

雪峰山基底隆升带及其邻区 印支期陆内构造特征与成因

李三忠¹, 王涛¹, 金宠², 戴黎明¹,
刘鑫¹, 周小军³, 王岳军⁴, 张国伟⁵

1. 中国海洋大学 海洋地球科学学院, 山东 青岛 266100
2. 浙江大学 建筑工程学院, 杭州 310012
3. 西南石油大学 资源与环境学院, 成都 610500
4. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广州 510640
5. 西北大学 地质学系, 西安 710069

摘要:狭义的华南陆块东部包括扬子地块和华夏地块,而雪峰山陆内构造系统是扬子地块的重要组成部分。通过对雪峰山地区印支期地层角度不整合时空分布规律的分析表明,高角度不整合—微角度不整合—平行不整合—整合的空间分布区域依次由东往西递变渐新。根据褶皱变形分析得出,雪峰山地区在印支期发育了北东东向和北北东向2个轴迹方向的褶皱,后期叠加了南北向弧形逆冲推覆构造。区域构造背景和动力学分析表明,扬子地块内部印支期总体北东向的变形形迹与东西轴向的秦岭—大别造山带和扬子地块南部东西轴向的构造线相垂直;其原因是:扬子地块与华夏地块最终陆内收缩变形的时间比扬子与华北沿秦岭—大别造山带的陆间碰撞拼合的时间早,印支早期的先存北北东向构造线在印支晚期由于扬子地块顺时针旋转变位为北东东向,从而决定了印支早期现今北东东向的构造线,随后的第二幕北北东向构造线的形成是在与早期第一幕变形的应力场相同的同一构造应力场作用下形成的。但是,秦岭—大别造山带近东西向的构造线取决于主动大陆边缘,即总体近东西向的华北陆块南缘边界,其原始方位为总体近东西向。这些复杂边界条件和旋转决定了先形成彼此近于垂直的构造线,然后拼接形成现今构造线垂直的格局。

关键词:印支运动;三叠纪;华南;角度不整合;扬子地块;构造地质学

中图分类号:P542 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5888(2011)01-0093-13

Features and Causes of Indosinian Intracontinental Structures in the Xuefengshan Precambrian Basement and Its Neighboring Regions

LI San-zhong¹, WANG Tao¹, JIN Chong², DAI Li-ming¹,
LIU Xin¹, ZHOU Xiao-jun³, WANG Yue-jun⁴, ZHANG Guo-wei⁵

1. College of Marine Geoscience, Ocean University of China, Qingdao 266100, Shandong, China
2. College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University, Hangzhou 310012, China
3. College of Resources and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China
4. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China
5. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China

Abstract: The eastern South China continental block can be subdivided into the Yangtze block and

收稿日期:2010-05-25

基金项目:国家自然科学基金项目(41072152);中国石化总公司重大科技攻关项目(YPH08004)

作者简介:李三忠(1968—),男,江西高安人,教授,博士生导师,主要从事构造地质学方面研究, E-mail: sanzong@

the Cathayian block. The Xuefengshan intracontinental tectonic system is one important part of the Yangtze block. The distribution of the unconformities between Triassic and Jurassic in the Xuefengshan tectonic system reveals four kinds of contact interfaces, including high-angle unconformity, low-angle unconformity, disconformity and conformity and becoming younger and younger to the west. Then the characteristics of Indosinian folds are also subdivided into two directions of fold axial traces in the South China, i. e. northeast-and northwest-striking folds, which were superimposed by the N-S-trending thrusts. The authors proposed that the longitudinal arcuate and northeastward structures in the Xuefengshan intracontinental tectonic system result from a control of different block borders under the same stress field as the previous one. The first-generation NEE-striking folds are rotated from the earlier NNE-striking folds due to late block rotating. The second-generation NNE-striking folds superimpose the NEE-striking folds. The intracontinental shortening between the Yangtze and Cathaysian blocks was earlier than the collision of the South China block with the Qinling-Dabie micro-continent. The Yangtze block and the Qinling-Dabie micro-continent had rotated in Early Indosinian orogeny, these resulted in a difference between those earlier structural lines formed in Early Triassic, the perpendicular relation to these structural lines was at last remained although they underwent small rotation between the Yangtze and Cathaysian blocks.

Key words: Indosinian movement; Triassic; South China; angular unconformity; Yangtze block; geology tectonics

0 前言

华南陆块是我国大地构造研究的经典地区之一,从西向东划分为三大部分:松潘地块、扬子地块和华夏地块。其中扬子地块的雪峰山陆内构造系统正好位于华南陆块的核部部位^[1-2](图 1),其变形复杂,众多的学者对其开展了长期广泛的研究,但变形机制一直存在争论。雪峰山基底隆升带又是雪峰山构造系统的中心(图 1),是一个主体在印支期初步定型的 SN 轴向的构造带,直接控制和影响着其西部的海相油气成藏与破坏^[2]。该 SN 向构造带与其南边的近 EW 向古特提斯洋构造带和其北边的近 EW 向秦岭一大别造山带近于垂直关系^[3-5],这不得不让人思考:华南陆块内部这个构造带为何与其南、北边缘的同期 EW 向构造带不平行?华南内部变形如何响应周缘频繁和剧烈的构造运动?华南印支期构造的这种复杂性长期以来令国内外地质学家困惑不解。所以,研究华南印支期构造对研究整个华南陆块的构造具有举足轻重的影响。迄今,有研究者试图通过识别华南内部印支期洋(海)盆的存在以重建华南印支期碰撞造山动力学格局及机制^[6-8],而有的研究者则试图通过太平洋板块的向西俯冲来解释华南早中生代的造山作用^[9],还有研究者认为印支构造事件的角度不整合是十分微弱的^[10]。因此,

深入调查和研究华南内陆地区印支期构造变形,对理解华南早中生代的构造演化有着重要意义。本文通过雪峰山基底隆起带及其两侧的大量野外调查,侧重从其印支期不整合面的分布、特征以及印支期褶皱特征来揭示该区印支期构造总体特征,这对重新认识整个华南印支期大陆动力学研究必将起着推动作用。

1 区域地质背景

雪峰山地区构造上位于华南陆块的中、上扬子次级地块(sub-block)中部,构造上也称雪峰山陆内构造系统^[1](图 1)。扬子地块东部以郴州—临武断裂为界与华夏地块分割,北部以勉县—略阳—大巴山—房县—襄樊—广济断裂与秦岭—大别碰撞带毗邻,西部以龙门山造山带为界和松潘地块相隔。研究区构造单元划分如下:郴州—临武断裂以西,安化—溆浦断裂以东为湘桂陆内构造带;安化—溆浦断裂以西,慈利—保靖断裂以东为雪峰山基底隆升带;慈利—保靖断裂以西,鹤峰—龙山断裂以东为雪峰山西缘扩展带(图 1)。雪峰山陆内构造系统除包括这 3 个单元外,还包括鹤峰—龙山断裂以西和华蓥山断裂以东的隔档式褶皱带^[1]。

雪峰山地区经历了多期次构造运动,形成了多个角度不整合。武陵运动曾使基底岩系隆升遭受剥

导致。在宜春—郴州—临武断裂附近的宜春、攸县、郴州一带,上三叠统之内的各组之间还有角度不整合,以及 J_1 角度不整合在 T_3 之上,与之对应的是印支第二幕的构造运动,发生在晚三叠世和早侏罗世之间。但在涟源和雪峰山地区,上三叠统和下侏罗统为连续沉积,故此期构造运动的变形影响范围在祁阳弧形断裂以东区域(图 1)。另外,根据野外实际资料,在研究区,可以分出高角度不整合区和微角度不整合区(上、下地层倾角或走向夹角差 30° 为准)。现今这种宽阔的印支期变形带主要是这种多期次变形逐步向西拓展的累积结果。所以,在郴州—临武断裂以西,由东往西可以划分成高角度不整合—微角度不整合—平行不整合—整合 4 个递变区域。

2.2 高角度不整合的特点

印支期高角度不整合分布于郴州—临武断裂以西,蒲圻—慈利—保靖断裂以东地区。区内主要断裂有:郴州—临武断裂、祁阳弧形断裂、新化—城步断裂、安化—溆浦断裂。本区包含的二级构造单元有:湘桂陆内构造带和雪峰山核部隆起带,二者以安化—溆浦断裂为分界线(图 1)。在众多的华南野外观测点中,本文选取雪峰山核部隆起带内的沅陵和溆浦 2 个典型区域进行描述。

2.2.1 沅陵地区角度不整合

沅陵县麻溪铺镇高洪溪村(图 1 中点 1)位于湖南怀化市东北部,此处茅口组为开阔台地相的厚层块状浅灰色泥晶灰岩,地层产状较陡, $S_0: 70^\circ \angle 32^\circ$; 下侏罗统为厚层状砾岩, $S_0: 196^\circ \angle 13^\circ$,砾石成分主要包括石英砂岩和硅质岩。下伏地层(P_{1m})倾向为

NEE 向,而上覆地层(J_1)倾向 SSW 向,倾向近于相反,且 J_1 未卷入下部褶皱变形,二者呈高角度不整合接触(图 2a),说明在早侏罗世之前,本地区遭受印支期运动强烈的影响。

2.2.2 溆浦地区角度不整合

溆浦县小江口(图 1 中点 2)位于怀化市东北部,在小江口西南地区,下侏罗统上覆于下三叠统大冶组上,下伏地层大冶组为薄层叶片状泥晶灰岩、泥质灰岩, $S_0: 273^\circ \angle 30^\circ$; 下侏罗统下部地层为一套泥岩,夹煤层,产状平缓,近于水平。上、下地层的倾角差在 30° 左右,因此,上下地层的产状特征为高角度不整合接触(图 2b)。

2.3 微角度不整合的特点

印支期微角度不整合分布于咸宁—鹤峰—龙山断裂以东、蒲圻—慈利—保靖断裂以西地区,与之相对应的二级构造单元是雪峰山西缘扩展带。在本区域,印支期地层出现的不整合夹角总体上小于 30° 。本文仅选取雪峰山西缘扩展带内的石门和桑植 2 个典型地区进行描述。

2.3.1 桑植地区角度不整合

桑植洪家关镇(图 1 中点 3)位于湖南省张家界市西北,上三叠统鹰咀山组沉积在中三叠统巴东组之上,上覆岩层是青灰色砂岩, $S_0: 92^\circ \angle 7^\circ$; 下伏地层是泥岩,倾角较陡, $S_0: 132^\circ \angle 22^\circ$,两地层的倾角差约为 15° ,上、下两地层呈微角度不整合接触(图 3a)。这说明在晚三叠世之前本地区经受过印支期微弱的变形。

2.3.2 石门地区角度不整合

石门县新关镇(图 1 中点 4)位于湖南省常德市

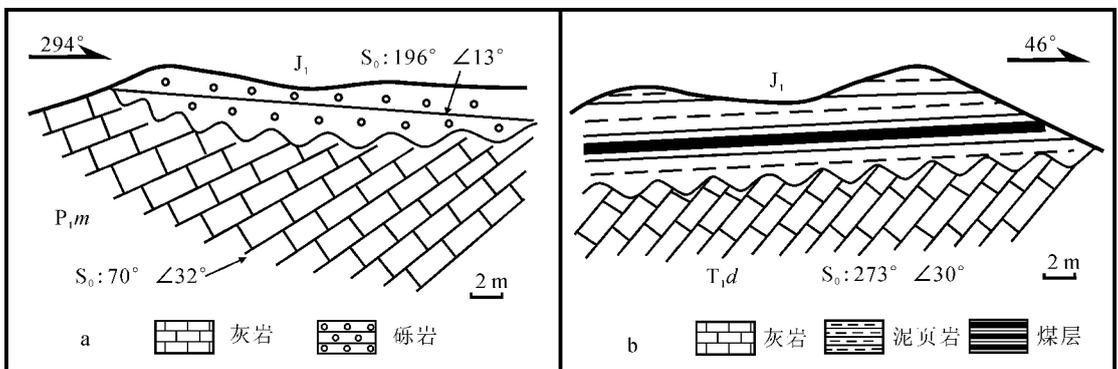


图 2 华南印支高角度不整合图

Fig. 2 Sketch maps of high-angle unconformities in the Indosinian period

a. 沅陵地区; b. 溆浦地区

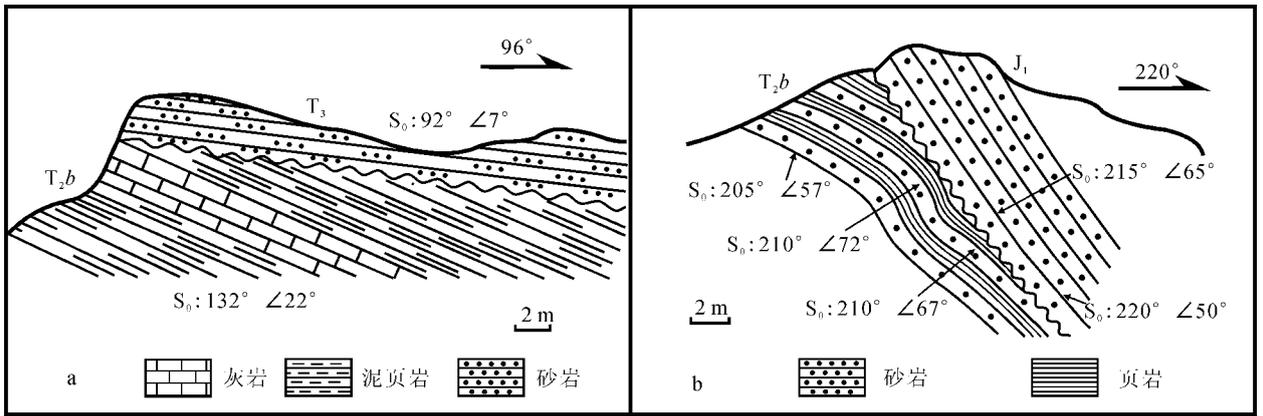


图 3 华南印支低角度不整合面

Fig. 3 Sketch maps of low-angle unconformities in the Indosinian period

a. 桑植地区; b. 石门地区

西北部,在此地区下侏罗统(J_1)沉积在中三叠统巴东组(T_2b)之上。 J_1 为湘西群巨厚层块状灰白色粗粒长石石英砂岩,底部含有大量铁质结核,倾角较陡, $S_0: 215^\circ \angle 65^\circ$; T_2b 为中薄层砂岩、泥页岩互层, $S_0: 205^\circ \angle 57^\circ$,其上下地层产状相差约 10° ,为微角度不整合接触(图 3b)。这说明在中三叠世之后,早侏罗世之前经受过印支期微弱的变形。

3 雪峰山地区印支期逆冲断裂和滑脱层特征

雪峰山地区逆冲和走滑断裂发育,本文选择涟源—桑植剖面对这些构造特征进行说明(图 4)。图 4 是根据涟源—恩施地震资料和野外实际构造调查获得的,该剖面经过的深大断裂有:城步—新化断裂、安化—溆浦断裂、慈利—保靖断裂,横跨湘桂陆内构造带、雪峰山基底隆升带和雪峰西缘扩展带等主要构造单元(图 1)。

3.1 逆冲断裂特征

雪峰山地区下侏罗统之下的逆冲断层野外比较易于识别,下侏罗统一般不卷入这些断裂活动,这些断裂多数为 NNE 走向。丘元禧等^[12]对这些断裂研究表明,雪峰山基底隆升带是在中三叠世末开始逐渐形成,由 S 向 N、SE 向 NW 基底拆离卷入的厚皮逆冲推覆体。逆冲推覆作用使扬子地块上的海相中生界由 SE 向 NW 表现为由强到弱的递进(衰减)变形改造。雪峰山基底隆升带总体呈现向 NWW 方向凸出的弧形分布,但在雪峰山基底隆升带内部,基底断裂向 SE 和 NW 逆冲,整体构成似花状构造(图 4)。在城步—新化断裂带附近,雪峰山东缘逆

冲断层与湘桂陆内构造带(或称湘中构造带)的逆冲断层相接,形成对冲构造。在雪峰山西缘,倾向 SE 的逆断层被后期的断层所切割,但后期的断层均受控于且斜向并入早期的断层,仅在阳冥山和明月山一带有同期断层出露地表。在雪峰山西缘扩展带,晚期断裂向南东逆冲,在桑植地区一带拱起,构成雪峰山前缘地区 NE 向弧形向斜的南翼(图 4)。总体上该区逆冲断层早期构成了一种逆冲堆垛结构,后期叠加了巨型走滑花状构造(图 4)。

3.2 滑脱层特征

图 4 还表明,雪峰山地区在浅部和深部地带存在至少 2 套滑脱层。在湘中构造带内的浅滑脱层分 2 支:其中一支沿泥盆系向西发生叠瓦式逆冲;另一支沿上板溪群的顶层滑脱,其分支切穿该区古生界。

在中、上板溪群界面上存在一条自 SE 向 NW 逆冲的深层滑脱面,纵贯湘中构造带和雪峰山基底隆升构造带,倾角平缓,总体倾向南东,在张家界一带逆冲至地表,与慈利—保靖断裂带相接,出露震旦系和上板溪群。在雪峰西缘构造带中也有一套较深的滑脱层,倾向北西,主要存在于寒武系中。滑脱面顶部较缓,底部较陡,切穿奥陶系和志留系冲出地表,与南东侧的深大滑脱层形成对冲格局。

4 雪峰山地区印支期褶皱特征

研究区印支期主要发育了 2 个方向的褶皱(图 5),即近 EW 轴向的和 NE 轴向的。其中:NE 向褶皱主要分布在雪峰山西缘以东,直至郴州—临武地区、十万大山地区;而近 EW 向褶皱分布比 NE 向褶皱分布要广,在鹤峰—来凤断裂以东都有分布。

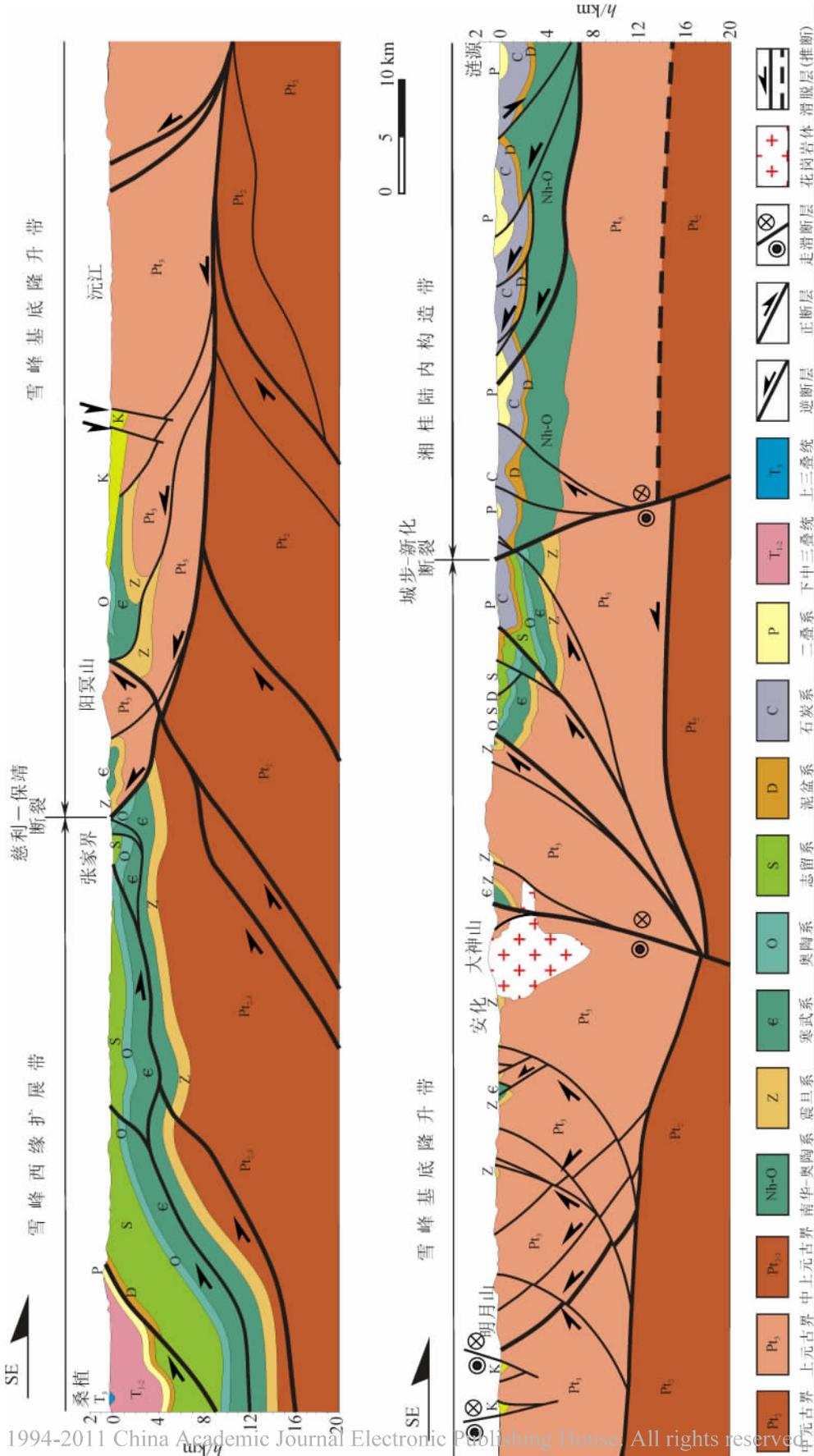


图 4 涟源—桑植构造剖面

Fig. 4 Structural profile from Lianyuan to Sangzhi

4.1 近东西向褶皱

近东西向褶皱分布在郴州—临武断裂以西与安化—溆浦断裂以东的区域,即湘桂陆内构造带。在该区印支期的花岗岩出露较多,以陆内地壳物质叠置加厚、重熔作用形成的S型花岗岩为主^[20]。褶皱轴迹为NEE向,褶皱较宽缓,一系列的盆地(P—T₁)和穹隆(Z—O)相间分布,单个穹隆和盆地呈链状展布,连线总体呈近NEE—EW向;野外叠加关系观察表明,这是受后期褶皱叠加改造后的印支早期褶皱轴迹(图5)。而且,本区NEE向的褶皱与扬子和华夏地块的构造边界呈较大的夹角(约50°),所以表面上看,产生这些NEE向褶皱的力源不可能来自2个地块的碰撞挤压作用,而是在现今方向为SN向挤压作用下产生的。但实际上,早期应力场的恢复还需要消除沿郴州—临武断裂的走滑效应及其扬子地块顺时针旋转效应(见后文)。

这些近EW向的构造控制石炭系的厚度,所以EW向构造产于早石炭世或更早。地球物理资料表明,加里东基底构造层顶界为一较平缓的界面,没有卷入印支期褶皱并且印支期沉积盖层沿该界面或其附近层位发生向NW方向的大规模拆离滑脱,形成滑脱构造的前缘叠瓦冲断带^[21]。有人^[22]认为,泥盆系与前泥盆的不整合是由于龙山地区加里东运动导致褶皱隆升而成山,周边相对沉降,接受晚古生代的沉积导致。这说明印支早期的东西向褶皱与加里东期的褶皱有继承关系,前者叠加在后者之上。

4.2 北东向褶皱

北东向褶皱分布在安化—溆浦断裂以西与慈利—保靖断裂以东之间的区域,即雪峰核部隆起带。褶皱轴迹为NNE向,这些褶皱紧闭,轴面东倾西倒(图5);这指示了变形的动力源来自东部。而这些NE向的构造组合在雪峰山南段的苗岭地区可以清晰地表现为NNE向和NEE向的共轭剪节理,NNE向剪节理为左行,NEE向剪节理为右行,其钝角方向指示NW—SE的主压应力^[12]。而这些NE向的褶皱都在大断裂边上发育,与断裂有明显的相关性。

4.3 弧形轴迹的褶皱

弧形轴迹的褶皱分布在雪峰山核部基底隆升带的东侧涟源—邵阳—永州一带,印支期地层在宽缓的北东东向褶皱基础上叠加了较紧闭的NNE—SN—NNW向的弧形褶皱(图6)。此期弧形褶皱和祁阳弧断裂(F₁)的形态具有很高的相关性,在祁阳弧形断裂两侧的褶皱轴迹和断裂形态基本平行,也

呈“S”形。而逐渐远离祁阳弧形断裂的褶皱,其形态也愈加平缓,到了新化—城步断裂(F₂)的西侧,褶皱呈平直的NNE向展布。据此推测,此期弧形褶皱和祁阳弧形断裂为同一期的产物。这些弧形褶皱还控制了上三叠统和下侏罗统的沉积,结合涟源坳陷内的T₃—J₁连续沉积,推测变形时期为晚三叠世之前,即印支晚期褶皱。

4.4 弧形褶皱和北北东向褶皱以及断裂的关系

在雪峰山构造系统中,被广泛认为EW向印支早期褶皱是隐式的构造,而NE向褶皱和SN向弧形褶皱却是显式的,而且弧形褶皱受祁阳弧形断裂控制。NNE向褶皱受安化—溆浦—靖州断裂和慈利—保靖—三都断裂控制,而且弧形褶皱和NE向褶皱并无相互交错现象,说明二者受同期构造应力作用产生,因为不同的边界条件而产生不同的褶皱走向。本地区印支期在南北边强大的SN向挤压环境下,却发育了SN向弧形构造线和NNE向构造线,这只能认为雪峰陆内构造系统的内部形态强烈受NE向边界断裂——郴州—临武断裂的边界条件约束所致。

现有的资料表明,在晚三叠世时,大多东倾西冲的断裂已定型,并波及至鹤峰—龙山一带。结合晚三叠世褶皱变形的影响范围,说明晚三叠世的断层作用还是明显的,但晚三叠世形成的地层变形则是后来的燕山期变形的结果。

5 华南印支期陆内变形的动力学讨论

5.1 印支期秦岭—大别造山带对扬子地块变形的影响范围

在印支期,华北、秦岭、华南3个陆块或微陆块依次沿商丹和勉略两条缝合带由南向北俯冲碰撞造山^[3-4, 23-24],形成了统一的中国陆块。已有研究表明,此时南、北边缘的构造线方向是不同的,秦岭—大别造山带主体的构造线近乎EW向,而与其拼合的华南陆块内部印支期构造线为NNE向,二者同期的构造线近乎垂直^[3-4, 23-24]。

此外,研究还表明,秦岭—大别造山带的影响波及到扬子地块北缘不超过50 km^[25-26]。就是说,扬子地块北缘与秦岭—大别造山带印支期变形方位一致的变形区域只限制在其南侧50 km以内,其余的扬子地块内部的印支期变形方位和秦岭—大别造山带无关。

秦岭地区主导的碰撞造山构造作用主要发生于

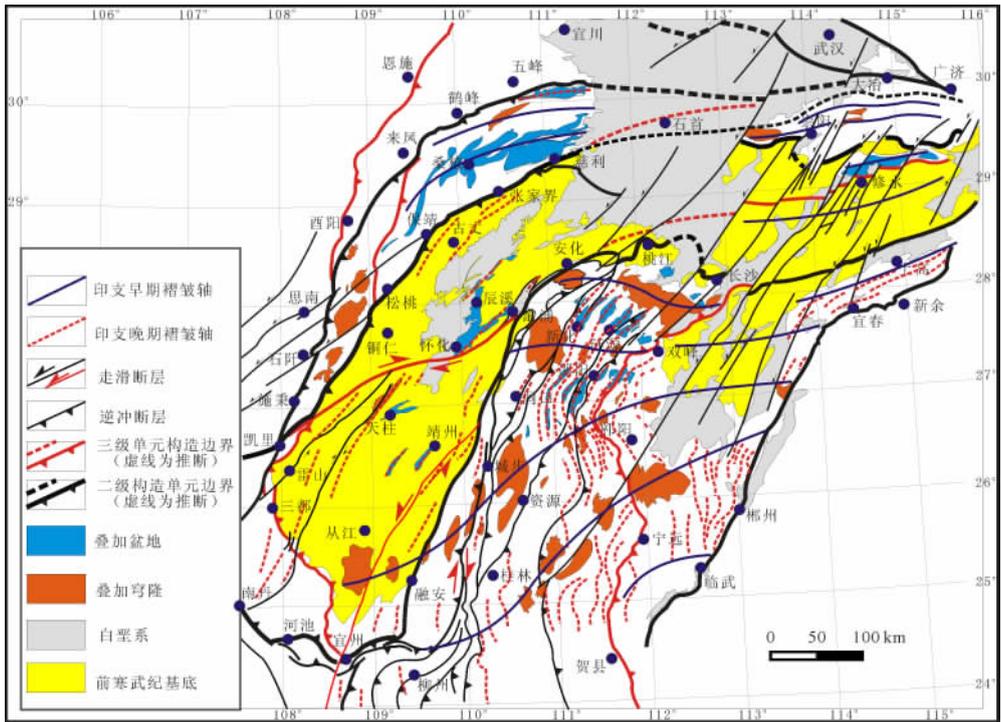


图 5 雪峰山地区印支期褶皱分布图

Fig. 5 Structural map showing Indosinian two-stage folds in the Xuefengshan area

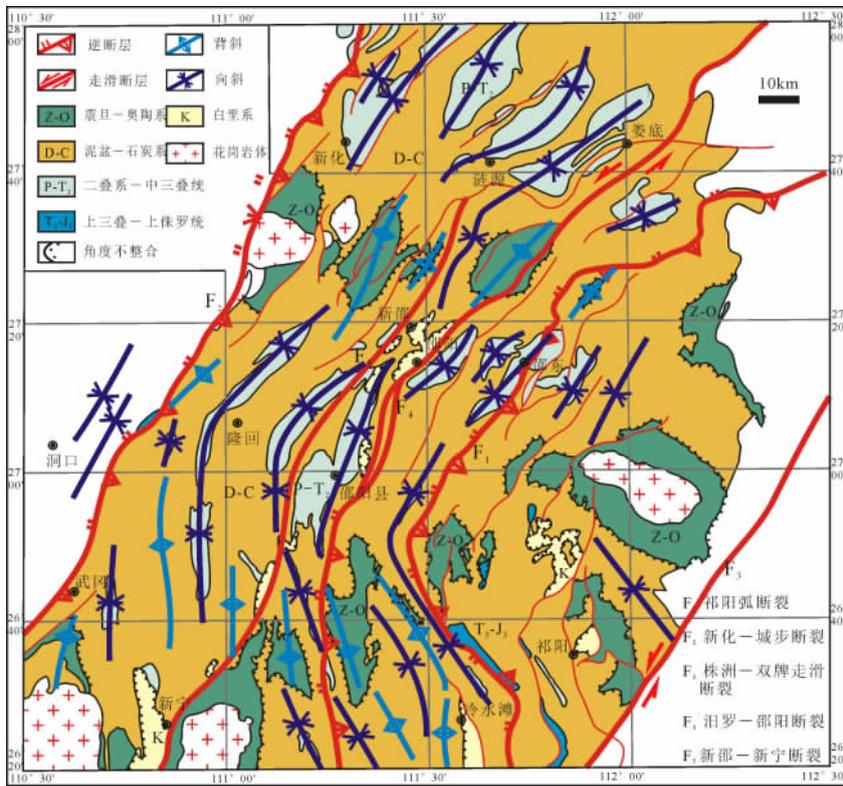


图 6 涟源—邵阳地区印支期褶皱分布图

Fig. 6 Structural map of Indosinian folds in the Lianyuan-Shaoyang region

印支期中一晚三叠世期间,而后才转入从晚三叠世—侏罗纪开始,全区普遍一致的造山期后的陆内构造演化阶段^[4]。而且,扬子地块北缘的这种卷入印支期变形的范围在燕山早期陆内变形阶段同样如此,燕山期华北陆块和扬子地块都向秦岭微陆块俯冲,使得华北陆块和北秦岭形成锯齿状楔入构造^[27],波及范围同样有限。

5.2 古特提斯洋还是古太平洋板块的影响?

有学者提出,华南陆块内部晚二叠世—中三叠世构造运动性质及转换,与当时华南陆块南缘存在的古特提斯洋的闭合及印支陆块与华南陆块在印支早期的碰撞作用有关^[12,17-18]。然而,最近 Li and Li^[28]提出,华南宽达 1 600 km 的 NE 向印支期褶皱与古太平洋平板式俯冲有关,但是,迄今在中国东部没有发现印支期缝合线和蛇绿岩、岛弧型岩石建造等相关产物。据此,多数人认为这些变形和古太平洋联系没有确凿依据。

本文通过和西部特提斯洋对比表明,在加里东期,扬子地块和华夏地块总体处于特提斯洋构造域,两者之间虽还有深裂陷海盆相隔^[29],但仍属于陆内环境。扬子地块沿江绍断裂与华夏地块加里东期陆内碰撞后,印支早期受东部古特提斯洋俯冲作用,发育了现今 NEE 向的构造线。2 个地块在拼合的同时,继续向北漂移、俯冲,最终与秦岭—大别微陆块发生碰撞。扬子北缘大巴山前陆逆冲—推覆构造带与勉略缝合带紧邻,是扬子陆块与秦岭微陆块于印支—燕山早期正向和斜向陆内俯冲综合作用的结果^[5]。

从中三叠世开始,勉略带南侧从被动陆缘沉积环境开始自东而西穿时地转换为海相前陆盆地,指示了勉略洋盆斜向碰撞封闭具有自东而西的穿时过程^[30];这说明扬子地块向秦岭—大别造山带碰撞俯冲具有自东向西的穿时特征^[31],华南 NNE 向的构造线和近 SN 向弧状构造线也大致已经形成,到三叠世晚期,三者才拼合在一起,形成统一的大陆(图 7)。

5.3 旋转作用导致华南印支期构造线的变位

华北、华南、印支 3 个陆块初步拼接后,在统一应力场下,刚性块体之间的陆内构造演化期间,其位置通过弱变形带在不断发生调整。其中,扬子地块北缘的弧状构造在 NS 向挤压作用和襄樊—广济断裂的边界约束下,会向 NW 向递进演化。

但是,由于扬子地块与华夏地块最终碰撞拼合

的时间要比扬子与秦岭—大别造山带碰撞拼合的时间早,晚三叠世,华南陆块和华北陆块在晚古生代末至中生代初为同向北移,但速度不同,华南陆块速度远大于华北陆块而追上后者与之碰撞拼合^[30];在发生联合碰撞以前,存在相对独立的 EW 向构造应力场,不同于华北、秦岭、扬子 3 个地块初步拼接前的统一南北向应力场。在由南向北的漂移过程中,华北陆块逆时针转动,华南陆块顺时针转动(图 8),这决定了华南陆块和秦岭—大别造山带构造线在形成以后,因陆内俯冲和陆内地块间的相对旋转调节,最终拼接为一体形成了现今不同块体间的印支期构造线近于垂直的格局。

但碰撞拼接后才形成统一的地块,华北陆块和扬子地块之间的秦岭—大别造山带很少吸收应变,受同一应力场作用,应变主要被华南陆内的雪峰山构造系统吸收;因此,华南陆块整体旋转的同时,内部的扬子地块和华夏地块也可以经历了多次差异的旋转。每一次差异旋转都代表了一次强烈的构造运动,中、晚三叠世扬子地块的快速向北运动和大幅度的旋转,是造成扬子地块、华北陆块在中、西秦岭一线的碰撞拼合以及扬子地块沉积物由海相向陆相转变(由碳酸盐岩向碎屑岩的突变及平行不整合(局部角度不整合))形成的主导因素^[35]。自寒武纪以来,华南陆块累计顺时针旋转 75°左右,与现今扬子地块 NEE 向的构造线大致吻合,复位之后,可以推断现在 NEE 向的构造线在形成之初应当为 SN 向,后经过多次旋转运动,最终表现为 NEE 向。这也就是说,印支早期和晚期变形的应力场始终是 NW 向或近东西向的挤压,这也反映在角度不整合的空间迁移规律上。当然,华南内部的旋转方式还存在争论,如是古生界和基底之间沿滑脱面旋转,还是不同块体的基底间相对旋转导致这个差异还有待进一步研究。但可以肯定的是,华夏和扬子地块的基底在印支晚期褶皱之后没有发生相对的旋转运动,而可能作整体旋转。

6 结论

通过对华南陆块的核心——雪峰山陆内构造系统的印支期角度不整合规律调查和褶皱变形分析,本文得出以下 3 个方面的新认识:

(1)不整合的空间递变规律。印支期角度不整合分布规律由东往西表现为高角度不整合—微角度不整合—平行不整合—整合 4 个递变区域,据此可

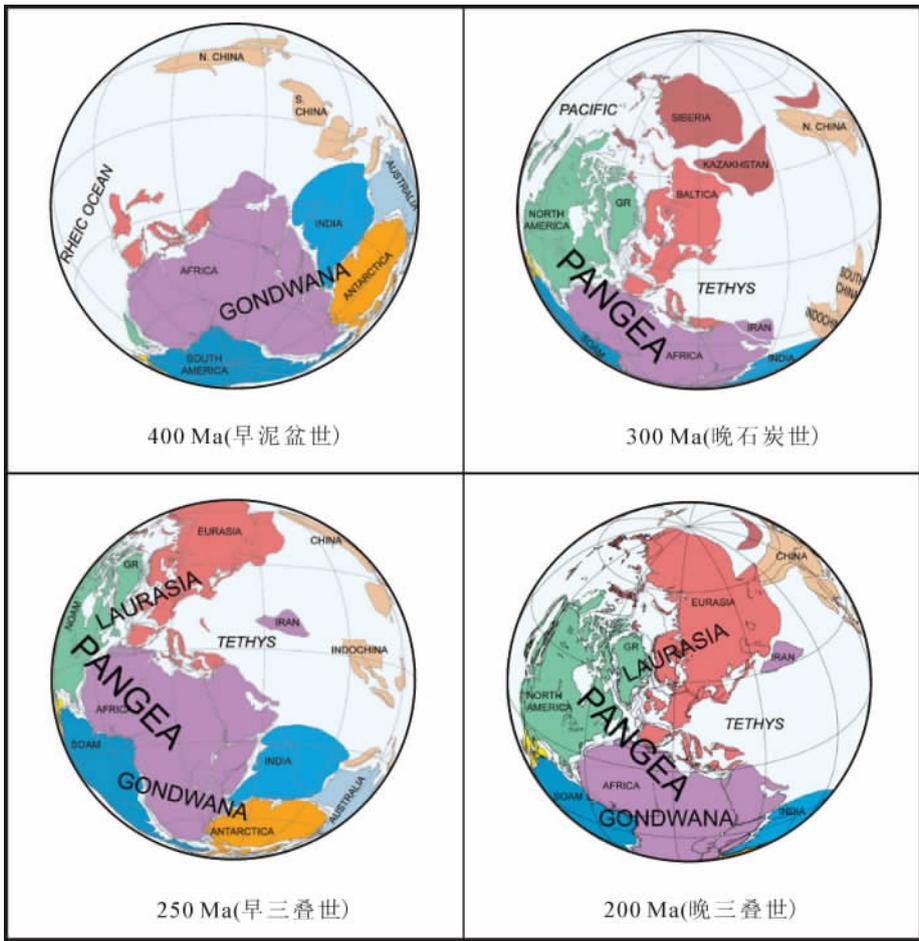


图 7 印支期板块构造重建图(据 UTIG^[32])

Fig. 7 Indosinian plate tectonic reconstruction (after Institute for Geophysics, University of Texas^[32])

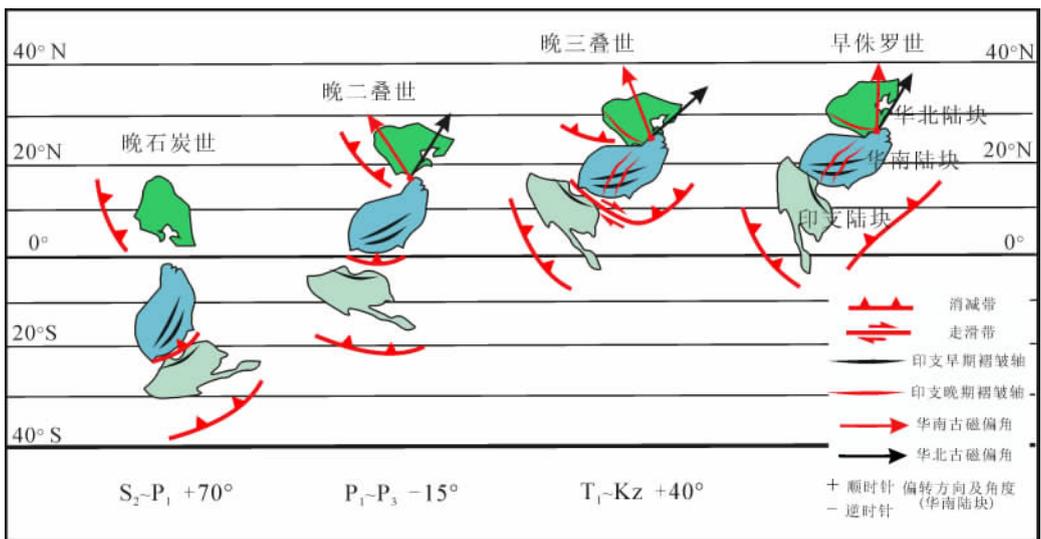


图 8 晚古生代以来华北陆块、华南陆块、印支陆块碰撞和拼合过程示意图(图据文献^[33]修改;数据来自文献^[34])

Fig. 8 Sketched plots showing post-Late Paleozoic collisional processes among North China, South China and Indochina blocks (figures after reference^[33]; data from reference^[34])

知,华南地区印支期构造运动或构造变形强度从东向西由强变弱,且早期变形范围宽大,后期逐渐向东退缩。

(2)陆内变形的边界效应。研究区印支期在南、北边缘强大的南北向挤压作用环境下,却发育有南北向弧形构造线和北东向构造线,其重要原因之一是在同一构造作用下受陆内不同边界的控制,与古太平洋无关,与秦岭—大别造山带也无关。

(3)差异旋转导致陆内两幕褶皱变形和叠加。印支早期 NEE 向的构造线原始可能也为 NNE 向或 NE 向,是印支晚期旋转变位为现今 NEE 向的方位;而印支晚期 NNE 向褶皱依然是在前期同一应力场下形成的(都属于古特提斯洋构造域)。也就是说印支期以后整个华南旋转是整体旋转,不存在华夏地块和扬子地块之间的差异旋转;而印支期华夏地块和扬子地块之间存在差异旋转。

参考文献 (References):

[1] 金宠,李三忠,王岳军,等. 雪峰山陆内复合构造系统印支—燕山期构造变形的递变、穿时特征[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(5): 598-607.
JIN Chong, LI San-zhong, WANG Yue-jun, et al. Diachronous and progressive deformation during the Indosinian-Yanshanian movements of the Xuefeng Mountain intracontinental composite tectonic system [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(5): 598-607.

[2] 刘丽萍,李三忠,戴黎明,等. 雪峰山西侧贵州地区中生代构造特征及其演化[J]. 地质科学, 2010, 45(1): 228-242.
LIU Li-ping, LI San-zhong, DAI Li-ming, et al. Structural characteristics and evolution in Guizhou Province, west of Xuefeng Mountain [J]. Chinese Journal of Geology, 2010, 45(1): 228-242.

[3] 张国伟,董云鹏,姚安平. 造山带与造山作用及其研究的新起点[J]. 西北地质, 2001, 34(1): 1-7.
ZHANG Guo-wei, DONG Yun-peng, YAO An-ping. Review on the development of studies on the tectonic and orogen process of organic belt, and discussing on some new key problems [J]. Northwestern Geology, 2001, 34(1): 1-7.

[4] 张国伟,程顺有,郭安林,等. 秦岭—大别中央造山系南缘勉略古缝合带的再认识——兼论中国大陆主体的拼合[J]. 地质通报, 2004, 23(9/10): 846-850.
ZHANG Guo-wei, CHENG Shun-you, GUO An-lin, et al. Mianlue paleo-suture on the southern margin of the central orogenic system in Qinling-Dabie with a

discussion of the assembly of the main part of the continent of China [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(9/10): 846-850.

- [5] 李三忠,张国伟,李亚林,等. 秦岭造山带勉略缝合带构造变形与造山过程[J]. 地质学报, 2002, 76(4): 479-481.
LI San-zhong, ZHANG Guo-wei, LI Ya-lin, et al. Deformation and orogeny of the Mian-Lue suture zone in the Qinling orogenic belt [J]. Acta Geologica Sinica, 2002, 76(4): 479-481.
- [6] 赵崇贺,何科昭,周正国,等. 关于华南大地构造问题的再认识[J]. 现代地质, 1996, 10(4): 512-517.
ZHAO Chong-he, HE Ke-zhao, ZHOU Zheng-guo, et al. New understanding on geotectonic problem in South China block [J]. Geosciences, 1996, 10(4): 512-517.
- [7] 张伯友,石满全,杨树锋,等. 古特提斯造山带在华南两广交界地区的新证据[J]. 地质论评, 1995, 41(1): 1-6.
ZHANG Bo-you, SHI Man-quan, YANG Shu-feng, et al. New evidence of the Paleotethyan orogenic belt on the Guangdong-Guangxi border region, South China [J]. Geological Review, 1995, 41(1): 1-6.
- [8] 吴浩若,邝国敦,王忠诚. 广西晚古生代构造沉积背景的初步研究[J]. 地质科学, 1997, 32(1): 11-17.
WU Hao-ruo, KUANG Guo-dun, WANG Zhong-cheng. Preliminary study on Late Paleozoic tectonic sedimentary settings in Guangxi [J]. Scientia Geologica Sinica, 1997, 32(1): 11-17.
- [9] 任纪舜. 中国大陆的组成、结构、演化和动力学[J]. 地球学报, 1994(3/4): 5-13.
REN Ji-shun. The continental tectonics of China [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1994(3/4): 5-13.
- [10] 郭福祥. 中国南方中生代大地构造属性和南华造山带褶皱过程[J]. 地质学报, 1998, 72(1): 22-33.
GUO Fu-xiang. Folding in the Nanhua orogen and Meso-Cenozoic tectonic setting of the South China [J]. Acta Geologica Sinica, 1998, 72(1): 22-33.
- [11] Zheng Yong-fei, Wu Rong-xin, Wu Yuan-bao, et al. Rift melting of juvenile arc-derived crust: geochemical evidence from Neoproterozoic volcanic and granitic rocks in the Jiangnan orogen, South China [J]. Precambrian Research, 2008, 163(3/4): 351-383.
- [12] 丘元禧,张渝昌,马文璞,等. 雪峰山的构造性质与演化——一个陆内造山带的形成演化模式[M]. 北京:地质出版社,广州:中山大学出版社, 1999.
QIU Yuan-xi, ZHANG Yu-chang, MA Wen-pu, et

- al. The tectonic nature and evolution of Xuefeng Mountains: one model of formation and evolution of intra-continental orogenic belt [M]. Beijing: Geological Publishing House, Guangzhou: Publishing House of SUN Yat-sen University, 1999.
- [13] 朱霭林, 王常微, 易国贵, 等. 贵州雷公山地区过渡性剪切带及其与铋金多金属矿关系[J]. 贵州地质, 1995, 12(1): 1-15.
ZHU Ai-lin, WANG Chang-wei, YI Guo-gui, et al. Brittle-ductile shear zone and its relationship to Sb and Au polymetallic deposits in Leigongshan area, southeastern Guizhou[J]. Guizhou Geology, 1995, 12(1): 1-15.
- [14] 马力, 陈焕疆, 甘克文, 等. 中国南方大地构造和海相油气地质[M]. 北京:地质出版社, 2004.
MA Li, CHEN Huan-jiang, GAN Ke-wen, et al. Tectonics and marine origin petroleum geology of South China [M]. Beijing, Geological Publishing House, 2004.
- [15] 孙肇才, 邱蕴玉, 郭正吾. 板内形变与晚期次生成藏——扬子区海相油气总体形成规律的探讨[J]. 石油实验地质, 1991, 13(2): 107-142.
SUN Zhao-cai, QIU Yun-yu, GUO Zheng-wu. On the relationship of the intraplate deformation and the secondary formation of oil/gas pools—the general regularities of the oil/gas formation in marine environment of the Yangtze area [J]. Experimental Petroleum Geology, 1991, 13(2): 107-142.
- [16] 丁道桂, 刘光祥, 吕俊祥, 等. 扬子板块海相中生界盆地的递进变形改造[J]. 地质通报, 2007, 26(9): 1178-1188.
DING Dao-gui, LIU Guang-xiang, LÜ Jun-xiang, et al. Progressive deformation of Middle Paleozoic marine basins in the Yangtze plate, China [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(9): 1178-1188.
- [17] 梁新权, 李献华, 丘元禧, 等. 华南印支期碰撞造山——十万大山盆地构造和沉积学证据[J]. 大地构造与成矿学, 2005, 29(1): 99-112.
LIANG Xin-quan, LI Xian-hua, QIU Yuan-xi, et al. Indosinian collisional orogeny: evidence from structural and sedimentary geology in Shiwandashan basin, South China[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2005, 29(1): 99-112.
- [18] Wang Yue-jun, Fan Wei-ming, Zhao Guo-chun, et al. Zircon U-Pb geochronology of gneissic rocks in the Yunkai massif and its implications on the Caledonian event in the South China block [J]. Gondwana Research, 2007, 12(4): 404-416.
- [19] 许效松, 尹福光, 万方, 等. 广西钦防海槽迁移与沉积-构造转换面[J]. 沉积与特提斯地质, 2001, 21(4): 1-10.
XU Xiao-song, YIN Fu-guang, WAN Fang, et al. The migration of the Qinzhou-Fangcheng trough in Guangxi and associated sedimentary-tectonic transform surfaces [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2001, 21(4): 1-10.
- [20] 王岳军, 范蔚茗, 梁新权, 等. 湖南印支期花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其成因启示[J]. 科学通报, 2005, 50(12): 1259-1266.
WANG Yue-jun, FAN Wei-ming, LIANG Xin-quan, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating and genesis of Indosinian granites in the Hunan Province [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(12): 1259-1266.
- [21] 云武, 徐志斌, 杨雄庭. 湖南涟源凹陷西部滑脱带构造特征[J]. 中国矿业大学学报, 1994, 23(1): 16-25.
YUN Wu, XU Zhi-bin, YANG Xiong-ting. Characteristics of detachment structures in the west of Lianyuan depression [J]. Journal of China University of Mining and Technology, 1994, 23(1): 16-25.
- [22] 潘传楚, 潘灿军. 论湘中“龙山穹隆”不存在[J]. 大地构造与成矿学, 1998, 22(增刊): 28-32.
PAN Chuan-chu, PAN Can-jun. There occurs no Longshan dome or brachyanticline in Xinshao, Hunan, China [J]. Geotectonica et Metallogenia, 1998, 22(Sup.): 28-32.
- [23] 张国伟, 孟庆任, 于在平, 等. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征[J]. 中国科学: D 辑, 1996, 26(3): 193-200.
ZHANG Guo-wei, MENG Qing-ren, YU Zai-ping, et al. Orogenesis and dynamics of the Qinling orogen belt [J]. Science in China: Series D, 1996, 26(3): 193-200.
- [24] 朱赖民, 张国伟, 李彝, 等. 秦岭造山带重大地质事件、矿床类型和成矿大陆动力学背景[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2008, 27(4): 384-389.
ZHU Lai-min, ZHANG Guo-wei, LI Ben, et al. Main geological events, genetic types of metallic deposits and their geodynamical setting in the Qinling orogenic belt [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2008, 27(4): 384-389.
- [25] 董树文, 张岳桥, 龙长兴, 等. 中国侏罗纪构造变革

- 与燕山运动新诠释[J]. 地质学报, 2007, 81(11): 1449-1461.
- DONG Shu-wen, ZHANG Yue-qiao, LONG Chang-xiang, et al. Jurassic tectonic revolution in China and new interpretation of the Yanshan movement [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(11): 1449-1461.
- [26] 董云鹏, 查显峰, 付明庆, 等. 秦岭南缘大巴山褶皱-冲断推覆构造的特征[J]. 地质通报, 2008, 27(9): 1493-1508.
- DONG Yun-peng, ZHA Xian-feng, FU Ming-qing, et al. Characteristics of the Dabashan fold-thrust nappe structure at the southern margin of the Qinling, China [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(9): 1493-1508.
- [27] 袁学诚, 李善芳, 华九如. 秦岭陆内造山带岩石圈结构[J]. 中国地质, 2008, 35(1): 1-17.
- YUAN Xue-cheng, LI Shan-fang, HUA Jiu-ru. Lithospheric structure of the Qinling intracontinental orogen[J]. Geology in China, 2008, 35(1): 1-17.
- [28] Li Zheng-xiang, Li Xian-hua. Formation of the 1300 km-wide intracontinental orogen and postorogenic magmatic province in Mesozoic South China: a flat-slab subduction model [J]. Geology, 2007, 35(2): 179-182.
- [29] 舒良树. 华南前泥盆纪构造演化: 从华夏地块到加里东期造山带[J]. 高校地质学报, 2006, 12(4): 418-427.
- SHU Liang-shu. Predevonian tectonic evolution of South China: from Cathaysian block to Caledonian period folded orogenic belt [J]. Geological Journal of China Universities, 2006, 12(4): 418-427.
- [30] 张国伟, 郭安林, 姚安平. 中国大陆构造中的西秦岭—松潘大陆构造结[J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 23-30.
- ZHANG Guo-wei, GUO An-lin, YAO An-ping. Western Qinling-Songpan continental tectonic node in China's continental tectonics [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(3): 23-30.
- [31] 崔建军, 刘晓春, 胡娟, 等. 桐柏杂岩中印支期变质岩包体的变质作用[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2009, 39(4): 618-628.
- CUI Jian-jun, LIU Xiao-chun, HU Juan, et al. Metamorphism of Indosinian metamorphic enclaves in the Tongbai complex, Central China [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2009, 39(4): 618-628.
- [32] Institute for Geophysics, University of Texas. Reconstructions [EB/OL]. <http://www.ig.utexas.edu/research/projects/plates>, 1999.
- [33] 黄宝春, 周姚秀, 朱日祥. 从古地磁研究看中国大陆形成与演化过程[J]. 地学前缘, 2008, 15(3): 348-359.
- HUANG Bao-chun, ZHOU Yao-xiu, ZHU Ri-xiang. Discussions on Phanerozoic evolution and formation of continental China, based on paleomagnetic studies [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(3): 348-359.
- [34] 吴汉宁, 吕建军, 朱日祥, 等. 扬子地块显生宙古地磁视极移曲线及地块运动特征[J]. 中国科学: D辑, 1998, 28(增刊): 69-78.
- WU Han-ning, LÜ Jian-jun, ZHU Ri-xiang, et al. Phanerozoic paleomagnetic apparent polar wander path and dynamic characteristics in Yangtze block [J]. Science in China: Series D, 1998, 28(Sup.): 69-78.
- [35] 吴汉宁, 常承法, 刘椿, 等. 依据古地磁资料探讨华北和华南块体运动及其对秦岭造山带构造演化的影响[J]. 地质科学, 1990, 25(3): 201-214.
- WU Han-ning, CHANG Cheng-fa, LIU Chun, et al. Evolution of the Qinling fold belt and the movement of the North and South China blocks: the evidence of geology and paleomagnetism [J]. Scientia Geologica Sinica, 1990, 25(3): 201-214.