴州-钦防断裂两侧的扬子和华夏两大块体的磁场分布各具特征(中国国土资源航空物探遥感中心,2004)。因此,将华南陆块以江绍-郴州-钦防断裂带做为一级构造界线,划分为“扬子克拉通”和“华夏造山系”两个一级构造-地层单元。华夏造山系内部以“政和-大埔-贵子叠接带”(图2)或“政和-大埔断裂”(图3)(He C S et al., 2013; Zheng H W et al., 2013)为界划分为东部华夏和西部华夏两个二级构造-地层单元(潘桂棠等,2015,2016;张克信等,2015,2017;赵小明等,2017)。

图2中的“对接带”和“叠接带”的全称分别是“对接缝合带”和“叠接缝合带”,是王鸿祯等(1985)创新的两个重要术语。“对接(缝合)带”是指两个相对的古大陆边缘区相互接近,使其间的大洋地壳及过渡地壳陆续形成褶皱带,最后完全拼接时的结合带(大洋消亡的残迹)。“叠接(缝合)带”指古大陆边缘经过拉伸、张裂、地块移离,形成具有岛弧及边缘海的主动边缘,并向大陆俯冲消减,形成弧陆碰撞或弧弧碰撞的增生带(弧后、弧间小洋盆消亡的残迹)(王鸿祯等,1985)。表2列述了对接带和叠接带的区别。

1.2 洋陆重建分布、大地构造背景和演化历程

关于扬子与华夏间的华南海最终闭合以及陆-陆最终拼合的时间,当前存在重大分歧,主要观点有两种:一是认为约820 Ma前的晋宁期拼合的(张国伟等,2013;杨明桂等,2015;Zhao G C et al., 2018;舒良树等,2020);二是认为约420 Ma前的加里东晚期或更晚的某个时段最终拼合的(王鸿祯等,1985;李兴振等,1995;殷鸿福等,1999;Wan T F and Zhu H, 2011;何卫红等,2014;潘桂棠等,

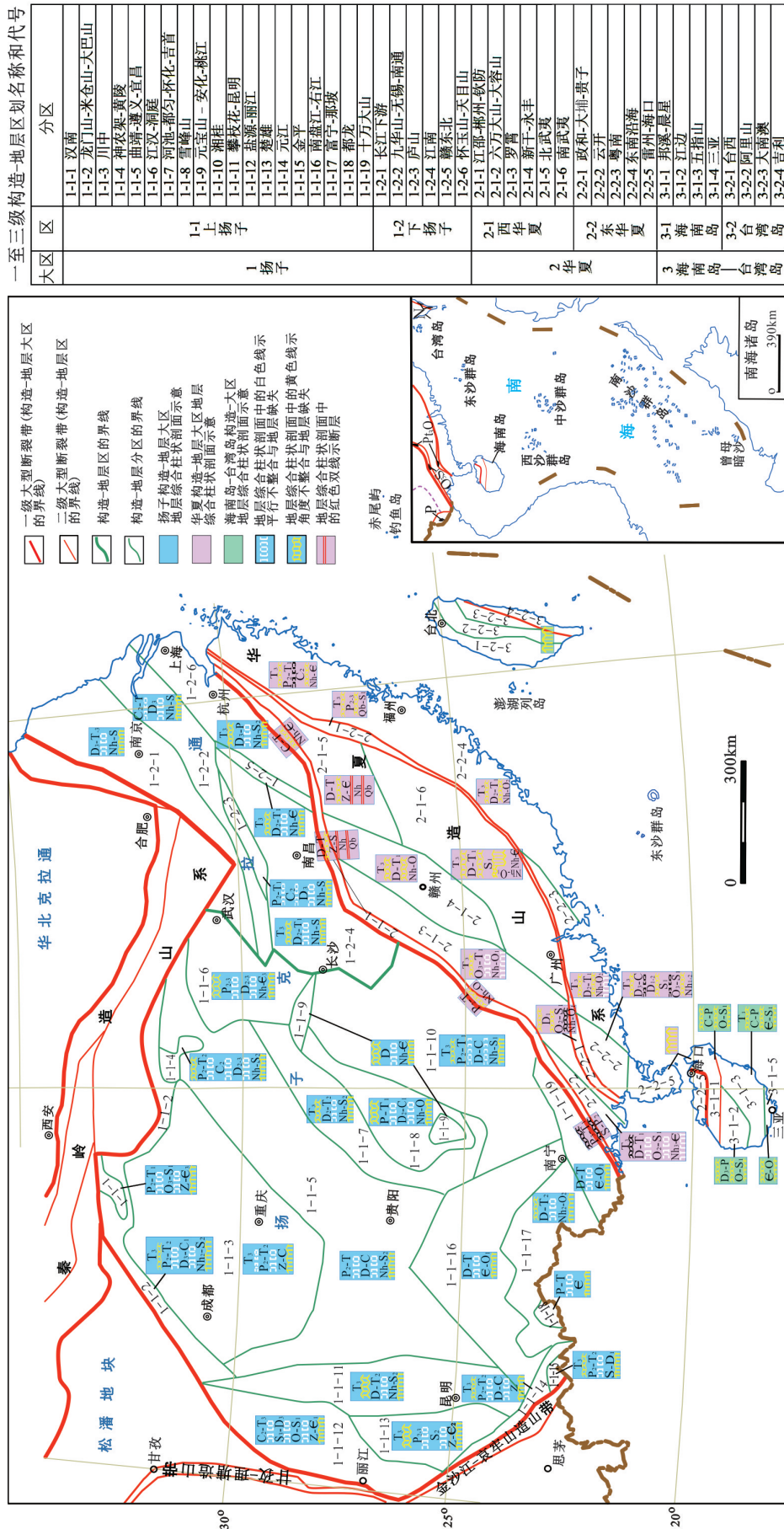


图 1 华南青白口纪—三叠纪构造-地层区划图 (据潘桂棠等, 2015 和张克信等, 2015, 2017 修改)

Fig. 1 The tectonic-stratigraphic regionalization of South China in the Qingbaikouan to Triassic

表 1 华南构造-地层综合区划依据

Table 1 The basis of comprehensive division of tectono-stratigraphic regions in South China

区划依据 (不同点)		一级(大区)	二级(区)	三级 (分区)
1.深部构造及结构		√	√	
2.洋陆重建分布、大地构造背景和演化历程	全球洋陆重建分布	√	√	
	大地构造背景	√	√	
	大地构造演化历程	√	√	
3.构造抬升与拗陷		√	√	√
4.地层序列与结构	地层建造大类,包括两大类: 史密斯地层(克拉通区有序的盖层地层) 非史密斯地层(造山带无序的洋板块地层)	√	√	
	基底和盖层地层序列转化时间	√	√	
	地层序列完整性与接触关系		√	√
	地层沉积体系对比		√	√
5.沉积体系与相序、生物古地理(生物群落)	地层岩相序列对比		√	√
	生物古地理(生物群落)对比	√	√	√
6.构造形变样式		√	√	
7.构造热事件		√	√	

表 2 对接带与叠接带的区别(据张克信等,2018 修改)

Table 2 The difference between convergent and accretionary zone

序号	对接带	叠接带
1	缝合带所含蛇绿岩以 N-MORB 型为主	缝合带所含蛇绿岩以 SSZ 型为主
2	蛇绿岩时代分布约 3-10 亿年	蛇绿岩时代分布约小于 3 亿年,常小于 1 亿年
3	缝合带呈狭带状分布数千公里	缝合带呈狭带状分布一般仅数百公里
4	远洋沉积(无陆源碎屑混入的极细粒的硅、灰、锰、炭、凝灰质)发育好	远洋沉积(无陆源碎屑混入的极细粒的硅、灰、锰、炭、凝灰质)发育差
5	缝合带两侧无统一的基底,两侧的陆块基底与盖层组成长期不同	两侧有统一的基底,分隔的两个大陆边缘沉积序列短期内不同
6	分隔的陆块古地磁位置长期各自处于不同位置,并相距远	分隔的陆块古地磁位置相距不大
7	是生物大区(底栖类)的长期分界线,后期混生	不是生物大区(底栖类)分界线

2015,2016,2017;张克信等,2015,2016,2017;彭松柏等,2016;Lin S F et al., 2018;吴福元等,2020;Wang L J et al., 2022)。本文接受第二种观点,认为加里东晚期扬子与华夏间的华南洋最终关闭,陆-陆碰撞形成了统一的华南陆块,其具体理由列于表3。

本文主要依据古地磁、盆地原型、沉积和地层序列、古生物区系分布和沉积大地构造相分布与演化等研究(殷鸿福等,1999;Wan T F and Zhu H, 2011;何卫红等,2014;张克信等,2015,2017;Zhao G C et al., 2018),将华南在青白口纪—三叠纪期间的洋陆分布、大地构造背景和演化历程划分为如下

五大阶段。

1.2.1 中元古代晚期—新元古代青白口纪中期

全球罗迪尼亚超大陆汇聚事件是华南该时期构造演化的主控因素。扬子周缘普遍分布的中元古代晚期—新元古代中期的弧岩浆岩和与之相配套的蛇绿岩(周新民等,1989;郭令智等,1996;Li X H et al., 1999;周金城等,2003;Shi Y R et al., 2007;丁炳华等,2008;彭松柏等,2010;董树文等,2010;薛怀民等,2011;Wang J P et al., 2012;Wang W et al., 2013;张传恒等,2014;邓晋福等,2015;邢光福等,2015;Li J Y et al., 2016;Xu Y et al., 2016;任光明

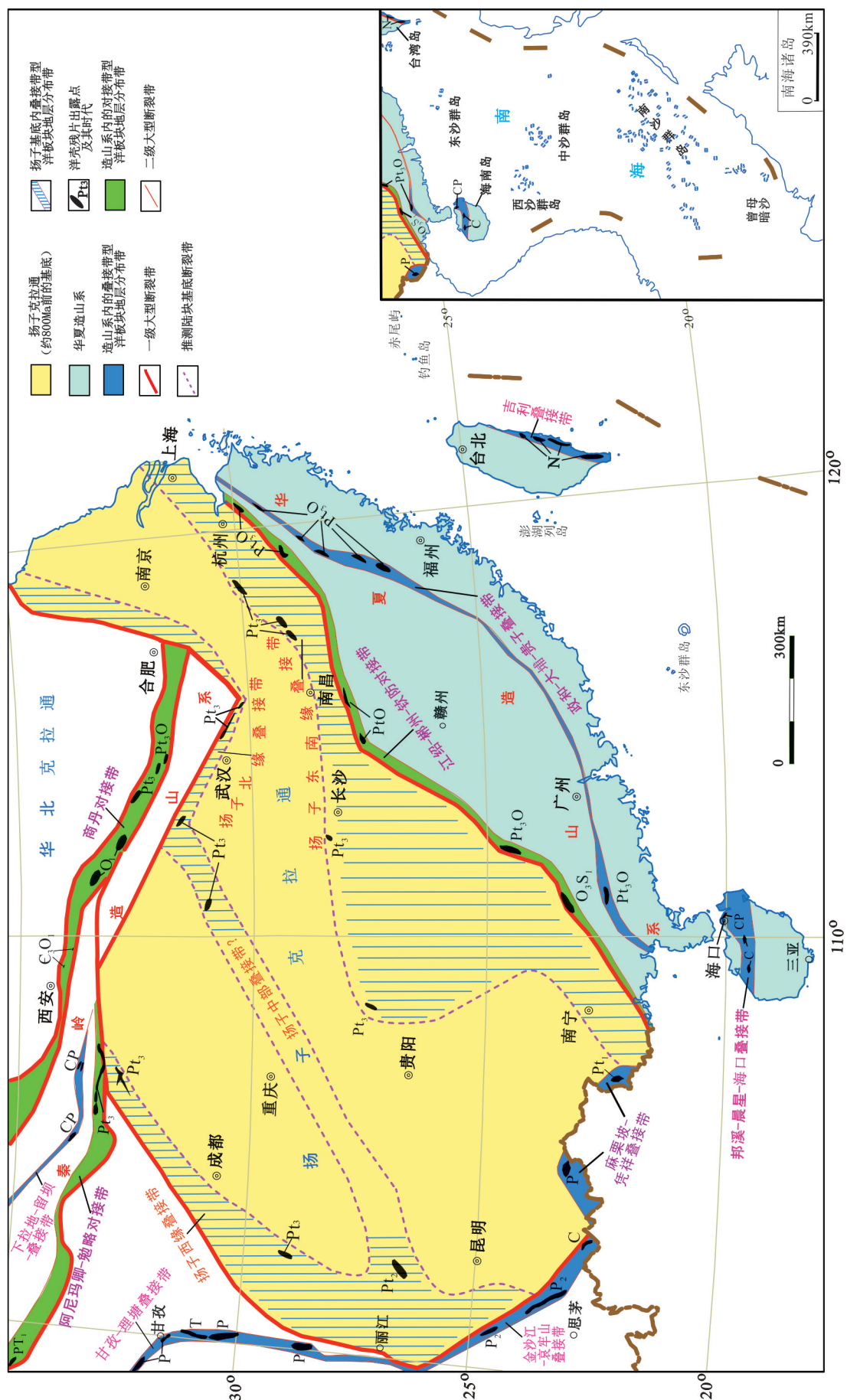


图2 华南及邻区对接带和叠接带分布和构造单元划分图

Fig. 2 Division map of the tectonic units, distribution of the convergent zones and the accretion zones in South China and its adjacent areas

等,2017;张克信等,2018;Xu Y D et al., 2020;徐扬等,2021;牛志军等,2022;四川省地质调查院,2022)揭示当时的扬子克拉通四周被大洋包围,其周缘为“俯冲带-弧-弧后盆地”配置的活动陆缘构造环境(王鸿祯等,1985;陆松年等,2015;张克信等,2018;Xu Y D et al., 2020)(图2、5、6、7)。因此,对这一时期的扬子克拉通,并不只是在其东南缘存在所谓的“江南造山带”之简单格局,而是在

其北缘和西缘均存在与“江南造山带”同期的活动陆缘“俯冲带-弧-弧后盆地”配置之格局。约820~760 Ma期间发生的晋宁运动,使扬子克拉通周缘的沟-弧-盆体系转化为陆,扬子完成了基底形成演化阶段,从青白口晚期开始进入稳定的沉积盖层发展阶段(王鸿祯等,1985;潘桂棠等,2015,2016,2017;陆松年等,2015,2017;张克信等,2015,2017,2018)。

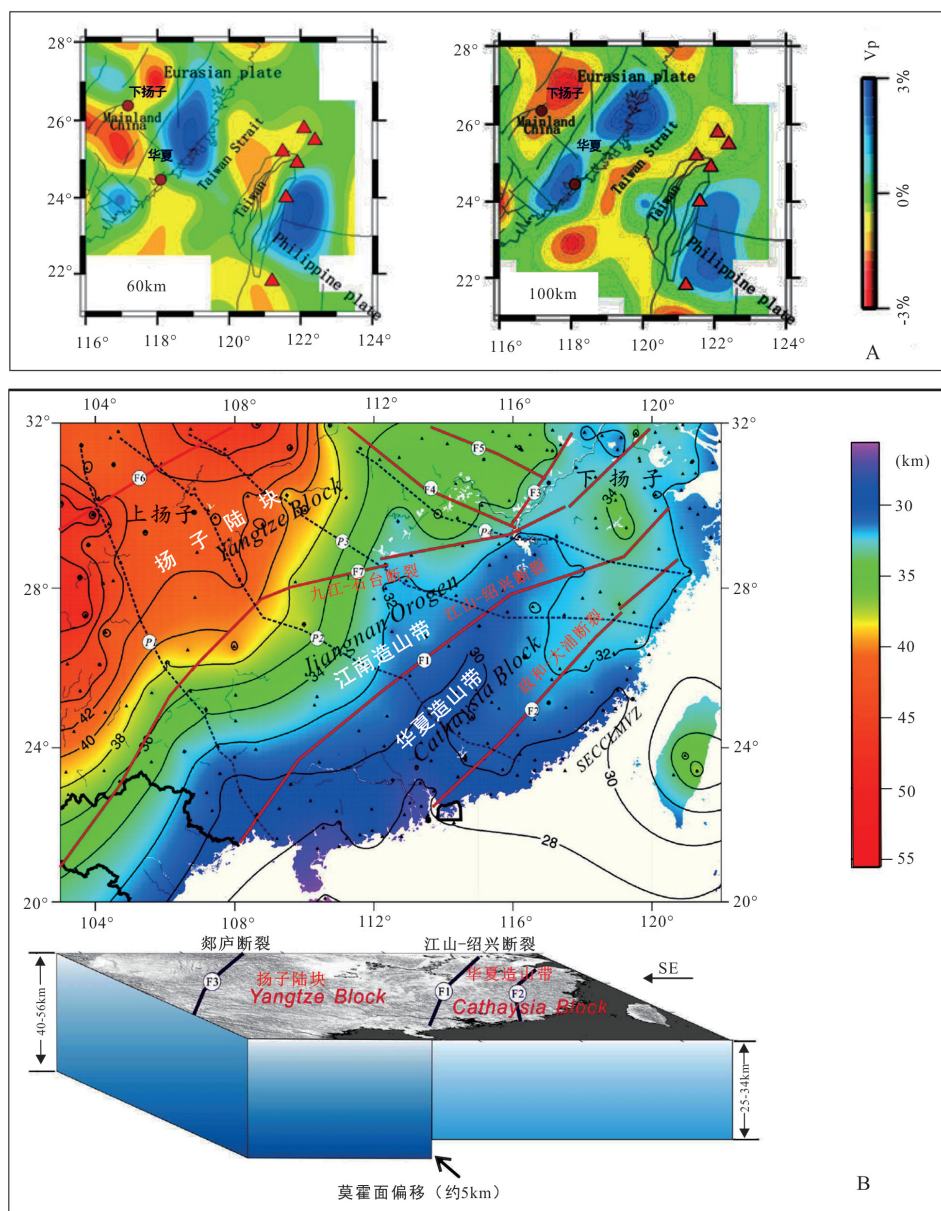


图3 华南深反射地震数据图像

Fig. 3 The deep reflection seismic data image of South China

A图引自Zheng H W et al.,2013;B图引自He C S et al.,2013

图中的“扬子陆块”相当于本文的“扬子克拉通”,“华夏造山带”相当于本文的“华夏造山系”。



图 4 华南及邻区航磁图(中国国土资源航空物探遥感中心, 2004)与构造解译
Fig. 4 The aeromagnetic map and its structure interpretation of South China and adjacent areas

表 3 沿江绍-郴州-钦防对接带两侧扬子与华夏青白口纪-志留纪(约 1000 ~ 419 Ma)
地质特征对比表(据张克信等,2018 修改)

Table 3 Comparison of the Yangtze and Cathaysian stratigraphic characteristics along the Jiangshao-Chenzhou-Qinfang suture zone during the Qingbaikouan to the Silurian (1000-419 Ma)			
序号	对比点	扬子构造-地层大区	华夏构造-地层大区
1	基底与盖层	晋宁期形成的基底,青白口纪晚期(约 820 Ma)开始发育盖层阶段	加里东期形成的基底,泥盆纪开始发育盖层阶段
2	岩石组合与地层序列	震旦纪-奥陶纪以碳酸盐岩为主;火山物质较少	震旦纪-奥陶纪以含凝灰质和碳质板岩、千枚岩、硅质岩、杂砂岩为主,富含火山碎屑物质
3	地层类型	青白口纪晚期以来为成层有序的史密士地层	前泥盆纪以无序的非史密士地层或洋板块地层为主,发育俯冲增生杂岩
4	地层厚度	小	巨大
5	南华纪裂谷	发育裂谷的双峰式火山岩组合及沉积充填序列	不存在裂谷火山岩组合及沉积充填序列,同期的火山岩主要为活动陆缘弧火山岩和洋岛-海山型火山岩
6	南华纪冰碛物与震旦纪盖帽白云岩	发育冰碛物及冰水沉积	未发现确切的冰碛物及冰水沉积
		发育震旦纪初期回暖的盖帽白云岩	无
7	火成岩建造	除南华纪裂谷期火山岩发育外,震旦纪-志留纪火山建造极少	前泥盆纪火山物质多而复杂,存在由辉橄岩、橄辉岩、辉石岩、堆晶辉长岩、辉绿岩和玄武岩等构成的洋壳残片,玄武岩和高镁安山岩构成的洋内弧,洋内地幔热点形成的洋岛玄武岩,基性-中酸性火山岩构成的岛弧和广泛分布的凝灰岩等
8	物源	青白口纪-奥陶纪的物源来自扬子;以约 820 Ma 的碎屑锆石年龄峰值为主	青白口纪-奥陶纪的物源不来自扬子,而来自南部活动大陆边缘;无约 820 Ma 的锆石年龄峰值,以 960 Ma 和 440 Ma 的年龄峰值为主(960 Ma 以碎屑锆石为主,440 Ma 则主要为岩浆锆石和变质锆石)
9	化石组合	滨浅海底栖类为主,类型多样	以浮游类放射虫、深水相硅质海绵(骨针)和具小而薄壳的腕足类等为主,类群相对较少。
10	沉积环境	滨浅海为主	半深海-深海为主
11	变质程度	无或极低级变质	低-中-高级变质(可达高角闪岩相-麻粒岩相)
12	构造变形	弱变形,开阔褶皱	强变形:强劈理化、同斜褶皱和叠瓦状逆冲断层
13	地壳特征	扬子周缘青白口早期发育弧后洋盆之洋壳,之后以陆壳为主	青白口纪一早志留世洋壳发育,之后以陆壳为主
14	盆地类型	青白口纪晚期以来以陆表海和被动陆缘盆地为主	青白口纪-早志留世北侧为被动陆缘盆地,南部为活动陆缘盆地,之间为多岛洋盆
15	构造环境	青白口纪晚期以来为统一的陆块(克拉通)	前泥盆纪不存在统一的“华夏古陆”,是由多岛洋逐步形成的增生造山系
加里东晚期扬子与华夏间的华南海最终关闭,陆-陆碰撞形成了统一的华南海陆块;从泥盆纪开始,华南才进入到统一的沉积盖层发展阶段			

1.2.2 南华纪—中奥陶世

该期间扬子克拉通的盆地成生与沉积发展主要受控于全球罗迪尼亚超大陆的裂解和其周缘原特提斯洋的演化,总体为拉张构造背景下的裂陷环境及充填序列(张克信等,2015,2017;Zhao G C et al., 2018)。

该期间的“华夏”并不是一个单一的“古陆”或“板块”,而是由散布在华南海中的数个小地块及叠加在地块之上的陆缘弧、洋内弧、弧间和弧后盆地、洋岛-海山、深海平原、海沟等构成的多岛洋,为阐

述方便,本文称之为“华夏多岛洋”。华夏多岛洋中的各构造单元(小地块、叠加在地块之上的岩浆弧、洋内弧、洋岛-海山等)逐渐聚集长大形成“西华夏”和“东华夏”两个相对统一的造山增生体(图 5,图 7)(杨巍然等,1986;王鸿祯等,1990;许靖华等,1998;殷鸿福等,1999;何卫红等,2014;潘桂棠等,2015, 2016,2017;邓晋福等,2015,2017;张克信等,2015, 2017;Lin S F et al., 2018;Jiang Y et al., 2019;Jiang J et al., 2020;Ge Y P et al., 2020;Zhao X L et al.,

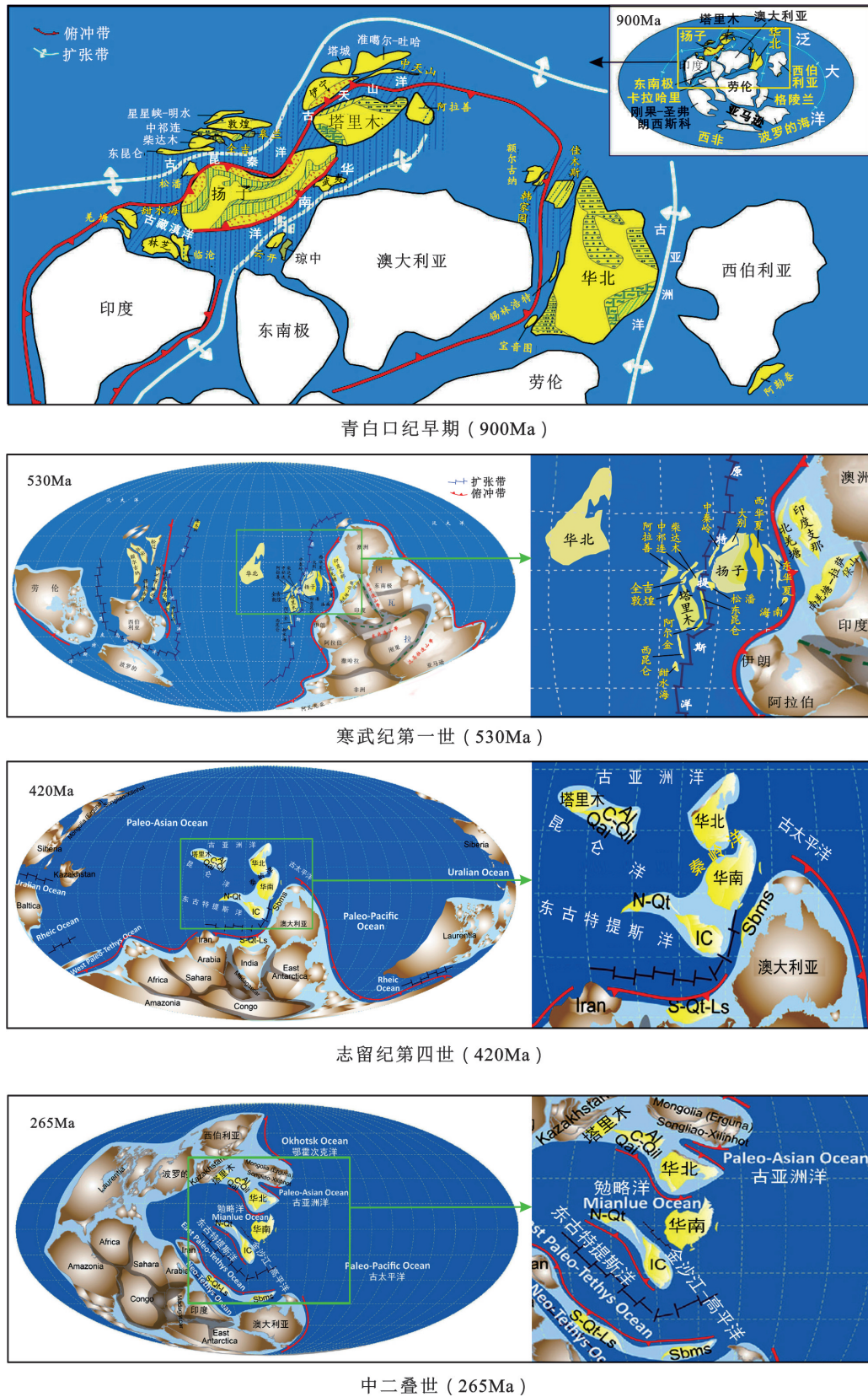


图5 青白口纪-早三叠世关键时段华南在全球洋陆分布格局中的位置略图(据殷鸿福等,1999;Li Z X et al., 2008; Zhao G C et al., 2018 修改)

Fig. 5 Sketch showing the paleogeographic locations of South China in the key periods from the Qingbaikouan to the Early Triassic

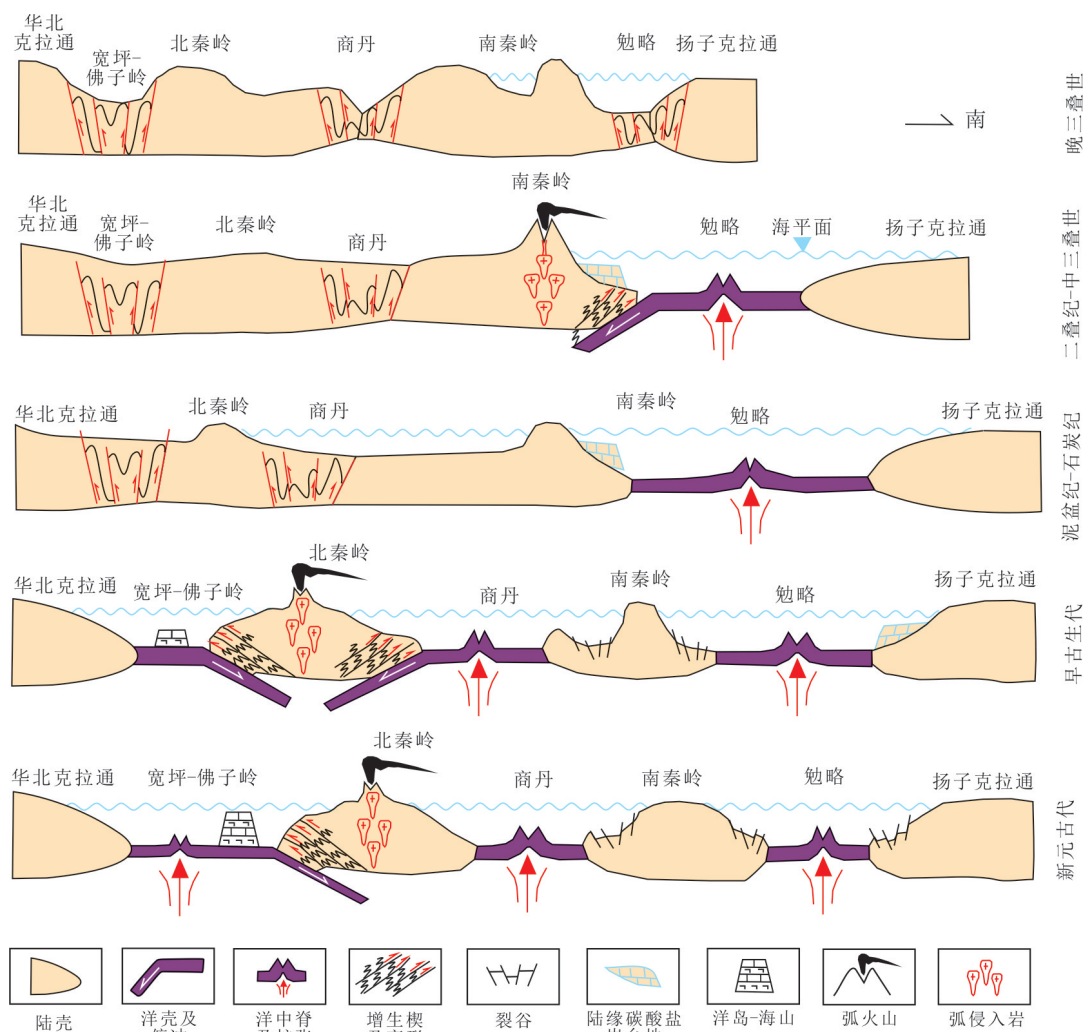


图6 秦岭-扬子及其周边构造演化示意图 (据张克信等,2017修改)

Fig. 6 Sketch showing the tectonic evolution in the Qinling-Yangtze belt and the adjacent areas

2020; Wang L J et al.,2022)。

杨巍然等(1986)较早地指出华夏早古生代存在岛弧和洋壳基底。王鸿祯等(1990)通过构造古地理研究指出:“武功—诸广地块以东、建瓯地块以西,自赣中以至广东全境,元古界出露很少,主要是震旦系至奥陶系较深水硅质、砂泥质连续沉积,所见火山岩大部属岛弧型细碧岩类。看来本区早古生代大部属于过渡壳,部分属于洋壳基底”。许靖华等(1998)编著的“中国大地构造相图”及编图说明书中表达了华南南部(江南造山带+华夏)在晚前寒武纪—早古生代期间由多列岛弧、弧后和弧间洋盆等构成。殷鸿福等(1999)撰文“华南是特提斯多岛洋体系的一部分”提出对华夏构造环境的认识:一是在震旦纪和早古生代期间,扬子和华夏具有十分不

同的演化史,其因是两者之间“存在一个洋盆——南华洋”;二是认为“江绍—宜春—雪峰一线以南以东,武夷—云开一线以西以北的这片代表南华小洋盆的地区”;三是扬子与华夏最终是在加里东期拼合的,拼合之前南华洋“沉积了巨厚的浊积岩,加里东期华夏与扬子由北向南幕式拼合,南华小洋盆转变为加里东造山带”;四是“扬子与华夏在加里东期碰撞时前陆盆地(浙西晚奥陶世,湘中、湘西早志留世)的物源均来自华夏、流向扬子”。何卫红等(2014)和张克信等(2015,2017)认为华夏在南华纪—奥陶纪期间发育了类似现今东南亚的多列弧—弧后盆地和弧间盆地—弧前盆地分布的景观(图7)。潘桂棠等(2015,2017)从大地构造相角度基于沉积、岩浆、变质和构造形变综合研究,将华夏区从西

北向东南划分为江绍-萍乡-郴州对接带和华夏造山系两个一级构造单元;江绍-萍乡-郴州对接带细分为“绍兴-金华增生岩浆弧”和“陈蔡古增生杂岩带”;“华夏造山系”细分为“武夷-云开弧盆系”、“丽水-政和-大埔结合带”、“东南沿海岩浆弧(华夏地块)”等;将“武夷-云开弧盆系”进一步细分为“罗霄岩浆弧”、“新开-永丰弧间盆地”、“云开岩浆弧”、“六万大山-大容山岩浆弧”、“武夷地块(岛弧)”和“信宜龙虎岗-贵子坑坪蛇绿混杂岩带”6个三级构造单元;将“东南沿海岩浆弧”进一步细分为“浙闽粤岩浆弧”和“粤南岩浆弧”2个三级构造单元。邓晋福等(2015,2017)在华夏识别和划分出新余-抚州侵入(岩)弧(O-S)、两广交界侵入(岩)弧(O₃、S₃)、云开残留弧(Qb-Nh)、武夷山残留弧(Pt₃)和龙岩-鸡笼嶂残留弧(Pt₃、Nh)等,这些弧侵入岩由 TTG(英云闪长

岩-奥长花岗岩-花岗闪长岩)和 GG(花岗闪长岩-花岗岩)构成;并指出 TTG 是洋壳俯冲的产物;随时间演化为较成熟陆壳 GG 和成熟陆壳 G(花岗岩)。近年在江绍-郴州对接带内的“陈蔡岩群”、“神山组-库里组”、政和-大埔叠接带内的“马面山岩群”,以及云开北部的贵子-糯垌一带,分别识别出被肢解的洋壳残片(蛇绿岩)、洋岛海山、火山弧和洋内弧等岩石组合,越来越多的证据证实华夏增生造山带是新元古代—早古生代华南洋多岛洋盆长期演化及分阶段洋陆转化的产物(Liu S F et al., 2018; Jiang Y et al.,2019; Ge Y P et al., 2020; Zhao X L et al.,2020; Jiang J et al.,2020; Wang L J et al., 2020, 2022; Li L M et al., 2022)。

1.2.3 晚奥陶世—志留纪

扬子克拉通之南的华夏造山系内的“华夏多岛

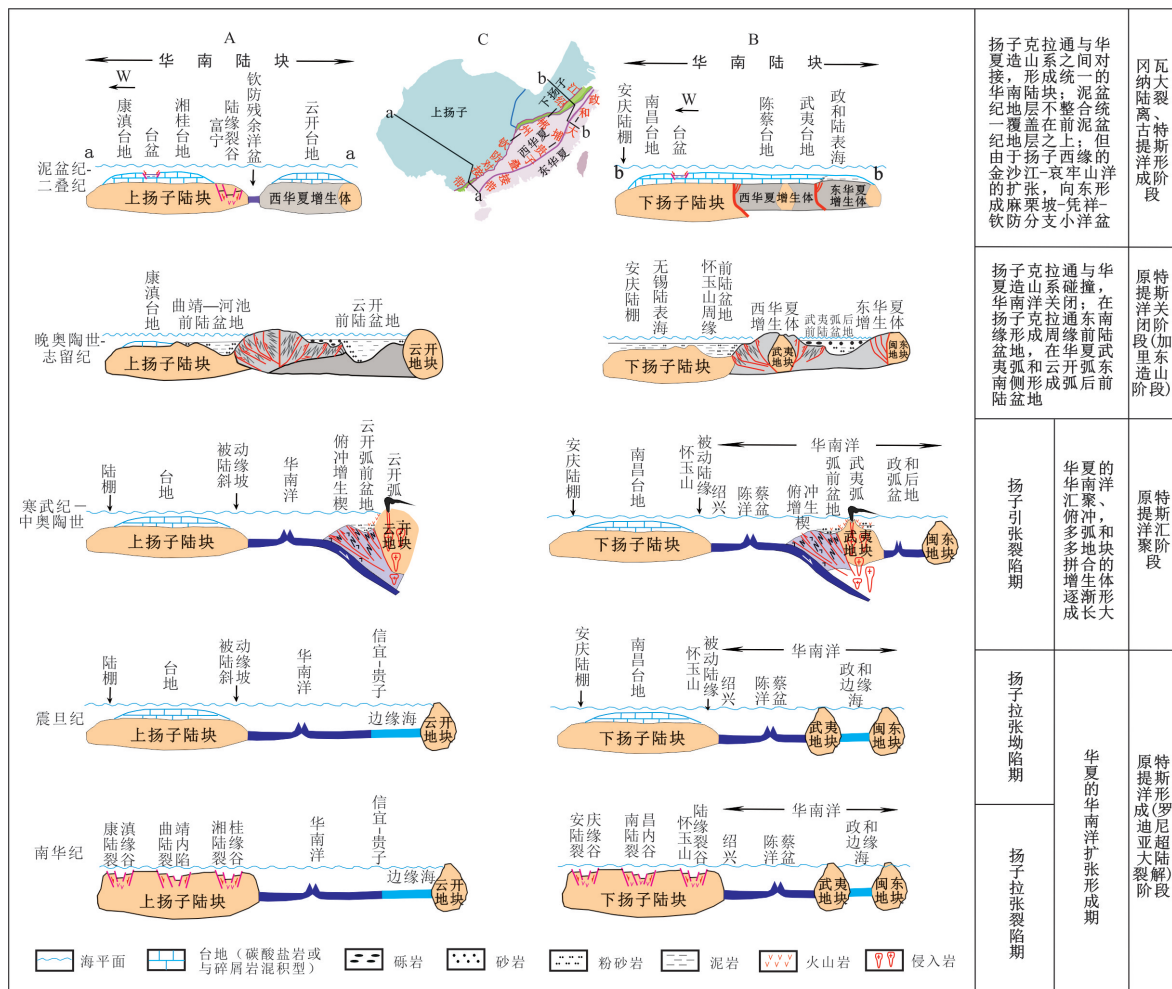


图 7 华南南华纪—二叠纪构造演化示意图(据何卫红等,2014 和张克信等,2017 修改)

Fig. 7 Sketch showing the Nanhua-Permian tectonic evolution of South China

洋”在此阶段收缩关闭,完成了洋陆转换(殷鸿福等,1999;潘桂棠等,2015,2016;张克信等,2015,2016),最终形成了统一的华夏增生体(何卫红等,2014;张克信等,2015,2017),本文称之为华夏造山系,也被前人称为“华南加里东褶皱区”(王鸿祯等,1985)或“加里东造山带”(任纪舜等,2016)。刘宝珩和许效松(1992)据对早古生代扬子东南被动陆缘和华夏西北活动陆缘两大沉积体系相互作用的系统研究,提出两者在早古生代末已经拼合,碰撞变形带大致沿宜春-衡阳-凭祥一线分布。因此,扬子克拉通与华夏造山系在志留纪全面完成了拼合,形成了统一的华南陆块,其后泥盆纪地层统一不整合覆盖在前泥盆纪基底之上(图5,图7)(刘宝珩和许效松,1992;殷鸿福等,1999;何卫红等,2014;潘桂棠等,2015,2017;张克信等,2015,2017)。

1.2.4 泥盆纪-二叠纪

华南陆块四周此阶段被古特提斯洋和泛大洋包围(殷鸿福等,1999;Wan T F and Zhu H, 2011; Zhao G C et al., 2018)。中国学者对此阶段环绕华南陆块四周的洋分别命名为:北部的秦岭洋(勉略洋)、西部的松潘-甘孜洋和金沙江-哀牢山洋、南部的高平洋和东部的古太平洋(图5、6、7)(殷鸿福等,1999;潘桂棠等,2017;Zhao G C et al., 2018)。因此,此阶段的华南陆块受周围各洋盆阶段性的洋脊扩张与海沟带俯冲的影响,加之超级地幔柱的作用(如峨眉山超级地幔柱)引发的地裂运动,呈现出挤压抬升与拉张裂陷构造环境交替出现。

1.2.5 三叠纪

华南陆块北、西和南面的秦岭洋、松潘-甘孜洋、金沙江-哀牢山洋和高平洋关闭,华南陆块与北方的华北陆块、西方的川西-滇西地区的三江印支造山带和松潘-巴颜喀拉地块、南方的印支半岛联结成一体(图5、6、7)(王鸿祯等,1985;殷鸿福等,1999;潘桂棠等,2015,2016,2017)。

1.3 构造抬升与坳陷

本文以上述华南构造演化阶段为主线,阐明青白口纪-三叠纪期间华南陆块的构造抬升与坳陷的差异性。图8是华南青白口纪至三叠纪期间的隆起与坳陷的差异演化图。

1.3.1 青白口纪中-晚期

扬子克拉通此阶段开始时因受周缘弧盆系造山作用影响(图2、5、6、7),总体处于挤压和抬升构造背景中,使周缘的弧后洋盆转化为残余海(张克信等,2018;Xu Y D et al., 2020);之后扬子周缘的残余海盆逐渐填满并抬升为隆起区(图8a),最为显著的是扬子东南缘的“江南造山带”、西缘的康滇、北缘的神农架-黄陵-大洪山的强烈抬升。这次造山运动造成了扬子克拉通周缘呈现隆起带的古地貌格局,这些隆起带曾被称为“江南古陆”、“康滇古陆”等。

1.3.2 南华纪

受罗迪尼亚超大陆裂解影响,南华纪的扬子克拉通总体处于拉张与裂谷发育阶段(王剑等,2001)。该阶段的拉张裂陷区主要分布在滇、黔、川、鄂、皖、苏,呈近北东-南西向带状分布,在黔东南-湘西一带裂陷沉降幅度最大;隆起区主要分布在扬子西北部、北部、东南部的“江南造山带”的部分地区(注:南华纪时“江南造山带”是否属于隆起区,可能还值得商榷,该时期主要还是以沉积作用为主)(图8b)。

1.3.3 震旦纪—寒武纪

在扬子克拉通北面的秦岭洋(图6)和南面的华南海(图7)扩张构造作用下,扬子区内部全面坳陷沉降,第一次被广泛分布的陆表海沉积覆盖(图8c)。该阶段,寒武纪纽芬兰世和第二世期间的坳陷沉降达到高峰,扬子内部在拉张背景下形成了多个由同沉积正断层控制的槽—台相间的古地理单元:台地有7个,自西向东是广元台地、成都台地、重庆台地、荆门台地、宿松台地、南京台地和苏州台地;台盆(裂陷槽)也有7个,自西向东是德阳-巴中台盆、绥江-安岳台盆、遵义-铜仁-张家界台盆、万源-襄阳台盆、宜都台盆、九江-宣城台盆和滁州-盐城台盆。扬子西南缘和东南缘均为扬子克拉通边缘向大洋盆地延伸的陆棚区。由师弥断裂和垭紫罗断裂所围限的南盘江-右江海盆沉降幅度最大,充填了巨厚的寒武纪半深海-深海复理石沉积。

1.3.4 早-中奥陶世

该阶段扬子总体古地势是西北高、向东南降低;西北部为巨大的碳酸盐岩台地,东南部为深水

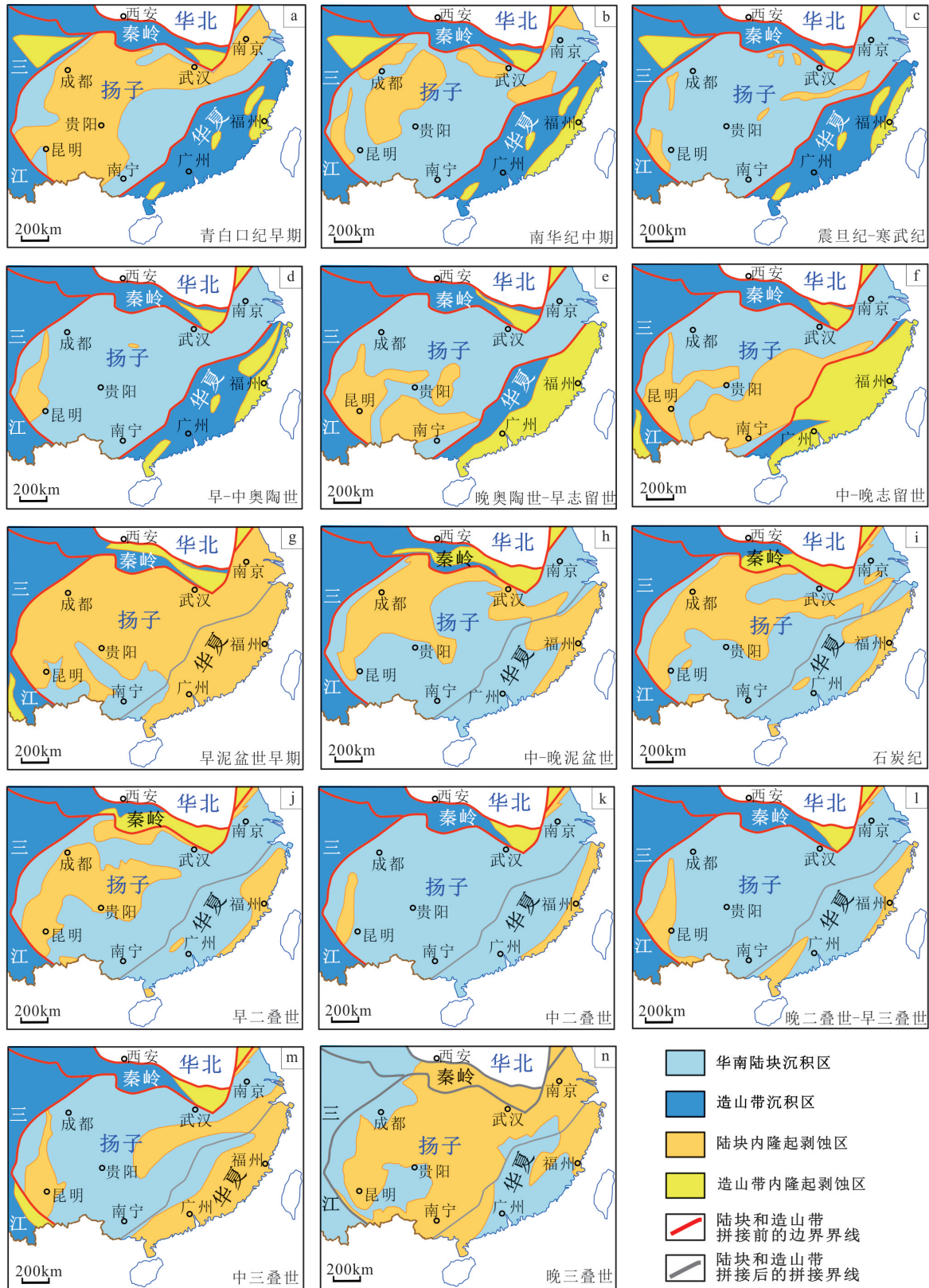


图8 华南青白口纪至三叠纪期间隆起与拗陷的差异演化图

Fig. 8 Sketch showing the difference in the evolution of uplift and depression during the Qingbaikouan to the Triassic period in South China

图中青白口纪-寒武纪的剥蚀和沉积区据 Xu Y D et al.(2020)、Yu Y et al.(2020)和张克信等(2020)的岩相古地理图资料,奥陶纪—三叠纪的剥蚀和沉积区据马永生等(2009)的岩相古地理图资料.

盆地;构造背景和隆起-坳陷地貌格局与震旦纪—寒武纪阶段大致相同,但西缘的康滇隆起分布稍有扩大(图 8d)。

1.3.5 晚奥陶世—早泥盆世早期

扬子克拉通北面的秦岭洋(图 6)和南面的华南海(图 7)由前期以扩张作用为主转换为俯冲挤压为主的构造环境(潘桂棠等,2015,2017),扬子区内部大幅度抬升。抬升作用由南逐渐向北推进,晚奥陶世—早志留世的抬升隆起区位于康滇至南盘江-右江一带(图 8e),中-晚志留世向东北方向扩展(图 8f),至早泥盆世早期隆起区波及到整个扬子中部和北部,但在康滇至南盘江-右江一带坳陷沉降为较深水盆地(图 8g)。值得注意的是,该阶段扬子与华夏间的华南海关闭,最终碰撞结合为统一的“华南陆块”(潘桂棠等,2015;张克信等,2015,2016)(图 5,图 7)。到了早泥盆世早期,不仅扬子大部分隆起为剥蚀区,华夏整体也隆起为剥蚀区(图 8)。

华夏的前泥盆纪地层发生强烈褶皱变形并普遍遭受低绿变岩相变质,少数为中深变质;在泥盆系与前泥盆系之间形成广泛分布的不整合面(称加里东运动)。显然,该阶段扬子、华夏的大规模抬升与扬子、华夏的碰撞造山紧密相关。下文从泥盆纪开始,按华南陆块整体,阐述构造抬升与坳陷的差异性。

1.3.6 中泥盆世—早二叠世(乌拉尔世)

该阶段的华南陆块抬升与坳陷的地貌格局总体上是北高南低;东缘和西缘高,分别向陆块中部变低,但西缘的隆起幅度大于东缘(图 8h、i、j)。因此,始于广西南部南盘江-右江一带的早泥盆世海侵,从早泥盆世至晚泥盆世范围逐渐向北推进,早泥盆世几乎波及广西全境,中泥盆世沉积向北覆盖湖南,晚泥盆世向北覆盖湖北。

1.3.7 中二叠世—晚二叠世(瓜德鲁普世-乐平世)

该阶段由于华南陆块之北的秦岭勉略洋、之西三江地区的松潘-甘孜洋、金沙江-哀牢山洋和南面的高平洋的扩张,华南在区域拉张构造背景下整体坳陷沉降,从中二叠世栖霞期开始大规模海侵,除东缘和西缘有小片隆起带外,整个陆块几乎全被陆表海覆盖(图 8k、l)。

1.3.8 三叠纪

该阶段由于华南陆块之北的秦岭勉略洋、之西三江地区的松潘-甘孜洋、金沙江-哀牢山洋和南面的高平洋的关闭与陆-陆碰撞(印支运动),华南与北面的华北克拉通、西面的三江地区和南面的印支地块焊结成统一的陆块。华南陆块整体隆升并引发大规模海退,至晚三叠世末期海水全部退出,华南陆块整体进入陆相沉积时代(图 8m、n)。

1.4 地层序列和结构

图 1 简示了扬子和华夏各三级单元内南华纪—三叠纪地层的建造序列和结构(地层缺失和不整合面发育特征)。两者最突出的差别是:

1.4.1 地层建造序列的结构不同

主要表现在基底与盖层的发育与转化时间不同。扬子克拉通中元古代晚期—新元古代早期周缘表现为沟-弧-盆空间配置,在西缘、北缘和东南缘分别分布有扬子西缘弧后盆地和岛弧(会理群、通安群、盐边群、登相营群、峨边群、黄水河群)、扬子北缘弧后盆地和岛弧(火地垭群、西乡群、土门岩组、郑家垭组、凉风垭组、庙湾岩组、花山群、张八岭群)、扬子东南缘弧后盆地和岛弧(梵净山群、四堡群、冷家溪群、双桥山群、张村岩群、双溪坞群、溪口群)。约 820 Ma 扬子周缘的 3 个弧后小洋盆的洋壳消减殆尽转化为叠接带(图 2),弧-陆碰撞形成统一的扬子古大陆。青白口纪晚期—南华纪早期出现碰撞后上叠裂谷盆地,随后晚南华世冰碛岩广布陆块区,其后震旦纪为稳定台地。扬子的基底与盖层转化开始的时间约为 820 Ma,结束的时间约为 760 Ma(潘桂棠等,2016;张克信等,2017,2018)。华夏的基底与盖层转化的时间约在志留纪初期(~430 Ma),结束的时间约在早泥盆世(潘桂棠等,2015;任纪舜等,2016),比扬子晚约 400 Ma 之久(表 3)。另外,扬子区的泥盆纪及其更年轻的地层与前泥盆纪地层间为平行不整合接触,而华夏的泥盆纪及其更年轻的地层与前泥盆纪地层间为角度不整合接触(图 1)。

1.4.2 前泥盆纪地层建造序列的岩石组合不同

一是扬子震旦纪—奥陶纪以碳酸盐岩建造为主,含火山物质稀少;华夏青白口纪—早志留世以含凝灰质的板岩、千枚岩、硅质岩、碳质板岩和杂砂岩

等(原岩为浊积岩和远洋沉积)为主,富含火山物质(表3)。二是扬子发育南华纪冰碛岩建造与震旦纪盖帽白云岩,但在华夏未发现确切的南华纪冰碛物及冰水沉积,也无震旦纪盖帽白云岩。三是前泥盆纪时期青白口纪—志留纪的地层厚度差别巨大,华夏的厚度远大于扬子的厚度。从泥盆纪开始,华南才进入到统一盖层的沉积演化序列。

1.4.3 其它区别

主要是前泥盆纪地层,两者在构造变形、变质程度和物质组成(如含火山岩等)方面差别巨大(表3)。

1.5 沉积体系与相序、生物古地理(生物群落)

扬子与华夏在前泥盆纪时期的沉积体系与相序、物源、生物古地理(生物群落)面貌等方面均存在巨大差异。

1.5.1 沉积体系与相序不同

两者前泥盆纪地层差别巨大,扬子区以滨浅海

沉积体系和相序为主,而华夏则以深海-半深海沉积体系和相序为主(表3,图9、10)(刘宝珺和许效松,1992;殷鸿福等,1999;Jiang G Q et al., 2011;何卫红等,2014;张克信,2015,2017)。

1.5.2 物源不同

扬子的物源来自扬子本区,以约 820 Ma 的碎屑锆石年龄峰值为主,不存在约 960 Ma 和 440 Ma 的碎屑锆石年龄峰值;华夏的物源以 960 Ma 和 440 Ma 的碎屑锆石年龄峰值为主(Wan Y S et al, 2010;杜秋定等,2013;宋芳等,2016;肖爱芳和黎敦朋,2017;张克信等,2018;Yu Y et al., 2020;牛志军等,2022;Wang L J et al., 2022),说明其不来自扬子克拉通,而来自南部的活动大陆边缘。

1.5.3 生物群面貌不同

前泥盆纪时期,扬子区以滨浅海生物群为主,而华夏则以深海-半深海生物群为主(表4)。

表 4 南华纪—志留纪扬子与华夏生物群特征对比
Table 4 Comparison of Nanhua – Silurian biotas characteristics between the Yangtze and Cathaysian units

地质时代	扬子克拉通	华夏造山系
志留纪	早志留世除双笔石外,单笔石开始繁盛;志留纪中-晚期的笔石几乎全部为单笔石类。笔石化石带较连续,牙形石、珊瑚、腕足类和三叶虫次之(戎嘉余等,2019)。	笔石(戎嘉余等,2019)
奥陶纪	笔石动物繁盛且化石带连续分布;其次是牙形石、三叶虫、腕足类和直壳类头足类(张元动等,2019)。	笔石带不连续(陈旭等,2010);偶见放射虫(郑宁等,2012)和小而薄壳的腕足类。
寒武纪	三叶虫最丰富,次为牙形石、笔石、鹦鹉螺、小壳类和古杯类等(朱茂炎等,2019)。三叶虫生物古地理区属“亚澳大区”(杨家骥,1988)。全球寒武纪生命大爆发特异埋藏的云南澄江生物群(Hou X G et al., 2004;舒德干,2009)、湖北清江生物群(Fu D J et al., 2019)、贵州杷榔和凯里动物群(赵元龙等,2009)、陕西宽川铺生物群(Han J et al., 2018)等。	放射虫(郑宁等,2012; Zhang K and Feng Q L, 2019) 疑源类(Wang L J et al., 2020)
震旦纪	发育动物胚胎化石—贵州瓮安生物群(袁训来等,2002; Xiao S H et al., 2014);宏体藻类和类腔肠的后生动物—安徽蓝田生物群(袁训来等,2016);宏体藻类、腔肠动物栖管和埃迪卡拉型动物化石—湖北庙河生物群和石板滩生物群(丁莲芳等,1996; Tang F et al., 2008; 周传明等,2019);早期矿化骨骼化石—陕南高家山生物群(华洪等,2001)。	无
南华纪	湖北神农架宋洛宏体藻类(Ye Q et al., 2015)	少量疑源类(Wang L J et al., 2020)

2 构造-地层区划结果与特征对比

本文在上述 5 方面区划依据的基础上,划分了华南青白口纪—三叠纪的构造-地层区划单元,如

图 1 所示:图中划分出一级单元 3 个,分别是扬子、华夏和海南岛-台湾岛;二级单元 6 个,其中扬子划分为上扬子和下扬子,华夏划分为西华夏和东华夏,海南岛-台湾岛划分为海南岛和台湾岛;三级单元 44 个,其中上扬子 19 个、下扬子 6 个、西华夏 6

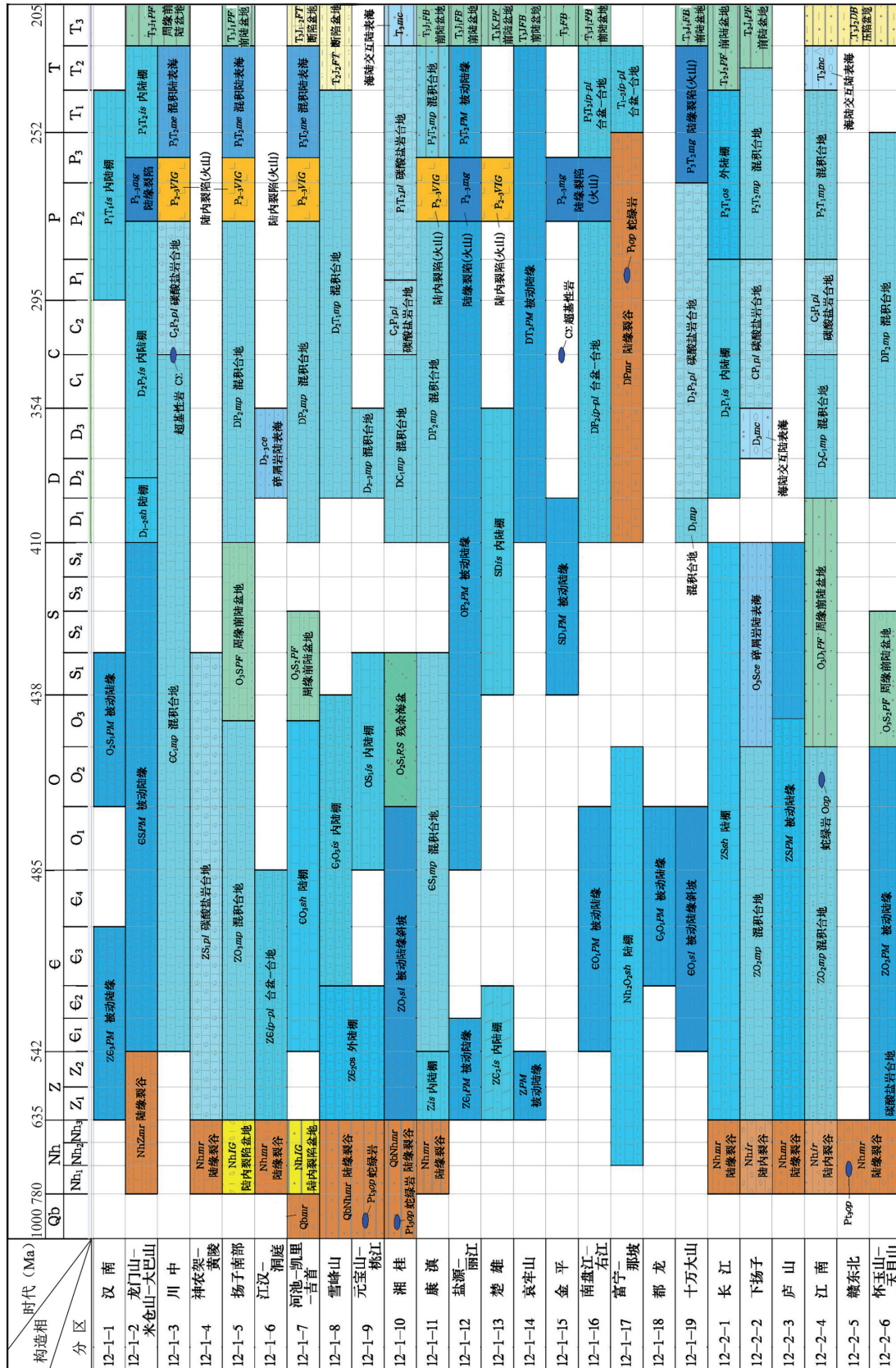


图9 扬子大区各三级构造-地层区划单元青白口纪—三叠纪沉积大地构造环境与相序演化对比 (张克信等, 2017)

Fig. 9 Evolution of the Qingbaikouan to Triassic sedimentational tectonic-environments and the related sedimentational facies-sequences for the third-level tectono-stratigraphic units in the Yangtze area

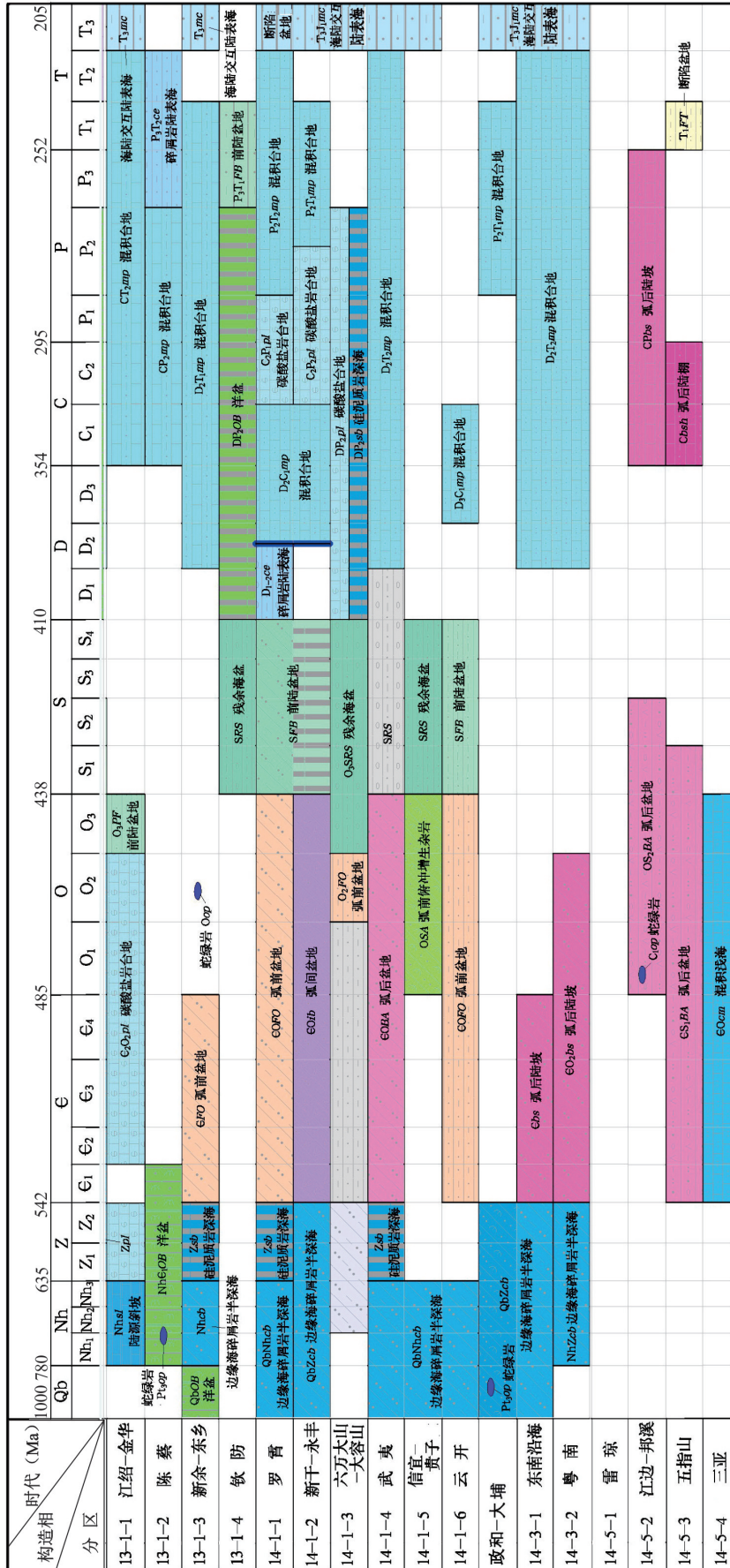


图 10 华夏大区各三级构造-地层区划单元青白口纪—三叠纪沉积大地构造与相序演化对比 (张克信等, 2017)

Fig. 10 Evolution of the Qingbaikouan to the Triassic sedimentational tectonic-environments and the related sedimentational facies-sequences of the third tectono-stratigraphic units in Cathaysian

个、东华夏5个、海南岛和台湾岛各4个。关于扬子与华夏之区别已在前文阐述过,不再重述。下文重点阐述扬子大区和华夏大区内的二级至三级构造-地层区划单元的特征与差异性,对海南岛地层区和台湾岛地层区简述之。

2.1 上扬子地层区与下扬子地层区的区别

以麻城-团风-岳阳-长沙-湘潭-衡阳一线为界,将扬子大区划分为西部的上扬子区和东部的下扬子区。该界线最北段的麻城-团风段昔称“团麻断裂”,团麻断裂向南如何延伸研究甚少,本文采用潘桂棠等(2015)的划分方案,从团风向南经岳阳、长沙、湘潭至衡阳与郴州-钦防大断裂相接。该界线也是江汉-洞庭湖盆地的东部边界,其东以丘陵山区为主。上、下扬子两个区的区别如表5所述。

表5 上扬子区与下扬子区寒武纪—二叠纪沉积建造和生物区系特征对比表

Table 5 Comparison of the Cambrian–Permian sedimentations formations and biotas between the Upper–Yangtze and Lower–Yangtze units

序号	对比点	上扬子区	下扬子区
1	寒武系-奥陶系	发育半深海浊积岩建造(主要分布在上扬子南部和东南部的南盘江-右江分区、富宁-那坡和湘东南-桂东),产半深海放射虫-硅质海绵类动物群	全区为滨-浅海沉积建造
2	志留系	总体为滨-浅海碎屑岩沉积,岩相变化不大;中-晚志留世在南部大面积海退并隆起	岩相变化大,早志留世在南部发育深水浊流沉积,晚志留世发育粗碎屑磨拉石沉积。中-晚志留世无大面积隆起,全区志留纪沉积序列发育较全
3	泥盆系	全区泥盆纪沉积发育齐全,在东南部钦防海槽发育深海-半深海沉积和深水相放射虫动物群,泥盆纪沉积类型多,相变大	除东南部部分地区发育中泥盆世沉积外,其他地区仅见晚泥盆世碎屑岩沉积建造
4	石炭系	北部大部分地区缺失;南部相变大,在东南部钦防海槽发育深海-半深海沉积和深水相放射虫动物群	全区较发育,相变不大
5	二叠系	早二叠世沉积在西部分布少;中-晚二叠世在西部和南部有大量基性火山岩喷溢和基性岩墙侵入,在东南部钦防海槽发育深海-半深海沉积和深水相放射虫动物群	全区较发育,相变较上扬子小;无基性岩浆岩建造。

(1)深部构造及结构不同:从航磁图上看,界线两侧的磁场分布区别较明显,西侧的磁场强度明显大于东侧(图4),可能存在一隐伏大断裂。深部地震剖面显示,从莫霍面埋深看,下扬子区域小于上扬子区域(图3B的上图)。

(2)火成岩建造不同:下扬子最显著特征是沿长江流域发育大量燕山期(J-K)侵入岩、火山岩和铜铁多金属矿床(常印佛等,1991),但上扬子无。邓晋福等(2015)认为中国东部在燕山期属于大陆边缘型(安第斯型)的主动陆缘,J-K火成岩是古太平洋板块向西俯冲的产物。

(3)沉积建造和生物区系不同:总体来看,寒武纪-二叠纪下扬子与上扬子的沉积建造和生物区系具有基本相同的大背景,但也有不同点,主要区别列于表5。

2.2 扬子地层大区内各地层分区(三级单元)特征

上扬子区划分为汉南、龙门山-米仓山-大巴山、川中、神农架-黄陵、曲靖-遵义-宜昌、江汉-洞庭、河池-都匀-怀化-吉首、雪峰山、元宝山-安化-桃江、湘桂、攀枝花-昆明、盐源-丽江、楚雄、元江、金平、南盘江-右江、富宁-那坡、都龙和十万大山19个地层分区;下扬子区划分为长江下游、九华山-无锡-南通、庐山、江南、赣东北和怀玉山-天目山6个地层分区(图1)。

扬子大区内各地层分区(三级单元)划分的主要依据是地层序列与结构。由图1可以看出,各相邻分区的地层序列与结构均存在一定差别。如1-1-1分区与1-1-2分区主要不同点是1-1-1分区缺

失了Nh和S₂-C; 1-1-2分区与1-1-3分区主要不同点是1-1-3分区缺失了Nh, T₃与下伏地层接触关系不同; 1-1-3分区与1-1-4分区的主要区别是1-1-4分区的地层缺失较多并不整合面的数量比1-1-3分区多; ……等。

2.3 西华夏地层区和东华夏地层区的区别

Lin S F et al.(2018)以“福建西北断裂”为界将华夏造山系划分为西华夏和东华夏两大单元。本文采用“西华夏”和“东华夏”两名词作为华夏构造—地层大区内的二级单元名称,但两单元间的界线采纳潘桂棠等(2015)的界线,以“政和-大埔-贵子”结合带的西北边界断裂为界,此界线位于Lin S F et al.(2018)划分的“福建西北断裂”之东侧,两者大致平行但不重合。需指出的是,本文的“西华夏”和“东华夏”两个构造—地层区”分别相当于潘桂棠等(2015)的“武夷-云开弧盆系”和“丽水-政和-大埔结合带”+“东南沿海岩浆弧”。东、西华夏的区别主要有如下几点:

(1)深部构造及结构不同:He C S et al.(2013)利用深反射地震观测数据揭示出以“政和-大埔-贵子”大断裂为界,西华夏的莫霍面要比东华夏深约5 km(图3B)。

(2)南华纪—三叠纪的地层序列:东华夏比西华夏缺失的地层多(图1),如东华夏大部分地区缺失早奥陶世—早石炭世地层(除云开地层分区外)(张克信等,2017)。

(3)“加里东运动”不整合面出现的时间:东华夏比西华夏早,东华夏最显著的不整合面分布在震旦纪—中寒武世时段内(震旦纪—中寒武世地层缺失),而西华夏最显著的不整合面分布在晚奥陶世—志留纪时段内(晚奥陶世—志留纪地层缺失)(张克信等,2017)(图1)。陈旭等(2012)对华夏—上扬子奥陶纪—志留纪笔石化石带的详细研究揭示出,从华夏至上扬子西北,晚奥陶世—早志留世地层缺失界面逐渐抬高(变新)。从上述“加里东运动”不整合面从东华夏经西华夏至扬子逐步变新的穿时性看,华夏造山系的增生造山运动从新元古代晚期—志留纪是分阶段进行的,增生方向大致是从南东向北西传递,故地壳从南东向北西逐步抬升。

2.4 华夏地层大区内各地层分区(三级单元)特征

华夏大区内各地层分区(三级单元)划分的主

要依据是地层序列与结构。由图1可以看出,各相邻分区地层序列与结构均存在一定差别。如2-1-1分区和2-1-2分区的区别是:2-1-1的新元古代—早古生代地层以洋板块地层(或非史密斯地层)为主,是构造混杂岩,其基质为强劈理化的低—中级变质的远洋泥质—半远洋细碎屑浊积岩,基质内包裹较坚硬的火成岩岩块(超基性、基性、中性和少量酸性)、大理岩岩块和硅质岩(石英岩)岩块等(张克信等,2016; Wang L J et al., 2020, 2022; Zhao X L et al., 2020); 2-1-2新元古代—早古生代地层以有序的半深海浊积岩为主(史密斯地层)。又如2-1-2与2-1-3的主要区别是:从南华系—下三叠统,2-1-2内缺失了中南华统和下奥陶统,2-1-3内缺失了中奥陶统。又如2-2-2和2-2-3的主要区别是:从南华系—三叠系,2-2-2内缺失了上南华统一中奥陶统、下—中志留统和二叠系—中三叠统,2-2-3内缺失了上奥陶统一—下泥盆统和中三叠统。… …等。

2.5 海南岛地层区和台湾岛地层区的区别

海南岛区新元古代—三叠纪各时代地层均有发育,但台湾岛区缺失前三叠纪地层(张克信等2015,2017)(图1)。

3 结论

(1)本文针对华南新元古代青白口纪—中生代三叠纪地层发育特征,提出华南该时段构造—地层一至三级综合区划方案,划分出一级单元3个、二级单元6个和三级单元44个。

(2)区划的主要依据涉及大地构造背景和演化历程、洋陆重建分布、深部构造及结构、构造隆升与坳陷、地层序列和结构、沉积相序、生物群和构造形变样式等方面。

(3)通过一级单元区划,揭示出华南是早古生代晚期由扬子克拉通和华夏增生造山带两大单元拼合而成的,两大构造单元间的拼合带称“江绍—郴州—钦防对接带”;新元古代—早古生代期间,华夏与扬子间有华南海相隔,直到志留纪末期它们才结合成统一的华南陆块。

(4)扬子和华夏两个一级单元内的各二级和三级单元之间,显示出建造序列和结构(地层缺失和

不整合面发育特征)存在一定的差异性。

(5)青白口纪—三叠纪期间华南原型盆地成生与地层充填序列、控制盆地发育的大地构造环境及后期构造变形,均与周缘洋盆的演化与洋陆转换密切相关。

(6)华南在青白口纪—三叠纪期间经历了五个构造演化阶段:一是青白口纪中晚期扬子克拉通周缘弧盆系洋陆转换与造山阶段;二是南华纪—中奥陶世在罗迪尼亚超大陆裂解背景下以拉张为主的阶段;三是晚奥陶世—志留纪北部秦岭洋北支商丹洋和南部华南洋的关闭与造山阶段;四是晚古生代华南陆块构造环境相对稳定阶段;五是三叠纪华南北部秦岭洋南支勉略洋、西部的松潘-甘孜洋和金沙江-哀牢山洋、南部的高平洋的关闭与造山阶段。

成都地质调查中心、武汉地质调查中心和南京地质调查中心专家学者们提供了大量基础资料和帮助,在此深表感谢!

参考文献:

- 常印佛,刘湘培,吴言昌.1991.长江中下游铜铁成矿带[M].北京:地质出版社.
- 陈旭,张元动,樊隽轩,成俊峰,李启剑.2010.赣南奥陶纪笔石地层序列与广西运动[J].中国科学:地球科学,40(12):1621-1631.
- 陈旭,张元动,樊隽轩,唐兰,孙海清.2012.广西运动的进程:来自生物相和岩相带的证据[J].中国科学:地球科学,42(11):1617-1626.
- 程裕淇,王泽九,黄枝高.2009.中国地层典·总论[M].北京:地质出版社,1-411.
- 邓晋福,冯艳芳,狄永军,等.2015.中国侵入岩大地构造图说明书(1:2500000)[M].北京:地质出版社.
- 邓晋福,冯艳芳,狄永军,等.2017.中国侵入岩大地构造图[M].北京:地质出版社.
- 丁炳华,史仁灯,支霞臣,郑磊,陈雷.2008.江南造山带存在新元古代(~850 Ma)俯冲作用:来自皖南SSZ型蛇绿岩锆石 SHRIMP-U-Pb 年龄证据[J].岩石矿物学杂志,27(5):375-388.
- 丁莲芳,李勇,胡夏嵩,肖娅萍,苏春乾,黄建成.1996.震旦纪庙河生物群[M].北京:地质出版社.
- 董树文,薛怀民,项新葵,马立成.2010.赣北庐山地区新元古代细碧-角斑岩系枕状熔岩的发现及其地质意义[J].中国地质,37(4):1021-1033.
- 杜秋定,汪正江,王剑,卓皆文,谢尚克,邓奇,杨菲.2013.湘中长安组碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及其地质意义[J].地质论评,59(2):334-344.
- 郭令智,卢华复,施央申,马瑞士,孙岩,舒良树,贾东,张庆龙.1996.江南中、新元古代岛弧的运动学和动力学[J].高校地质学报,2(1):1-13.
- 何卫红,唐婷婷,乐明亮,邓晋福,潘桂棠,邢光福,骆满生,徐亚东,韦一,张宗言,肖异凡,张克信.2014.华南南华纪—二叠纪沉积大地构造演化[J].地球科学,39(8):929-953.
- 华洪,张录易,张子福,王静平.2001.高家山生物群化石组合面貌及其特征[J].地层学杂志,25(1):10-17.
- 黄汲清.1962.中国地层区划的初步建议[M].//见:全国地层会议学术报告汇编,总论.北京:科学出版社.
- 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.
- 刘宝珺,许效松.1992.中国南方岩相古地理图集(震旦纪—三叠纪)[M].北京:科学出版社.
- 陆松年,郝国杰,王惠初,等.2015.中国变质岩大地构造图说明书(1:2500000)[M].北京:地质出版社.
- 陆松年,郝国杰,王惠初,等.2017.中国变质岩大地构造[M].北京:地质出版社.
- 马永生,陈洪德,王国力,等.2009.中国南方层序地层与古地理[M].北京:科学出版社.
- 牛志军,邓新,刘浩,李福林,宋芳,何奎砚,杨文强.2022.扬子克拉通南北缘新元古代火山-沉积岩系研究现状与问题[J].华南地质,38(1):27-45.
- 潘桂棠,肖庆辉,尹福光,等.2015.中国大地构造图说明书(1:2500000)[M].北京:地质出版社.
- 潘桂棠,陆松年,肖庆辉,张克信,尹福光,郝国杰,骆满生,任飞,袁四化.2016.中国大地构造阶段划分与演化[J].地学前缘,23(6):1-23.
- 潘桂棠,肖庆辉,陆松年,等.2017.中国大地构造[M].北京:地质出版社.
- 彭松柏,李昌年,Kusky T M,王璐,张先进,蒋幸福,熊承仁.2010.鄂西黄陵背斜南部元古宙庙湾蛇绿岩的发现及其构造意义[J].地质通报,29(1):8-20.
- 彭松柏,刘松峰,林木森,吴长峰,韩庆森.2016.华夏早古生代俯冲作用(I):来自糯垌蛇绿岩的新证据[J].地球科学,41(5):765-778.
- 任光明,庞维华,潘桂棠,王立全,孙志明,尹福光,崔晓庄,王冬兵,邓奇,任飞.2017.扬子克拉通西缘中元古代菜子园蛇绿混杂岩的厘定及其地质意义[J].地质通报,36(11):

- 2061-2075.
- 任纪舜,李崇.2016.华夏古陆及相关问题—中国南部前泥盆纪大地构造[J].地质学报,90(4):607-614.
- 任纪舜,孙蓓薇.2001.中国大地构造与地层区划[J].地层学杂志,25(增刊):361-369.
- 戎嘉余,王怿,詹仁斌,樊隽轩,黄冰,唐鹏,李越,张小乐,吴荣昌,王光旭,魏鑫.2019.中国志留纪综合地层和时间框架[J].中国科学:地球科学,49:93-114.
- 舒德干.2009.达尔文革命与人类的由来—澄江化石库的重大贡献[M].见:沙金庚 主编.世纪飞跃—辉煌的中国古生物学.北京:科学出版社,54-67.
- 舒良树,陈祥云,楼法生.2020.华南前侏罗纪构造[J].地质学报,94(2):333-360.
- 四川省地质调查院.2022.中国区域地质志·四川志[M].北京:地质出版社.
- 宋芳,牛志军,何奎砚,杨文强.2016.中扬子地区南华纪早期碎屑锆石 U-Pb 年龄及其对物源特征和古地理格局的约束[J].地质学报,90(10):2661-2680.
- 王剑,刘宝珺,潘桂棠.2001.华南新元古代裂谷盆地演化—Rodinia 超大陆解体的前奏[J].矿物岩石,21(3):135-145.
- 王鸿祯.1978.论中国地层分区[J].地层学杂志,2(2):81-104.
- 王鸿祯,楚旭春,刘本培,等.1985.中国古地理图集[M].北京:地图出版社.
- 王鸿祯,杨森楠,刘本培,等.1990.中国及邻区构造古地理和生物古地理[M].武汉:中国地质大学出版社.
- 吴福元,万博,赵亮,肖文交,朱日祥.2020.特提斯地球动力学[J].岩石学报,36(6):1627-1674.
- 肖爱芳,黎敦朋.2017.闽西南下古生界东坑口组与魏坊组地层层序与物源区特征——来自碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年的约束[J].地质通报,36(10):1750-1759.
- 邢光福,冯益民,靳国栋,等.2015.中国火山岩大地构造图说明书(1:2500000)[M].北京:地质出版社.
- 徐扬,杨振宇,邓新,王令占,刘浩,金鑫,张维峰,魏运许,彭练红,黄海永.2021.西大别南缘印支期吕王-高桥-永佳河构造混杂岩带的厘定及其构造意义[J].地球科学,46(4):1173-1198.
- 许靖华,孙枢,王清晨,等.1998.中国大地构造相图[M].北京:科学出版社.
- 薛怀民,马芳,宋永勤.2011.扬子克拉通北缘随(州)-枣(阳)地区新元古代变质岩岩的地球化学和 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学研究[J].岩石学报,27(4):1116-1130.
- 杨家骥.1988.寒武纪[M].//见:殷鸿福,等.1988.中国古生物地理学.武汉:中国地质大学出版社,65-89.
- 杨明桂,吴富江,宋志瑞,吕少俊.2015.赣北:华南地质之窗[J].地质学报,89(2):222-233.
- 杨巍然,胡德祥,张旺生.1986.华南加里东阶段古构造特征[M].//见:华南地区古大陆边缘构造史.武汉:武汉地质学院出版社,39-64.
- 殷鸿福,吴顺宝,杜远生,彭元桥.1999.华南是特提斯多岛洋体系的一部分[J].地球科学,24(1):1-12.
- 袁训来,肖书海,尹磊明,等.2002.陡山沱期生物群—早期动物辐射前夕的生命[M].合肥:中国科学技术大学出版社.
- 袁训来,万斌,关成国,等.2016.蓝田生物群[M].上海:科学技术出版社.
- 张传恒,高林志,史晓颖,韩瑶,刘耀明.2014.梵净山群火山岩锆石 SHRIMP 年龄及其年代地层学意义[J].地学前缘,21(2):139-143.
- 张国伟,郭安林,王岳军,李三忠,董云鹏,刘少峰,何登发,程顺有,鲁如魁,姚安平.2013.中国华南大陆构造与问题[J].中国科学:地球科学,43(10):1553-1582.
- 张克信,潘桂棠,何卫红,肖庆辉,徐亚东,张智勇,陆松年,邓晋福,冯益民,李锦轶,赵小明,邢光福,王永和,尹福光,郝国杰,张长捷,张进,龚一鸣.2015.中国构造—地层大区划分新方案[J].地球科学,40(2):206-233.
- 张克信,何卫红,徐亚东,骆满生,宋博文,寇晓虎,张智勇,肖庆辉,潘桂棠.2016.中国洋板块地层分布及构造演化[J].地学前缘,23(6):24-30.
- 张克信,何卫红,骆满生,等.2017.中国沉积岩建造与沉积大地构造演化[M].北京:地质出版社.
- 张克信,徐亚东,何卫红,于洋,王丽君,王嘉轩,寇晓虎,骆满生.2018.中国新元古宙青白口纪早期(1000-820 Ma)洋陆分布[J].地球科学,43(11):3837-3852.
- 张克信,何卫红,徐亚东,姚华舟,张雄华,林启祥,季军良,骆满生,宋博文,于洋,韩凤禄,寇晓虎,王嘉轩,王丽君.2020.论断代构造-地层区划的原则与方法:以中国寒武纪构造-地层区划为例[J].地球科学,45(12):4267-4290.
- 张元动,詹仁斌,甄勇毅,王志浩,袁文伟,方翔,马譔,张俊鹏.2019.中国奥陶纪综合地层和时间框架[J].中国科学:地球科学,49(1):66-92.
- 赵小明,牛志军,张开明,吴年文,彭练红,龙文国,魏运许,安志辉,胡昆.2017.中南地区地层综合区划[J].地层学杂志,41(3):235-255.
- 赵元龙,袁金良,彭进,等.2009.凯里生物群—揭示寒武纪海洋生物多样化的特异化石库[M].//见:沙金庚 主编.世纪飞跃—辉煌的中国古生物学.北京:科学出版社,68-80.
- 郑宁,宋天锐,李廷栋,刘训,耿树方,丁孝忠,谭正修,游国庆,凌跃升.2012.华南造山带下寒武统和中奥陶统发现放

- 射虫[J].中国地质,39(1):260-265.
- 中国国土资源航空物探遥感中心.2004.中国及其毗邻海区航空磁力 ΔT 异常图(1:5000000)[M].北京:地质出版社.
- 周传明,袁训来,肖书海,陈哲,华洪.2019.中国埃迪卡拉纪综合地层和时间框架[J].中国科学:地球科学,49(1):7-25.
- 周金城,王孝磊,邱检生,高剑锋.2003.桂北中-新元古代镁铁质-超镁铁质岩的岩石地球化学[J].岩石学报,19(1):9-18.
- 周新民,邹海波,杨杰东,王银喜.1989.安徽歙县伏川蛇绿岩套的Sm-Nd等时线年龄及其地质意义[J].科学通报,34(16):1243-1245.
- 朱茂炎,杨爱华,袁金良,李国祥,张俊明,赵方臣,Soo-Yeun A H N,苗兰云.2019.中国寒武纪综合地层和时间框架[J].中国科学:地球科学,49:26-65.
- Fu D J, Tong G H, Dai T, Liu W, Yang Y N, Zhang Y, Cui L H, Li L Y, Yun H, Wu Y, Sun A, Liu C, Pei W R, Gaines R R, Zhang X L. 2019. The Qingjiang biota—A Burgess Shale-type fossil Lagerstätte from the early Cambrian of South China [J]. *Science*, 363: 1338-1342.
- Ge Y P, Li L M, Zhao X L, Lin S F, Liu H, Han X, Feng L M. 2020. Early Palaeozoic oceanic island-seamount assemblage in northern Fujian, South China: Implications for pre-Devonian tectonic evolution of the Wuyi orogenic belt [J]. *Geological Journal*, 55: 3208-3228.
- Han J, Li G X, Wang X, Yang X G, Guo J F, Sasaki O, Komiyama T. 2018. Olivoid-like tube aperture in early Cambrian carinachitids (Medusozoa, Cnidaria) [J]. *Journal of Paleontology*, 92(1): 3-13.
- He C S, Dong S W, Santosh M, Chen X H. 2013. Seismic Evidence for a Geosuture between the Yangtze and Cathaysia Blocks, South China [J]. *Scientific Reports*, 3: 2200.
- Hou X G, Aldridge R J, Bergström J, Siveter D J, Siveter D J, Feng X H. 2004. The Cambrian fossils of Chengjiang, China [M]. The United Kingdom: Blackwell Publishing.
- Jiang G Q, Shi X Y, Zhang S H, Wang Y, Xiao S H. 2011. Stratigraphy and paleogeography of the Ediacaran Doushantuo Formation (ca. 635-551 Ma) in South China [J]. *Gondwana Research*, 19: 831-849.
- Jiang J, Xing G F, Li L M, Zhao X L, Liu H, Zhang J G, Li J H, Wang L, Lu K J, Wang B. 2020. Age and provenance of Cambrian sequences in the Nanping-Ninghua-Ganzhou Tectonic Belt: Implication for tectonic evolution of the Cathaysia Block [J]. *Geological Journal*, 55: 7057-7079.
- Jiang Y, Zhao X L, Zhang Y J, Xing G F, Xu M C, Liu H. 2019. Neoproterozoic arc volcanic rocks of the Nanping-Ninghua tectonic belt, South China: Implications for the collision between the North and South Wuyi blocks [J]. *Geological Journal*, 54: 2679-2692.
- Li J Y, Wang X L, Zhang F F, Zhou X H, Shu X J. 2016. A rhythmic source change of the Neoproterozoic basement meta-sedimentary sequences in the Jiangnan Orogen: Implications for tectonic evolution on the southeastern margin of the Yangtze Block [J]. *Precambrian Research*, 280: 46-60.
- Li L M, Lin S F, Xing G F, Xiao F, Xiao W J. 2022. Identification of ca. 520 Ma mid-ocean-ridge-type ophiolite suite in the inner Cathaysia block, South China: Evidence from shearing-type oceanic plagiogranite [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 134(7/8): 1701-1720.
- Li X H. 1999. U-Pb zircon ages of granites from the southern margin of the Yangtze Block: timing of Neoproterozoic Jinning Orogeny in SE China and implications for Rodinia Assembly [J]. *Precambrian Research*, 97(1-2): 43-57.
- Li Z X, Bogdanova S V, Collins A S, Davidson A, De Waele B, Ernst R E, Fitzsimons I C W, Fuck R A, Gladkochub D P, Jacobs J, Karlstrom K E, Lu S, Natapov L M, Pease V, Pisarevsky S A, Thrane K, Vernikovsky V. 2008. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: a synthesis [J]. *Precambrian Research*, 160: 179-210.
- Lin S F, Xing G F, Davis D W, Yin C Q, Wu M L, Li L M, Jiang Y, Chen Z H. 2018. Appalachian-style multi-terrane Wilson cycle model for the assembly of South China [J]. *Geology*, 46 (4):319-322.
- Liu S F, Peng S B, Kusky T, Polat A, Han Q S. 2018. Origin and tectonic implications of an Early Paleozoic (460-440 Ma) subduction-accretion shear zone in the northwestern Yunkai Domain, South China [J]. *Lithos*, 322: 104-128.
- Shi Y R, Liu D Y, Zhang Z Q, Miao L C, Zhang F Q, Xue H M. 2007. SHRIMP zircon U-Pb dating of gabbro and granite from the Huashan ophiolite, Qinling orogenic belt, China: Neoproterozoic suture on the northern margin of the Yangtze craton [J]. *Acta Geologica Sinica*, 81 (2): 239-243.
- Tang F, Yin C Y, Bengtson S, Liu P J, Wang Z Q, Gao L Z. 2008. Octoradial Spiral Organisms in the Ediacaran of South China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 82: 27-34.

- Wan T F, Zhu H. 2011. Chinese continental blocks in global paleocontinental reconstruction during Paleozoic and Mesozoic [J]. *Acta Geologica Sinica*, 85(3):581-597.
- Wan Y S, Liu D Y, Wilde S A, Cao J J, Chen B, Dong C Y, Song B, Du L L. 2010. Evolution of the Yunkai Terrane, South China: Evidence from SHRIMP zircon U-Pb dating, geochemistry and Nd isotope [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 37: 140-153.
- Wang J P, Kusky T M, Polat A, Wang L, Peng S B, Jiang X F, Deng H, Wang S J. 2012. Sea-Floor Metamorphism Recorded in Epidosites from the ca. 1.0 Ga Miaowan Ophiolite, Huangling Anticline, China [J]. *Journal of Earth Science*, 23(5): 696-704.
- Wang L J, Zhang K X, He W H, Yin L M, Lin S F. 2020. An Early Paleozoic Tectonic Mélange at the Western Margin of West Cathaysia: Constraints from Organic-walled Microfossils [J]. *Acta Geologica Sinica*, 94(4): 1060-1070.
- Wang L J, Zhang K X, Lin S F, He W H, Yin L M. 2022. Origin and age of the Shenshan tectonic mélange in the Jiangshan-Shaoxing-Pingxiang Fault and late Early Paleozoic juxtaposition of the Yangtze Block and the West Cathaysia terrane, South China [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 134 (1-2): 113-129.
- Wang W, Zhou M F, Yan D P, Li L, Malpas J. 2013. Detrital zircon record of Neoproterozoic active-margin sedimentation in the eastern Jiangnan Orogen, South China [J]. *Precambrian Research*, 235: 1-19.
- Xiao S H, Zhou C M, Liu P J, Wang D, Yuan X L. 2014. Phosphatized acanthomorphic acritarchs and related microfossils from the Ediacaran Doushantuo Formation at Weng'an (South China) and their implications for biostratigraphic correlation [J]. *Journal of Paleontology*, 88: 1-67.
- Xu Y D, Zhang K X, He W H, Yang Y, Kou X H, Song B W, Luo M S, Wang L J, Ma Z J, Yang F L. 2020. Tonian tectonic-strata regions and geological significance in China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 94(4): 914-941.
- Xu Y, Yang K G, Polat A, Yang Z N. 2016. The ~860 Ma mafic dikes and granitoids from the northern margin of the Yangtze Block, China: A record of oceanic subduction in the early Neoproterozoic [J]. *Precambrian Research*, 275: 310-331.
- Ye Q, Tong J N, Xiao S H, Zhu S X, An Z H, Tian L, Hu J. 2015. The survival of benthic macroscopic phototrophs on a Neoproterozoic snowball Earth [J]. *Geology*, 43: 507-510.
- Yu Y, Ye Q, Zhang K X, He W H, Song B W, Xu Y D, Kou X H, Wang J X, Yang F L. 2020. Stratigraphic Framework of the Cryogenian in China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 94 (4):942-971.
- Zhang K, Feng Q L. 2019. Early Cambrian radiolarians and sponge spicules from the Niujiaohe Formation in South China [J]. *Palaeoworld*, 28(3): 234-242.
- Zhao G C, Wang Y J, Huang B C, Dong Y P, Li S Z, Zhang G W, Yu S. 2018. Geological reconstructions of the East Asian blocks: From the breakup of Rodinia to the assembly of Pangea [J]. *Earth Science Reviews*, 186: 262-286.
- Zhao X L, Jiang Y, Xing G F, Wang C Z, Jin G D. 2020. The early Paleozoic oceanic island seamount in the Chencai area, Zhejiang Province: Implication of the Yangtze-Cathaysia amalgamation [J]. *Geological Journal*, 55: 1148-1162.
- Zheng H W, Gao R, Li T D, Li Q S, He R Z. 2013. Collisional tectonics between the Eurasian and Philippine Sea plates from tomography evidences in Southeast China [J]. *Tectonophysics*, 606: 14-23.