

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.571>



# 湖南NW向常德—安仁断裂的地质特征、活动历史及构造性质

柏道远, 李银敏, 钟 响, 李 彬, 黄乐清, 伍贵华, 李 超, 姜 文

湖南省地质调查院, 湖南长沙 410016

**摘要:** 常德—安仁断裂是湖南东部一条NW向大断裂, 关于其地质特征、活动历史及构造性质等尚缺乏系统研究。基于区域地质调查和基础地质研究资料, 总结了常德—安仁断裂的总体特征, 重塑了断裂的活动历史, 探讨了断裂的构造性质和变形机制。主要认识如下: 常德—安仁断裂走向NW $330^{\circ}$ , 为一基底隐伏断裂, 地质上表现为一NW向岩浆隆起带, 该断裂为贯穿中、下地壳并切入岩石圈地幔的深大断裂, 断裂倾向NE, 倾角约 $54^{\circ}$ 。断裂具有长期活动历史: 新元古代冷家溪期作为转换断层具走滑活动; 冷家溪末期武陵(晋宁)运动中在区域S-N向挤压下右行走滑; 板溪期早期和南华纪早期均具伸展活动并控制沉积相带的展布; 加里东运动中在区域S-N向挤压下右行走滑; 中三叠世晚期印支运动中在区域NW-NWW向挤压下左行走滑兼逆冲; 晚三叠世—早侏罗世在区域S-N向挤压下右行走滑; 中侏罗世晚期早燕山运动中在区域NWW向挤压下左行走滑; 白垩纪—古近纪产生伸展活动。常德—安仁断裂在冷家溪期可能为一横切扬子陆块东南缘弧后盆地、岛弧和华南洋的转换断层, 印支运动中断裂带因深部逆冲活动而构造隆升。该断裂具隐伏特征的原因可能与冷家溪期—南华纪同沉积活动、震旦系底部滑脱层发育、多条NE-NNE向大断裂的截切以及断裂沿线花岗岩体和断陷盆地的发育等有关。

**关键词:** 常德—安仁断裂; 隐伏断裂; 岩浆隆起带; 多期活动; 转换断层; 变形机制; 构造。

中图分类号: P542; P548

文章编号: 1000-2383(2018)07-2496-22

收稿日期: 2017-11-20

## Geological Features, Activity History and Tectonic Attribute of NW-Trending Changde-Anren Fault in Hunan

Bai Daoyuan, Li Yinmin, Zhong Xiang, Li Bin, Huang Leqing, Wu Guihua, Li Chao, Jiang Wen

Hunan Institute of Geological Survey, Changsha 410016, China

**Abstract:** Changde-Anren fault is a NW-trending deep fault in eastern Hunan, and its geological features, activity history and tectonic attributes have not been studied systematically. Based on regional geological survey and research data, the authors summarized the general features of the fault, analyzed the nature, genesis and forming ages of the secondary structures originated from the fault, and then reconstructed the activity history, probed in the tectonic attributes and deformation mechanisms of the fault. Main conclusions are as follows: Changde-Anren fault is a NW-trending ( $330^{\circ}$ ) basement hidden fault with outcropped fault only in part of north segment and appears as a NW-striking magma-uplift belt. It is a deep major fault breaking through the middle and lower crust and cutting into lithospheric mantle, and dipping northeast with dip angle of  $54^{\circ}$ . The fault experienced long-term activity as follows. It was a transform fault with strike-slip motion during Neoproterozoic Lengjiaxi Period, strike-slipped dextrally under regional S-N compression in Wuling Movement causing the clockwise rotation of the structural lineaments to the north of Taojiang, extended and controlled the sedimentary facies in Early Banxi Period and Early Nanhua, strike-slipped dextrally under regional S-N compression and formed secondary NWW-trending thrust faults in Caledonian

基金项目:中国地质调查局项目(No. DD20160031)。

作者简介:柏道远(1967—),男,研究员级高级工程师,长期从事区域地质调查与基础地质研究,ORCID: 0000-0002-0267-7838。

E-mail: daoyuanbai@sina.com

引用格式:柏道远,李银敏,钟响,等,2018.湖南NW向常德—安仁断裂的地质特征、活动历史及构造性质.地球科学,43(7): 2496—2517.

Movement, strike-slipped sinistrally with thrust and formed secondary NW-trending sinistral strike-slip fault and Anren "y"-type structure under regional NW to NWW compression in late Middle Triassic Indosinian Movement, strike-slipped dextrally under regional S-N compression and formed secondary NWW-trending thrust faults and uplifts during Late Trias-Early Jurassic, strike-slipped sinistrally under regional NWW compression and formed secondary NEE-trending dextral strike-slip fault in Middle Jurassic Early Yanshanian Movement, extended and formed small-scale NW-trending regulative faults controlling the boundary of the southwest end of NNE-trending faulted basins during Cretaceous-Paleogene. Changde-Anren fault was probably a transform fault crosscutting back-arc basin and island arc on the southeastern margin of Yangtze block and Huanan ocean. The uplift along Changde-Anren fault was formed in Indosinian Movement controlled by deep thrust, and rose further for large-scale granitic magmatism in Late Triassic. The hidden properties of the fault were provided by several facts such as follows: The fault developed in Lengjiaxi Group and Nanhua as synsedimentary fault but not in Simian-Upper Paleozoic; there existed weak detachment layer of Jinjiadong Formation at the bottom of Sinian; NE to NNE-trending major faults cut Changde-Anren fault into several segments with relative independent motion; there occurred a large number of granitic bodies and Cretaceous-Paleogene basins.

**Key words:** Changde-Anren fault; hidden fault; magma-uplift belt; several tectonic movements; transform fault; deformation mechanisms; tectonics.

## 0 引言

湖南东部发育常德—安仁、邵阳—郴州、新宁—蓝山 3 条 NW 向基底隐伏大断裂。前人进行过 NW 向断裂及其构造属性研究, 主要存在 4 种观点:(1)认为其为燕山期 NNE 向陆内左旋走滑大断裂所派生的反向(右旋) $R'$ 断裂(傅昭仁等, 1999; 李建威等, 1999; 李先福等, 1999, 2000); (2)认为其为印支—燕山期左行走滑断裂(彭和求和伍光英, 2000; 邱先前和刘阳生, 2003); (3)认为中生代以来先后经历过印支期左旋走滑、燕山期右行走滑、喜山期(?)左行走滑(柏道远等, 2006); (4)认为其在印支运动中具强烈左行走滑(柏道远等, 2005, 2008)。上述 NW 向断裂中以常德—安仁断裂规模最大, 其为一条切入岩石圈的大断裂(饶家荣等, 1993; 饶家荣, 1999), 表现为极为醒目的大型构造—岩浆隆起带, 曾被视为扬子陆块与华夏陆块的缝合线(傅昭仁等, 1999)和转换断层(饶家荣, 1999), 对区域构造格局和大地构造演化具有十分重要的意义。然而, 由于该断裂具隐伏特征, 同走向的地表断裂形迹缺乏, 关于该断裂的地质特征、活动历史及构造性质等尚缺乏系统研究和深入探讨。

本文将基于区域地质调查和基础地质研究资料, 对常德—安仁断裂的总体特征进行总结, 对断裂活动所派生的各种次级构造的成因性质和形成时代进行深入解析, 进而重塑常德—安仁断裂的活动历史, 并简要探讨该断裂的构造性质和变形机制, 以为区域基础地质研究补充新的资料, 为区域构造演化过程提供新的约束。

## 1 区域地质概况

常德—安仁断裂北段横切雪峰造山带东段, 南段构成湘东北隆起带与湘中凹陷的分界(图 1)。断裂带及邻区出露新元古代冷家溪群、板溪群和同期异相的高涧群、南华系—震旦系、下古生界、上古生界—中三叠统、上三叠统一中侏罗统、白垩系—古近系和第四系等多时代地层。其中冷家溪群为活动陆缘火山—碎屑沉积, 板溪群—南华系为裂谷盆地火山—碎屑沉积, 震旦系一下奥陶统为被动大陆边缘盆地的陆源碎屑夹少量碳酸盐、硅质沉积, 中奥陶统一志留系为前陆盆地砂、泥质和少量碳酸盐沉积, 泥盆系一下三叠统为陆表海碳酸盐、陆源碎屑夹硅质沉积, 上三叠统一中侏罗统为陆相挤压类前陆盆地或伸展盆地碎屑沉积, 白垩系—古近系为陆相断陷盆地红色碎屑沉积(湖南省地质调查院, 2017)。

区内发育多条 NE-NNE 向主干断裂, 洞庭盆地、长平(长沙—平江)盆地、衡阳盆地、醴攸(醴陵—攸县)盆地、茶永(茶陵—永兴)盆地等白垩纪—古近纪断陷盆地叠覆于前中生代地层之上。

沿断裂带发育大量中生代花岗岩, 南段发育少量志留纪花岗岩。志留纪花岗岩为与加里东陆内造山运动相关的后碰撞花岗岩(Wang et al., 2007a; Wan et al., 2010; Zhang et al., 2011; Chu et al., 2012; Zhang et al., 2012; 关义立等, 2013; 柏道远等, 2015)。中生代花岗岩以印支期即三叠纪花岗岩为主, 包括桃江、沩山、歇马、南岳、川口、五峰仙等岩体(图 1), 成岩年龄多为 210~230 Ma(湖南省地质调查院, 2017), 形成于中三叠世后期印支运动之后的后碰撞构造环境(柏道远等, 2007; Wang et al., 2007b; Mao

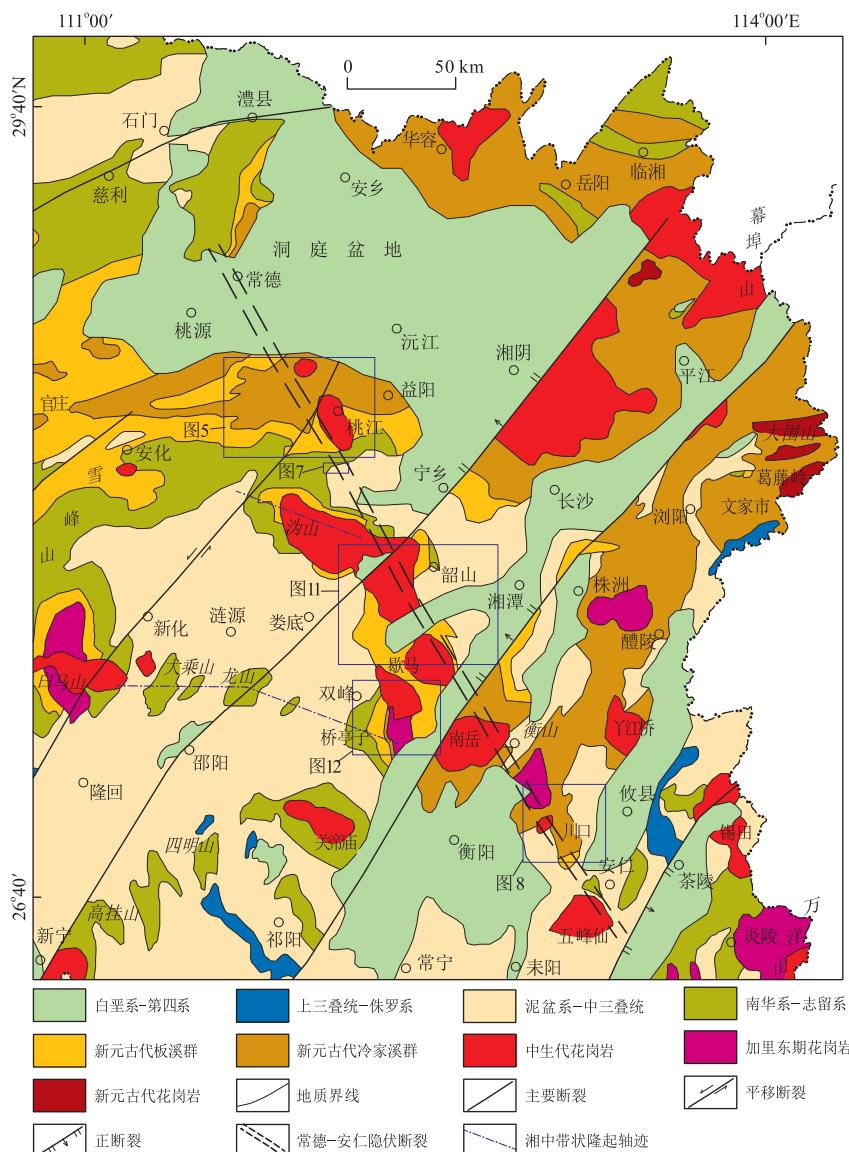


图 1 研究区区域地质图

Fig.1 Regional geological sketch of research area

*et al.*, 2011; Zhao *et al.*, 2013; 刘凯等, 2014; 曾认宇等, 2016); 另有少量燕山期(侏罗纪、白垩纪)花岗岩, 多为侵入于印支期花岗岩基中的小规模侵入体。

该地区主要经历了武陵(晋宁)、加里东、印支、早燕山期等几次具挤压造山性质的构造运动, 分别造成板溪群与冷家溪群、上古生界与前泥盆系、上三叠统(或侏罗系)与上古生界、白垩系与侏罗系(或前白垩系)之间的角度不整合。此外, 受雪峰伸展运动影响(张世红等, 2008; 王剑和潘桂棠, 2009; 柏道远等, 2016; 周琦等, 2016), 南华系与板溪群之间存在局部沉积间断或不整合。

## 2 断裂地质特征

### 2.1 常德—安仁断裂总体特征

常德—安仁断裂北起常德以北, 往南经桃江、韶山、衡山至安仁后止于 NNE 向茶陵—郴州大断裂。断裂走向 NW330°, 为一基底隐伏断裂, 地质上表现为一宽 40 km 以上的 NW 向岩浆隆起带。在沩山—安仁一段, 断裂南西侧相对拗陷, 主要出露上古生界; 北东侧隆起, 主要出露冷家溪群、板溪群、南华系一下古生界, 且沿断裂形成一构造隆起带即沩山—南岳复背斜, 复背斜核部为冷家溪群和板溪群, 两翼主要为上古生界, 少量南华系一下古生界(图 1)。自沩山往南东, 尽管因白垩纪—古近纪断陷盆地

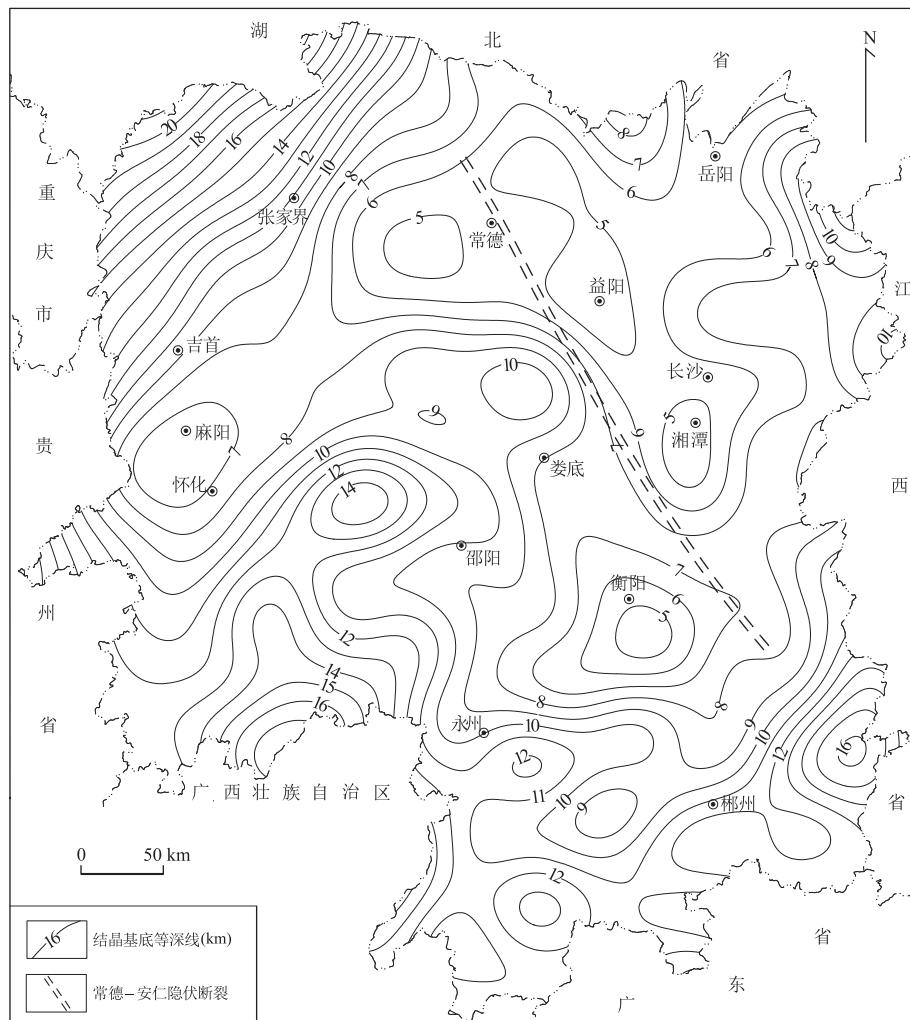


图 2 结晶基底顶界面埋深

Fig.2 Inference of crystalline basement isobaths

图据湖南省地质调查院(2017)修改

叠加而不够连续,该隆起带特征仍清晰。沿背斜核部及近侧充填了沩山、歇马、南岳、衡东、将军庙、五峰仙等以印支期为主的多个花岗质岩体,因断裂切割深,位于断裂带上的印支期五峰仙岩体具有明显的幔源物质混入特征(柏道远等,2007)。

下述地球物理探测及解释成果表明,该断裂为贯穿中、下地壳并切入岩石圈地幔的深大断裂(湖南省地质调查院,2017)。

根据麻阳反射地震确定的结晶基底顶面深度,利用中波长尺度区域重力异常,以麻阳地区反射地震确定的结晶基底为基准,对湖南省结晶基底顶界面起伏形态进行反演,得到结晶基底顶界面深度,如图 2 显示。断裂为益阳—湘潭 NW 向基底隆起带的西边界,并构成常德基底抬升区与益阳基底抬升区、衡阳基底抬升区与湘潭基底抬升区的分界。

利用爆破地震测深所获得的莫霍面实际深度资料,结合布格重力异常及其与地壳厚度统计关系,编制出莫霍面构造图(图 3)。在莫霍面构造图上,断裂构成常德和湘潭幔隆区西边界或为常德—湘潭幔隆区与湘中幔凹区—湘中南缓坡带之间的分界,断裂北东侧莫霍面相对南西侧抬升,落差在 3~5 km(湖南省地质调查院,2017)。

根据大地电磁探测、地热流等资料编制的湖南岩石圈厚度图上,断裂北段为桃源岩石圈增厚区与沅江减薄区分界(图 4)。沿断裂出现一系列密集的重力梯级带,经益阳 NE 向重力剖面定量解释,断裂倾向 NE,倾角约 54°。

常德—安仁断裂带内与断裂走向近一致的 NW 向表露规模断裂仅局部发育,如桃江北面丰家铺—谢林港断裂(图 5)。此外,常德—安仁断裂对白垩

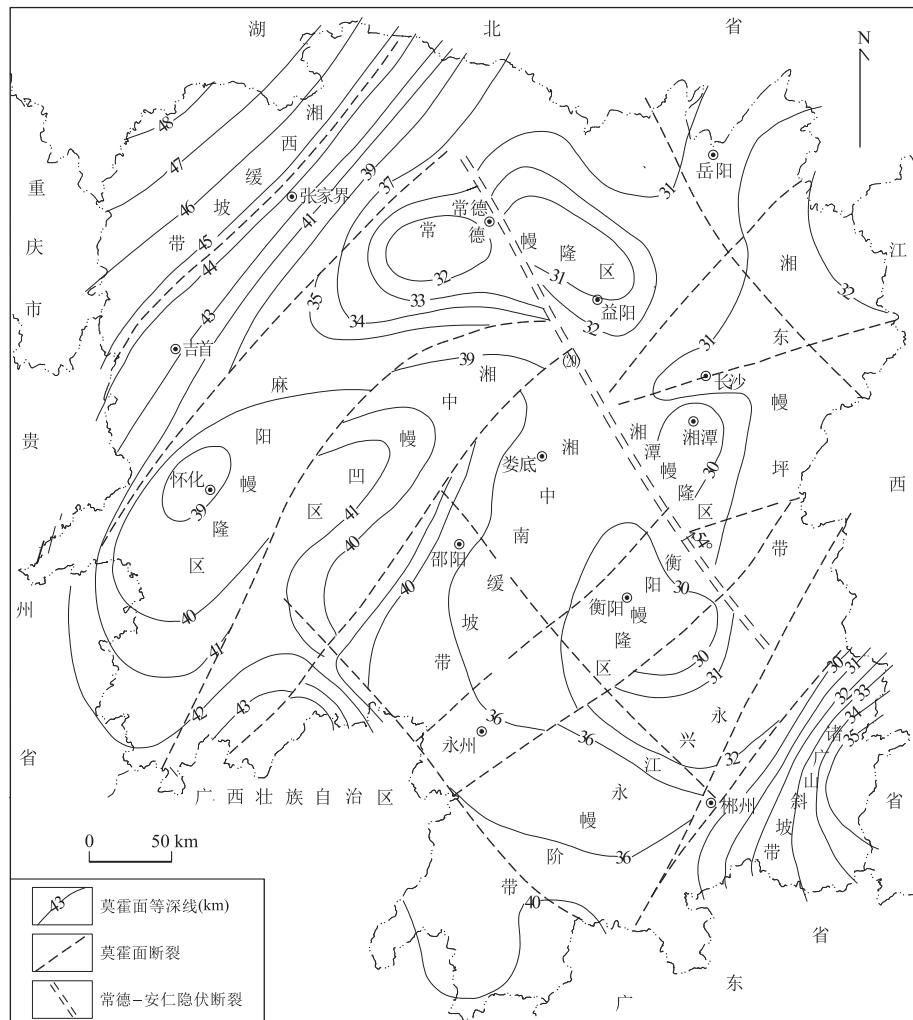


图 3 莫霍面构造推断图

Fig.3 Structural inference on the Moho surface

图据湖南省地质调查院(2017)修改

纪—古近纪断陷盆地的延伸边界具有明显的控制作用,构成了洞庭盆地湘阴凹陷南西端、湘潭盆地西南西端、株洲盆地南西端、醴攸盆地南西端的边界以及衡阳盆地北西边界(图 1)。

## 2.2 常德—安仁断裂派生构造

已有研究表明,常德—安仁断裂所在地区先后经历了武陵运动 S-N 向挤压(柏道远等, 2012a)、加里东运动 S-N 向挤压(郝义等, 2010; 王建等, 2010; 柏道远等, 2012a)、中三叠世晚期印支运动主幕的 NW 偏西向(NW-NWW 向)挤压(丘元禧等, 1998, 1999; Yan et al., 2003; 柏道远等, 2005, 2008, 2009, 2012b, 2013, 2014; Wang et al., 2005; 丁道桂等, 2007; 金宠等, 2009; 李三忠等, 2011)、晚三叠世—早侏罗世 S-N 向挤压(柏道远等, 2011)、中侏罗世晚期早燕山运动 NWW 向挤

压(柏道远等, 2013, 2014)等强挤压应力事件。显然,在这些强挤压事件作用下,NW 偏北向常德—安仁断裂理应发生左行或右行走滑活动,只是断裂活动主要发生于较深层次,导致地表缺乏沿断裂带发育的 NW 向规模断裂。大型走滑断裂派生出的挤压应力场通常会形成褶皱、逆断裂以及左行和右行平移断裂等次级构造,且走滑活动常导致旁侧构造线偏转。笔者对常德—安仁断裂带及邻侧地区地质构造进行了详细解析,初步识别出该断裂多阶段活动派生的不同类型次级构造(表 1)。以下自早至晚对各构造阶段次级构造给予具体分析、阐述。

### 2.2.1 青白口纪中期武陵运动 NWW 向褶皱

丰家铺—谢林港断裂以西,冷家溪群中地层及褶皱走向为 NEE,与雪峰造山带北段主体构造线走向一致;但该断裂以东的桃江北面地区,地层及褶皱走向

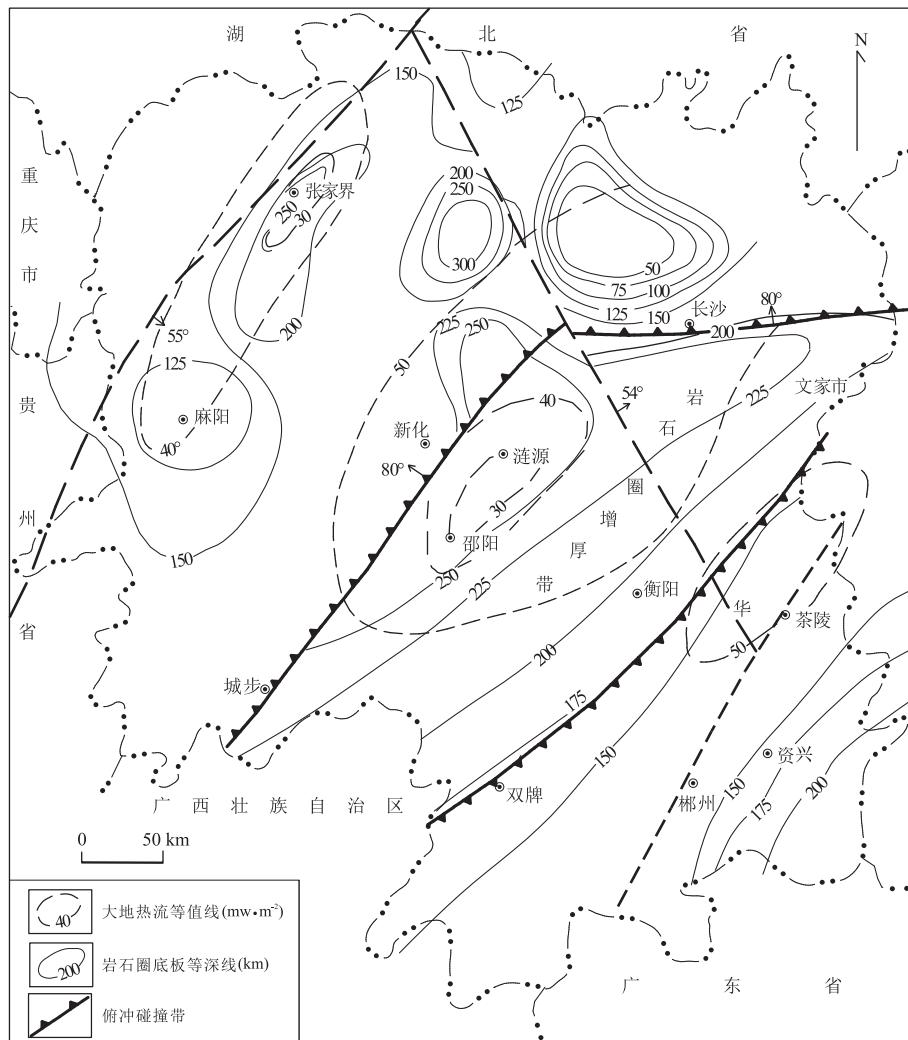


图 4 岩石圈厚度

Fig.4 Inference on the lithosphere thickness

图据湖南省地质调查院(2017)修改

却转为 NWW(图 5).冷家溪群中褶皱主要形成于青白口纪中期的武陵运动,而武陵运动中该地区遭受近 S-N 向挤压(柏道远等, 2012a),由此笔者推断常德—安仁断裂在武陵运动中产生右行走滑,由此派生 NNE 向挤压并使断裂东盘构造线顺时针旋转而使桃江北面褶皱走向呈 NWW 向(图 6a).

### 2.2.2 志留纪后期加里东运动 NWW 向逆断裂

本期逆断裂有桃江岩体南面的牛田断裂和桃花江水库北面的石鸭头断裂。

牛田断裂为一走向 NWW $285^{\circ}$ 、倾向 N 的逆断裂,长约 11 km,东端被中泥盆统掩盖(图 5).断裂上盘板溪群百合垅组和牛牯坪组向南逆冲于南华系—寒武系之上.断裂切割下古生界并被上古生界所覆盖,应形成于志留纪后期加里东运动.

石鸭头断裂位于桃花江水库北面,为一走向

NWW $285^{\circ}$ 左右的南倾逆断裂(图 7),延长达 5 km 以上.断裂切割下古生界并被上古生界所覆,应形成于加里东运动.此外,石鸭头断裂与其南侧北倾逆断裂油次冲—杨家坳断裂走向相同并组成背冲构造,因此尽管油次冲—杨家坳断裂主要形成于中生代(见后文),推测其在加里东运动中即发生过逆冲活动.

牛田断裂和石鸭头断裂均位于雪峰造山带北段且位于常德—安仁断裂带上,而区域上加里东期构造线呈 E-W 向(柏道远等, 2012a),远离常德—安仁断裂并无 NWW 向逆断裂发育.因此,笔者推断上述 NWW 向逆断裂的形成与常德—安仁断裂的活动有关.理论上,加里东运动中区域应力场为 S-N 向挤压(郝义等, 2010; 王建等, 2010; 柏道远等, 2012a),受其控制常德—安仁断裂产生右行走滑并派生 NNE 向挤压应力场,从而形成 NWW 向逆断

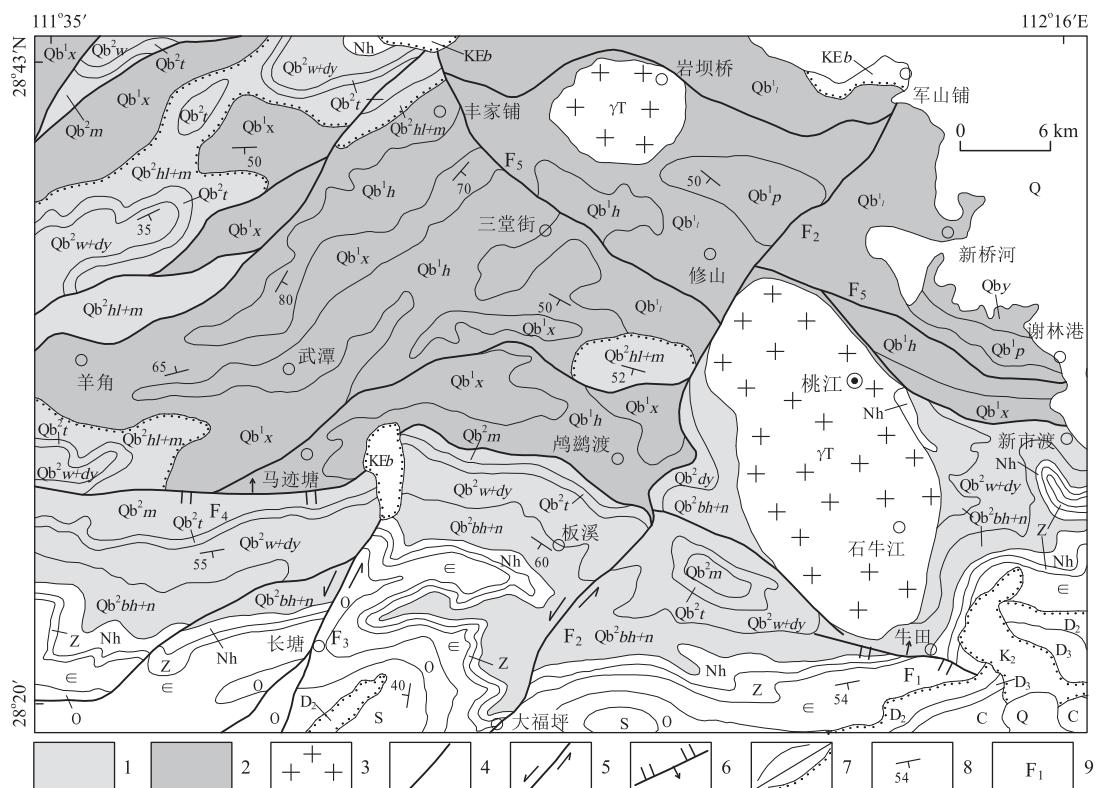


图 5 武潭—桃江地区地质图

Fig.5 Geological sketch of Wutan-Taojiang area

位置见图1;据湖南省1:50万地质图、1:25万益阳市幅地质图(湖南省地质调查院,2017)修改.Q.第四系;KE<sub>b</sub>.白垩系—古近系百花亭组;C.石炭系;D<sub>3</sub>.上泥盆统;D<sub>2</sub>.中泥盆统;S.志留系;O.奥陶系;E.寒武系;Z.震旦系;Nh.南华系;Qb<sup>2</sup>bh+n.青白口系板溪群百合垅组和牛牯坪组;Qb<sup>2</sup>w+dy.板溪群五强溪组和多益塘组;Qb<sup>2</sup>dy.板溪群多益塘组;Qb<sup>2</sup>t.板溪群通塔湾组;Qb<sup>2</sup>m.板溪群马底驿组;Qb<sup>2</sup>hl+m.板溪群横路冲组和马底驿组;Qb<sup>1</sup>x.青白口系冷家溪群小木坪组;Qb<sup>1</sup>h.冷家溪群黄卉洞组;Qb<sup>1</sup>l.冷家溪群雷神庙组;Qb<sup>1</sup>p.冷家溪群潘家冲组;Qb<sup>1</sup>y.冷家溪群易家桥组;γT.三叠纪花岗岩.1.青白口系板溪群;2.青白口系冷家溪群;3.花岗岩;4.断裂;5.平移断裂;6.逆断裂;7.地质界线/角度不整合地质界线;8.地层产状;9.断裂编号,F<sub>1</sub>.牛田断裂;F<sub>2</sub>.大福坪断裂;F<sub>3</sub>.长塘断裂;F<sub>4</sub>.安化—马迹塘断裂;F<sub>5</sub>.丰家铺—谢林港断裂

表 1 當德—安仁断裂派生次级构造

Table 1 Secondary structures originated from Changde-Anren fault

序号	次级构造类型	形成时代	次级构造及其形成时代依据	常德—安仁断裂活动性质
1	NWW 向褶皱	Qb 中期	桃江北面 NWW 向褶皱, 卷入地层为冷家溪群.	武陵运动中在区域 S-N 向挤压下右行走滑
2	NWW 向逆断裂	S 晚期	牛田断裂, 切割下古生界并被上古生界所覆; 石鸭头断裂, 切割下古生界并被上古生界所覆.	加里东运动中在区域 S-N 向挤压下右行走滑
3	NW 向左行平移断裂	T <sub>2</sub> 晚期	水龙冲断裂, 切割最新地层为上古生界且南东段被白垩系所掩, 叠加了晚三叠世—早侏罗世逆冲活动.	印支运动中在区域 NW(W) 向挤压下左行走滑
4	NWW 向逆断裂	T <sub>3</sub> -J <sub>1</sub>	油次冲—杨家坳断裂, 切割上古生界并被印支期 NE 向断裂所限; 杨林断裂, 西端切入晚三叠世花岗岩, 东端被侏罗系所掩覆; 棋梓—乌石断裂, 切割上古生界并被白垩系所掩覆、被印支期 NE 向断裂所限.	在区域 S-N 向挤压下右行走滑
5	NWW 向隆起	T <sub>3</sub> -J <sub>1</sub>	龙山—桥亭子串珠状隆起, 卷入了上古生界并被中侏罗世早燕山运动褶皱叠加; 沔山隆起, 卷入了上古生界并有三叠纪花岗岩侵位.	在区域 S-N 向挤压下右行走滑
6	NEE 向右行平移断裂	J <sub>2</sub> 晚期	枣子坪断裂, 切割了晚三叠世花岗岩, 东端被白垩系所掩覆.	早燕山运动中在区域 NWW 向挤压下左行走滑
7	断陷盆地端部或边部断裂	K-E	湘阴凹陷、湘潭盆地、株洲盆地、醴攸盆地等 NNE 向盆地南西端部 NW 向断裂、衡阳盆地北东边界, 控制断陷盆地的延伸.	区域伸展构造体制下产生拉张活动

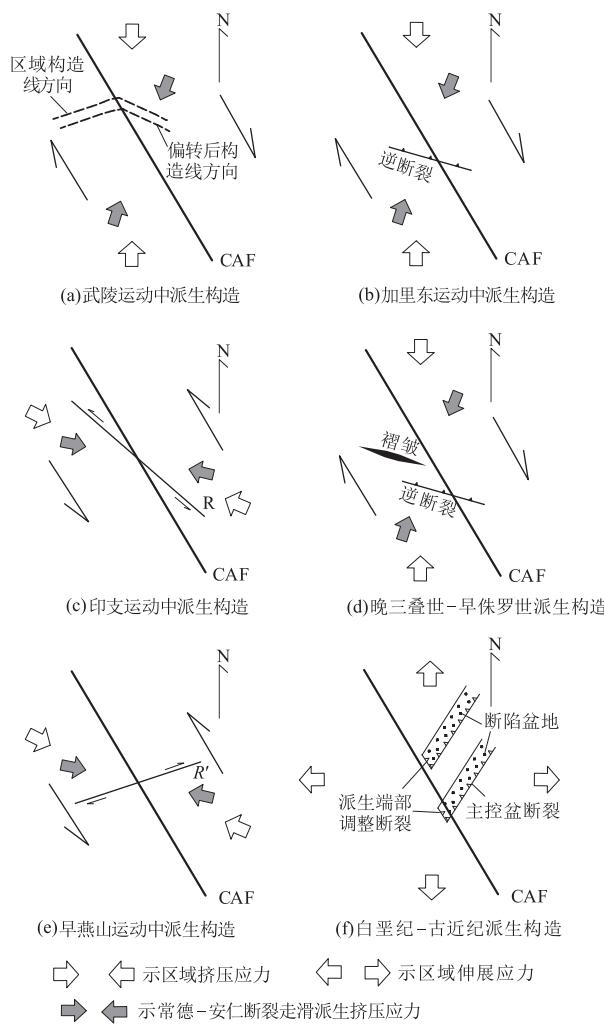


图 6 常德—安仁断裂(CAF)不同阶段活动派生构造

Fig. 6 Secondary structures in different periods originated from Changde-Anren fault (CAF)

裂(图 6b).总之,NWW 向逆断裂牛田断裂和石鸭头断裂应为常德—安仁断裂加里东运动中右行走滑所派生的次级构造.

**2.2.3 中三叠世晚期印支运动 NW 向左行平移断裂** 川口北面的水垅冲断裂为一 NW 向左行逆平移断裂,自老至新切割了冷家溪群黄浒洞组和小木坪组、泥盆系跳马涧组至石炭系测水组;南东端被白垩系所掩并被 NNE 向草市正断裂截切,长约 21 km(图 8).断裂总体走向约 NW305°,沿走向略呈弧形弯曲;倾向 SW,倾角 40°~66°.断裂主要具左行平移性质并兼具逆冲特征.平面上,以泥盆系下伏角度不整合面显示的左行平移视错距达 5 km;剖面上,水垅冲一带见断裂上盘小木坪组向北东逆冲于泥盆系易家湾组之上(图 9a),而在高湖西侧欧家冲组中发育高角度的左行逆平移断裂(图 9b,图 9c).

水垅冲断裂切割最新地层为上古生界且南东段

被白垩系所掩,应形成于印支期—早燕山期.其紧邻常德—安仁断裂东侧,区域上远离常德—安仁断裂未见 NW 向左行平移断裂,因此笔者推断水垅冲断裂的形成与常德—安仁断裂的活动有关.这一认识可从区域构造背景得到合理解释:中三叠世后期的印支运动区域构造体制为 NW-NWW 向强挤压(任纪舜, 1984, 1990; 丘元禧等, 1998, 1999; 柏道远等, 2005, 2008, 2009, 2012b, 2013, 2014; Wang et al., 2005; Li and Li, 2007; 丁道桂等, 2007; 金宠等, 2009; 李三忠等, 2011; 张国伟等, 2011),位于水垅冲断裂北面的株洲太湖逆冲推覆构造的推覆方向即为 NW 偏西(305°)(柏道远等, 2009),受其控制走向 NW 偏北的常德—安仁断裂产生左行走滑并派生(叠加)NWW 向挤压应力,从而形成次级左行平移断裂(图 6c).

值得指出的是,尽管中侏罗世晚期早燕山运动区域构造体制与印支运动一样也为 NWW 向挤压(舒良树和周新民, 2002; 舒良树等, 2004; 徐先兵等, 2009; 张岳桥等, 2009),但考虑到水垅冲断裂兼具逆冲,可能与晚三叠世—早侏罗世常德—安仁断裂右行走滑派生 NNE 向挤压(见 2.2.4 部分)而产生逆冲叠加有关,因此将水垅冲断裂左行平移活动归于印支运动应更为合理.

**2.2.4 晚三叠世—早侏罗世 NWW 向逆断裂和隆起** 本期 NWW 向逆断裂主要有桃花江水库北面的油次冲—杨家坳断裂、韶山杨林断裂和湘乡南面的棋梓—乌石断裂等.

油次冲—杨家坳断裂位于桃花江水库北面,为走向 NWW285°左右的北倾逆断裂,延长在 10 km 以上(图 7).断裂西段,北盘板溪群牛牯坪组向南逆冲于南华系和震旦系之上;断裂东段切入上古生界,杨家坳西约 300 m 见断裂出露,产状约为 20°∠60°,北盘易家湾组泥灰岩向南逆冲于较新的棋梓组灰岩之上(图 10).断裂向东切入上古生界并被 NE 向印支期断裂所限,应形成于中三叠世印支运动之后.

杨林断裂位于韶山市北面,走向 NWW297°,倾向 NNE,长约 12 km.断裂北盘南华系—寒武系向南逆冲于泥盆系一二叠系之上(图 11).断裂西端切入晚三叠世花岗岩,东端被侏罗系所掩覆,应形成于晚三叠世.

棋梓—乌石断裂为一走向 NWW282°的逆断裂(图 11).断裂西端被印支期 NNE-NE 向的翻江断裂所限,东端被白垩系所掩覆,总长约 56 km.其中段被白垩纪—古近纪断陷盆地叠覆,并明显被盆地南

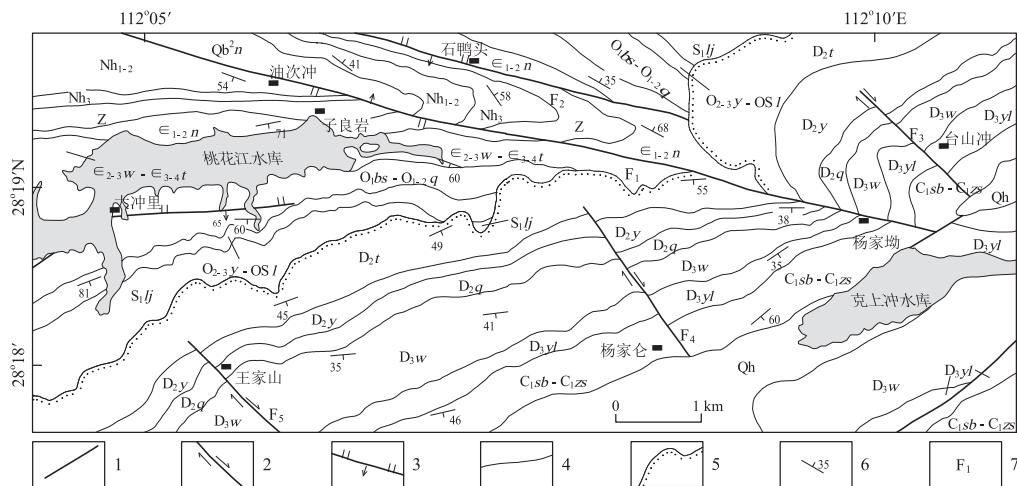


图 7 桃花江水库地区地质图

Fig.7 Geological map of Taohuajiang reservoir area

位置见图1;Qh.全新统;C<sub>1</sub>zs.下石炭统樟树湾组;C<sub>1</sub>sb.下石炭统尚保冲组;D<sub>3</sub>w.上泥盆统吴家坊组;D<sub>3</sub>yl.上泥盆统岳麓山组;D<sub>2</sub>q.中泥盆统棋梓桥组;D<sub>2</sub>y.中泥盆统易家湾组;D<sub>2</sub>t.中泥盆统跳马洞组;S<sub>1</sub>lj.下志留统两江河组;O<sub>2-3</sub>y-OSl.奥陶系烟溪组—志留系龙马溪组;O<sub>1-2</sub>q.下—中奥陶统桥亭子组;O<sub>1</sub>bs.中奥陶统白水溪组;E<sub>2-3</sub>w~E<sub>3-4</sub>t.寒武系污泥塘组和探溪组;E<sub>1-2</sub>n.下寒武统牛蹄塘组;Z.震旦系;Nh<sub>3</sub>.上南华统;Nh<sub>1-2</sub>.下—中南华统;Qb<sub>2</sub>n.青白口系板溪群牛牯坪组.1.断裂;2.平移断裂;3.逆断裂;4.整合地质界线;5.角度不整合地质界线;6.岩层产状;7.断裂编号.F<sub>1</sub>.油次冲—杨家坳断裂;F<sub>2</sub>.石鸭头断裂;F<sub>3</sub>.台山冲断裂;F<sub>4</sub>.杨家仑断裂;F<sub>5</sub>.王家山断裂

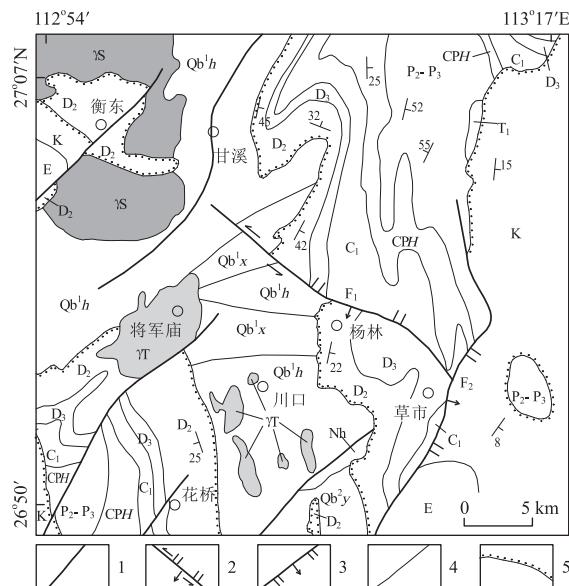


图 8 川口地区地质图

Fig.8 Geological sketch of Chuankou area

位置见图1;据湖南省1:50万地质图和1:5万铁丝塘幅和草市幅地质图(湖北地质调查院,2017)修改.E.古近系;K.白垩系;T<sub>1</sub>.下三叠统;P<sub>2</sub>-P<sub>3</sub>.中-上二叠统;CPH.上石炭统一下二叠统壶天群;D<sub>3</sub>.上泥盆统;D<sub>2</sub>.中泥盆统;Nh.南华系;Qb<sup>b/y</sup>.青白口系高洞群岩门寨组;Qb<sup>b/x</sup>.青白口系冷家溪群小木坪组;Qb<sup>b/h</sup>.冷家溪群黄浒洞组;γT.三叠纪花岗岩;γS.志留纪花岗岩.1.断裂;2.逆平移断裂;3.正断裂;4.地质界线,5.角度不整合地质界线.F.水成冲断带,F.草市断裂

东边界中沙断裂(正断裂)所截切。断裂倾向北,倾角60°左右,其斜切NW向隆起带,导致断裂西段东段

北侧的板溪群向南逆冲于泥盆系之上,且在平面上分别显示出左行、右行错位效应。断裂切割上古生界并被印支期 NE 向断裂所限、被白垩纪正断裂截切和被白垩系所掩覆,应形成于晚三叠世—侏罗纪。

本期 NWW 向隆起有龙山—桥亭子串珠状隆起和沕山隆起(图 1).龙山—桥亭子隆起为白马山—桥亭子隆起的东段(图 1).白马山—桥亭子隆起核部出露南华系—奥陶系,翼部出露上古生界,因早燕山运动 NE-NNE 向褶皱叠加而呈串珠状;其西段即白马山—龙山隆起呈 EW 向展布,东段即龙山—桥亭子隆起转为 NWW $290^{\circ}$ 左右走向.沕山隆起同样呈 NWW $290^{\circ}$ 左右走向,核部为板溪群一下古生界并有三叠纪花岗岩侵位,两翼为上古生界(图 1).NWW 向隆起卷入了上古生界并被中侏罗世早燕山运动褶皱叠加,应形成于三叠纪—早侏罗世期间.

综上所述, 同与 NNE 向挤压应力相关的 NWW 向逆断裂和隆起的形成时代应为晚三叠世—早侏罗世。

上述中生代 NWW 向逆断裂均位于常德—安仁断裂带, 远离断裂带未见同走向逆断裂发育; 而 NWW 向隆起则紧邻常德—安仁断裂西侧发育, 其中龙山—桥亭子隆起往西延伸段(白马山—龙山隆起)因远离常德—安仁断裂而呈 E-W 向。因此, 笔者有理由推断 NWW 向断裂和隆起的形成与常德—安仁断裂的活动有关, 且区域构造背景也可给出全

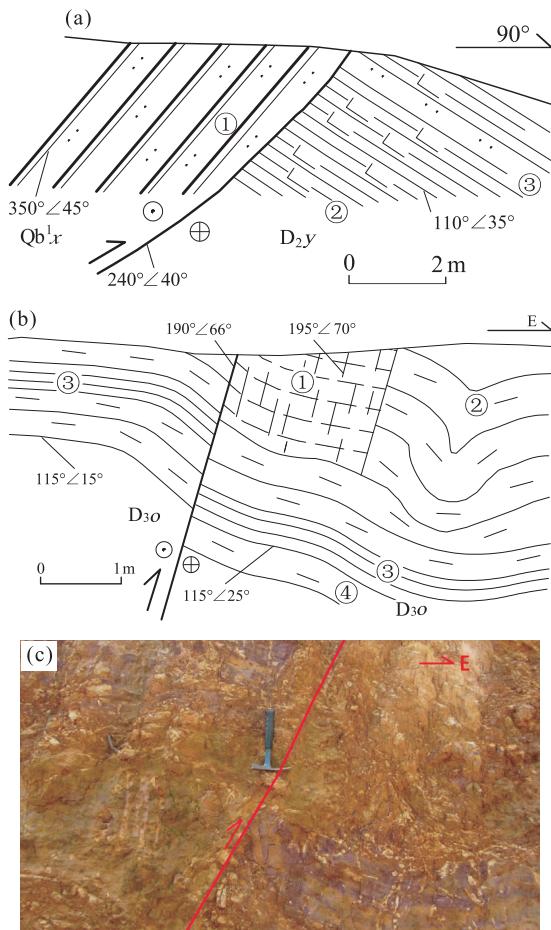


图 9 水龙冲断裂特征

Fig.9 Feature of Shuilongchong fault

a. 断裂剖面(水龙冲).①粉砂质板岩;②钙质页岩;③粉砂岩;Qb<sup>1</sup>.x.冷家溪群小木坪组;D<sub>2y</sub>.泥盆系易家湾组;b. 断裂剖面(高湖西侧).①劈理化带;②褶皱;③页岩;④泥岩;D<sub>3o</sub>.泥盆系欧家冲组;c. 断裂露头(高湖西侧)

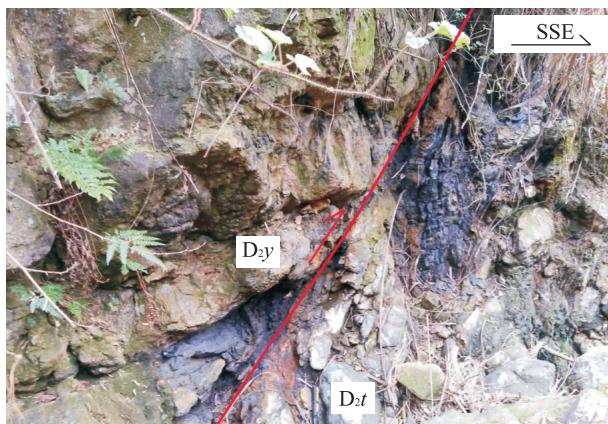


图 10 油次冲—杨家坳断裂露头

Fig.10 Outcrop of Youcichong-Yangjia'ao fault

理解释:晚三叠世—早侏罗世区域构造体制为 S-N 向挤压(舒良树和周新民, 2002; 舒良树等, 2004,

2006; 柏道远等, 2011), 常德—安仁断裂因此产生右行走滑并派生 NNE 向挤压应力场, 从而形成 NWW 向逆断裂和 NWW 向隆起(图 6d).

**2.2.5 中侏罗世晚期 NEE 向右行平移断裂** NEE 向右行平移断裂主要有枣子坪断裂(图 12). 该断裂横切紫云山岩体南部, 走向 NEE74°, 倾向 NNW, 倾角 70°左右, 出露长约 23 km, 断裂破碎带宽 3~5 m, 由片理化花岗岩、片麻状花岗岩、麻棱岩带及硅化破碎带(图 13)组成. 断裂将花岗岩体西、东边界分别右行错移约 0.8 km 和 5 km, 显示断裂中段位错距离大、近端部位错距离小. 露头上断裂摩擦镜面上的正阶步也指示右行走滑(图 13). 断裂切割了青白口系高涧群、志留纪和晚三叠世花岗岩, 东端被白垩系所掩, 应形成于侏罗纪. 断裂紧邻常德—安仁断裂西侧, 区域上远离常德—安仁断裂未见同期 NEE 向右行平移断裂发育, 因此笔者推断其形成与常德—安仁断裂的活动有关. 结合区域构造分析如下: 由于受古太平洋板块(或伊泽奈崎板块)俯冲影响, 中侏罗世晚期发生早燕山运动并具有 NWW 向挤压的区域构造体制(舒良树和周新民, 2002; 舒良树等, 2004; 张岳桥等, 2009; 徐先兵等, 2009; 柏道远等, 2013, 2014), 受此影响常德—安仁断裂左行走滑并派生 NWW 向挤压应力叠加于区域 NWW 向挤压应力之上, 从而形成 NEE 向右行平移断裂(图 6e). 需要指出的是, 枣子坪断裂紧邻常德—安仁断裂西侧发育且往西远离断裂即尖灭, 因此笔者可大致推断其主要受控于常德—安仁断裂左行走滑所派生的 NWW 向挤压, 而不是受控于区域 NWW 向挤压.

**2.2.6 白垩纪—古近纪盆地端部或边界断裂** 由于常德—安仁断裂为大规模的构造薄弱带和岩石力学性质不连续带, 其在白垩纪—古近纪区域伸展构造体制下产生伸展活动, 从而控制了同期 NNE 向断陷盆地的南西部边界(图 6f), 如洞庭盆地湘阴凹陷、湘潭盆地西支、株洲盆地以及醴陵盆地等均向南延伸至常德—安仁断裂后终止(图 1), 不过由于该断裂带宽度大, 各盆地终止的位置并不在一条直线上. 上述断陷盆地主要受 NNE 向正断裂控制, 一般为一侧断陷的箕状盆地, 从盆地构造的变形机制考虑, 在箕状盆地沿 NWW 方向伸展过程中其端部多发育 NW 向的小规模调整断裂(斜滑正断裂)(如湘阴凹陷北东端即有 NW 向调整断裂发育(柏道远等, 2010a)), 只是受工作程度限制和后期剥蚀、改造, 沿常德—安仁断裂带分布的调整断裂形迹

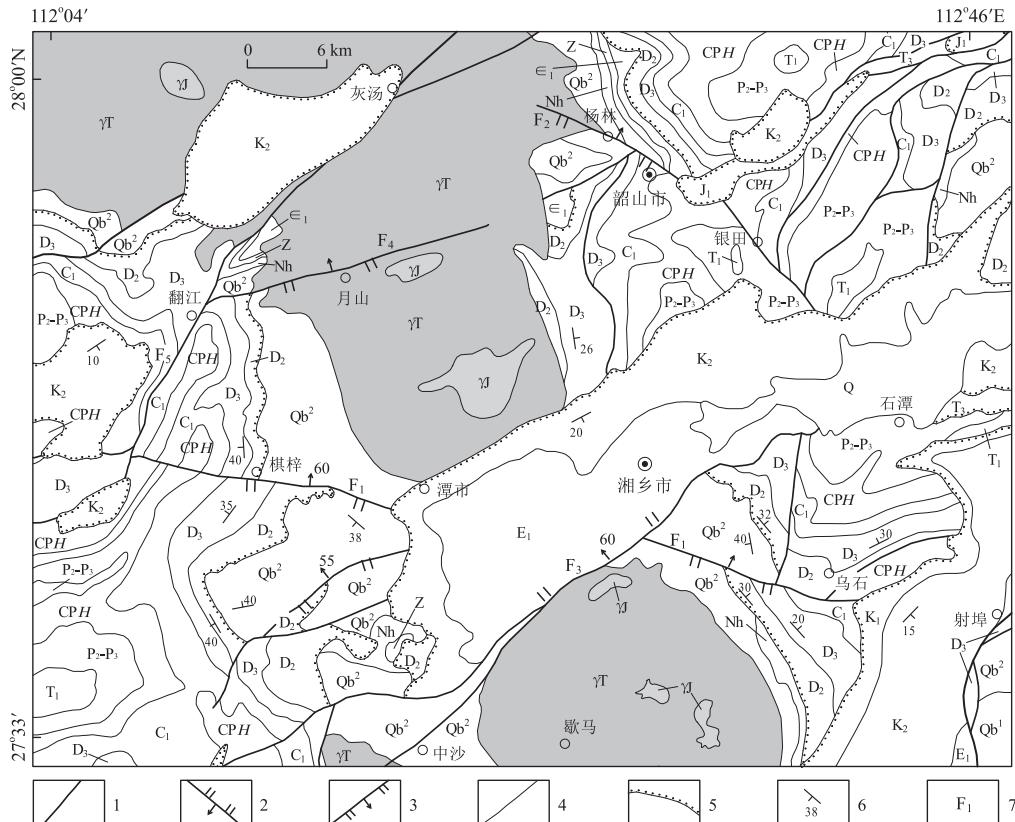


图 11 韶山—湘乡地区地质图

Fig.11 Geological sketch of Shaoshan-Xiangxiang area

位置见图 1;据湖南省 1:50 万地质图(湖南省地质调查院,2017)、1:25 万邵阳市幅地质图和 1:25 万株洲市幅地质图修改.Q.第四系;E<sub>1</sub>.古近系;K<sub>2</sub>.上白垩统;K<sub>1</sub>.下白垩统;T<sub>3</sub>.下侏罗统;T<sub>1</sub>.下三叠统;P<sub>2</sub>-P<sub>3</sub>.中一上二叠统;CPH.上石炭统下二叠统灰岩带;C<sub>1</sub>.下石炭统;D<sub>3</sub>.上泥盆统;D<sub>2</sub>.中泥盆统;E<sub>1</sub>.下寒武统;Z.震旦系;Nh.南华系;Qb<sup>2</sup>.青白口系板溪群、高涧群;J.侏罗纪花岗岩;γT.三叠纪花岗岩.1.断裂;2.逆断裂;3.正断裂;4.地质界线;5.角度不整合地质界线;6.地层产状;7.断裂编号.F<sub>1</sub>.棋梓—乌石断裂;F<sub>2</sub>.杨林断裂;F<sub>3</sub>.中沙断裂;F<sub>4</sub>.月山断裂;F<sub>5</sub>.翻江断裂

一般未得到明确识别。值得指出的是,除衡阳盆地外,白垩纪—古近纪断陷盆地主要于桃江—安仁一线北东侧发育,很可能与常德—安仁断裂倾向 NW、区域伸展体制下断裂北西盘沿断裂下滑、沉降有关。

除控制上述 NNE 向断陷盆地的南西侧边界外,常德—安仁断裂尚控制了衡阳断陷盆地的北东边界(图 1)。

### 3 常德—安仁断裂活动历史

根据前文对次级派生构造成因和形成时代的详细解析,结合区域构造演化和青白口纪板溪期、南华纪岩相古地理的已有研究成果,本文重塑了常德—安仁断裂的活动历史。其自早至晚经历了新元古代冷家溪期同沉积期走滑、武陵运动中右行走滑、板溪早期伸展、南华纪早期伸展、加里东运动中右行走滑、印支运动中左行走滑兼逆冲、晚三叠世—早侏罗

世右行走滑、早燕山运动中左行走滑、白垩纪—古近纪伸展等多期构造活动。常德—安仁断裂活动历史的厘定,对区域构造背景和构造演化过程提供了新的约束。

#### 3.1 新元古代冷家溪期走滑活动

代表晋宁期(武陵期或冷家溪期)古华南洋的钦杭结合带在萍乡以东的东段(浙赣段)物质记录总体上较为清楚(水涛, 1987; 杨明桂等, 2009),但南西段(湘桂段)因后期沉积的叠覆而缺乏明确的物质记录,在湖南境内的走向因此存在茶陵—郴州断裂(王光杰等, 2000; 洪大卫等, 2002; 郝义等, 2010)、长沙—浏阳—桃江—城步(饶家荣等, 1993)、南桥—新化—隆回—苗儿山与川口—常宁—双牌两线之间(柏道远等, 2012a)、湘东湘乡—醴陵地区和湘东南桂阳地区之间(王鹏鸣等, 2012)、浏阳—茶陵—安化—靖州(傅昭仁等, 1999)、益阳—溆浦—靖州(张国伟等, 2013)等不同认识; Dong *et al.*(2015)根据

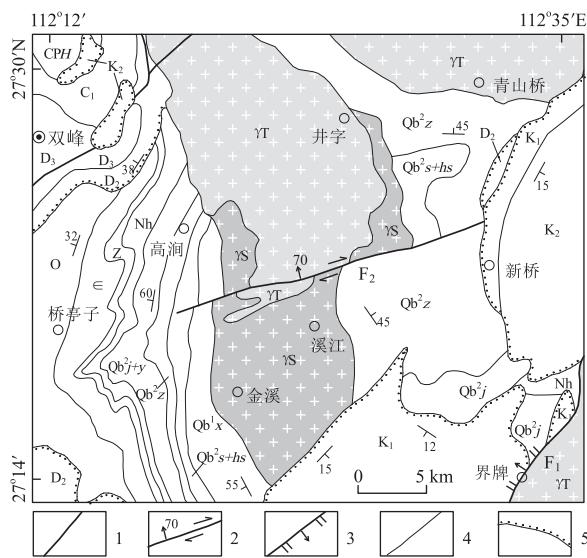


图 12 溪江地区地质图

Fig.12 Geological sketch of Xijiang area

位置见图 1;据湖南省 1:50 万地质图(湖南省地质调查院,2017)、1:25 万邵阳市幅地质图修改.K<sub>2</sub>.上白垩统;K<sub>1</sub>.下白垩统;CPH.上石炭统一下二叠统寒武系;C<sub>1</sub>.下石炭统;D<sub>3</sub>.上泥盆统;D<sub>2</sub>.中泥盆统;O.奥陶系;Z.震旦系;Nh.南华系;Qb<sup>2</sup>j+y.青白口系高润群架枧田组和岩门寨组;Qb<sup>2</sup>z.高润群砖墙湾组;Qb<sup>2</sup>s+hs.高润群石桥铺组和黄狮洞组;Qb<sup>1</sup>x.青白口系冷家溪群小木坪组;γT.三叠纪花岗岩;γS.志留纪花岗岩;1.断裂;2.平移断裂;3.正断裂;4.地质界线;5.角度不整合地质界线.F<sub>1</sub>.界牌断裂;F<sub>2</sub>.枣子坪断裂



图 13 枣子坪断裂露头

Fig.13 Outcrop of Zaoziping fault

白色箭头所指处发育指示右行走滑的正阶步

地震反射剖面推测雪峰造山带冷家溪群之下存在扬子与华夏陆块之间的古元古代碰撞造山带。尽管钦杭结合带的具体位置认识不一,仍反映出洋陆总体呈 NE 向展布的冷家溪期总体构造格局。从构造继承性考虑,笔者推断规模宏大、长期活动(尤其是武陵运动中有活动)的常德—安仁断裂为冷家溪期活动陆缘构造阶段的大断裂。此外,在断裂以西,冷家溪群为一套

鲜见火山物质的砂、泥质复理石沉积,地表未见青白口纪花岗岩发育;而在断裂以东,冷家溪群则发育大量凝灰质砂岩、凝灰质板岩、沉凝灰岩,间夹石英角斑岩,益阳尚发育厚度巨大的 823±6 Ma(Wang et al., 2007c)科马提质玄武岩(王孝磊等,2003),岳阳—浏阳一带发育章邦源、渭洞、大围山、长三背、葛腾岭等多个青白口纪花岗岩体(湖南省地质调查院,2017),暗示该断裂在冷家溪期即为构造特征和发展过程具有明显差异的不同块体的分界。基于地质资料的进一步分析初步揭示其为横切冷家溪期 NE 向弧后盆地、岛弧与华南洋的转换断层,应具走滑活动。

### 3.2 武陵运动中右行走滑活动

冷家溪期末因陆—陆或弧—陆碰撞发生武陵(晋宁)运动,使冷家溪群强烈褶皱变形并发生浅变质,造成板溪群与冷家溪群之间的角度不整合(湖南省地质调查院,2017)。可能受扬子陆块东南缘弧形走向控制,雪峰构造带冷家溪群构造线走向自湘西至湘东总体由 NE 向渐转为近 EW 向,益阳以东地区的区域构造体制总体为近 S-N 向挤压(柏道远等,2012a)。在区域 S-N 向挤压作用下,常德—安仁断裂产生右行走滑(图 6a),导致断裂以东的桃江北面地区武陵期构造线产生顺时针旋转而成为 NW 向(图 5)。桃江北面的丰家铺—谢林港断裂很可能作为常德—安仁断裂的浅部同走向次级断裂在本次构造事件中形成。

### 3.3 板溪期早期伸展活动及对沉积相带的控制

继武陵造山运动之后,湖南进入青白口纪板溪期—南华纪裂谷盆地演化阶段(王剑和潘桂棠,2009; 柏道远等,2010b; 湖南省地质调查院,2017)。在区域拉张构造体制下,常德—安仁断裂产生伸展活动,从而控制了湘东北地区板溪期早期岩相古地理格局,自北东向南西依次为隆起剥蚀区(洞庭古陆)、河流—滨海相区、广海陆棚相区、陆坡相区,沉积相区及其界线的展布方向与常德—安仁断裂的走向基本一致,且常德段河流—滨海相区与广海陆棚相区的界线、湘潭段广海陆棚相区与陆坡相区的界线均与常德—安仁断裂大体重合(图 14)。

### 3.4 南华纪早期伸展活动及对沉积相带的控制

南华纪早期常德—安仁断裂伸展活动明显,表现在对岩相古地理格局的控制:湘东北地区自北东向南西依次为隆起剥蚀区(古陆)、滨岸浮冰带相区、陆棚—陆坡浮冰带相区,滨岸浮冰带相区及其与相邻相区边界的展布方向与常德—安仁断裂基本一致(图 15)。

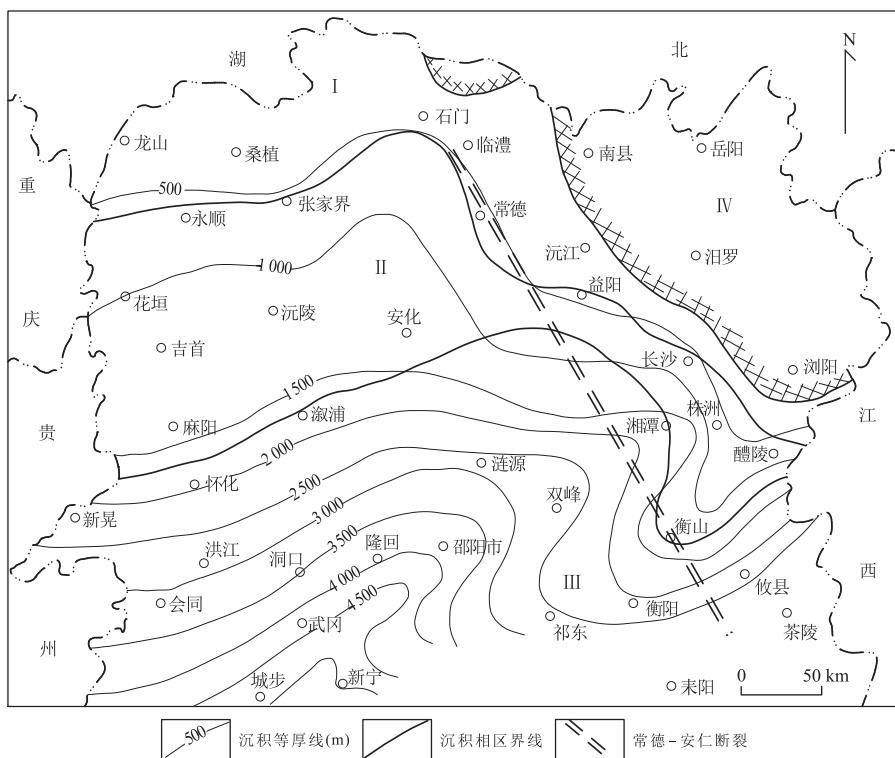


图 14 板溪期早期岩相古地理格局

Fig.14 Paleogeography in Early Banxi Period

据湖南省地质调查院(2017)修改; I.河流—滨海相区; II.广海陆棚相区; III.陆坡相区; IV.洞庭古陆

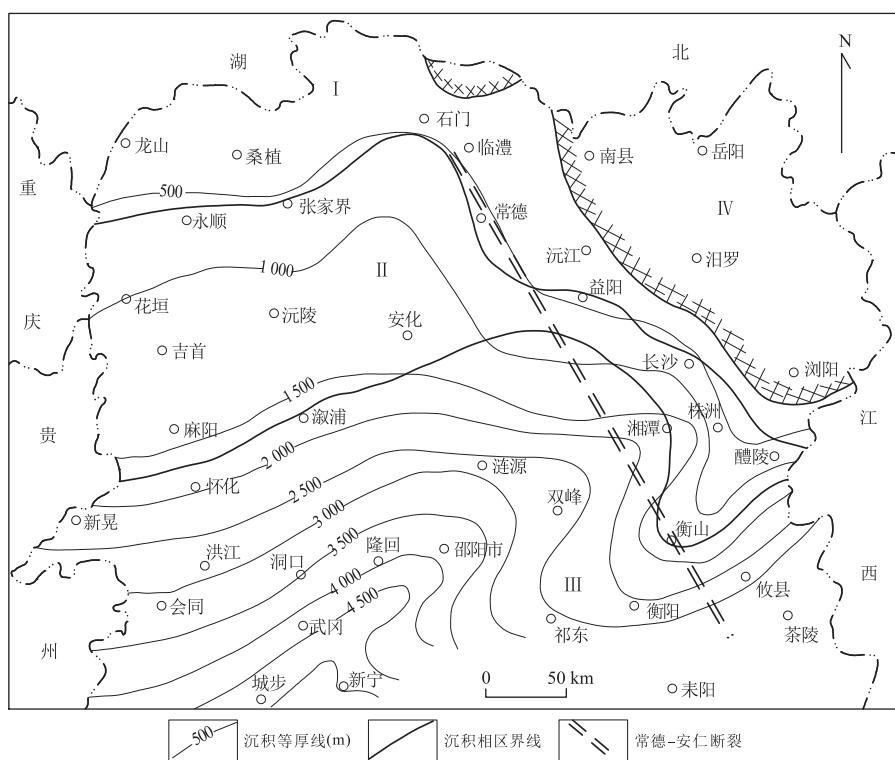


图 15 南华纪早期岩相古地理

Fig.15 Paleogeography in Early Nanhuan Period

据湖南省地质调查院(2017)修改; I.后滨沼泽-泻湖浮冰相区; II.滨岸浮冰带相区; III.陆棚-陆坡浮冰带相区; IV.边缘海槽盆浮冰相区; V.古陆

### 3.5 加里东运动中右行走滑活动

志留纪中晚期发生加里东运动,区域上造成泥盆系(部分地区为石炭系)与前泥盆系之间的角度不整合。由于华夏古陆向北西的逐渐逆冲与扩增(陈旭和戎嘉余,1999; Rong *et al.*, 2010),加里东运动中区域构造体制为 S-N 向挤压(丘元禧等, 1998, 1999; 王建等, 2010; 郝义等, 2010; 柏道远等, 2012a).受此控制,NW 向的常德—安仁断裂产生基底右行走滑,右行走滑派生 NNE 向挤压应力,从而形成了 NWW 走向逆断裂(图 6b),如牛田断裂(图 5)、石鸭头断裂和油次冲—杨家坳断裂(早期)(图 7)等。

区域上,继加里东运动之后形成了大规模的后碰撞花岗岩浆活动(柏道远等, 2015; Wang *et al.*, 2007a; 刘锐等, 2008; Wan *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2011, 2012; Chu *et al.*, 2012; 关义立等, 2013),沿常德—安仁断裂带南段充填形成了狗头岭岩体(图 1)。

### 3.6 印支运动中左行走滑兼逆冲活动

中三叠世后期发生印支运动,区域上造成上三叠统一侏罗系与下三叠统及更早地层之间的角度不整合。可能受扬子板块与华夏板块的继发性陆内俯冲汇聚控制(张国伟等, 2011),印支运动中自湘东至湘中、湘西地区均遭受 NW-NWW 向挤压,形成了以 NE-NNE 向为主的褶皱和逆断裂(任纪舜, 1984, 1990; 丘元禧等, 1998, 1999; 柏道远等, 2005, 2008, 2009, 2012b, 2013, 2014; Wang *et al.*, 2005; Li and Li, 2007; 丁道桂等, 2007; 金宠等, 2009; 李三忠等, 2011; 张国伟等, 2011).在区域 NW 偏西向(NW-NWW 向)挤压作用下,走向 NW 但偏北的常德—安仁断裂产生基底左行走滑,左行走滑派生 NWW 向挤压,从而形成了 NW 向次级左行平移断裂(图 6c),如川口北面的水龙冲断裂(图 8).此外,本次左行走滑活动造成安仁县城以西印支期褶皱呈 NNW 向而以东则呈 NNE 向,从而组成“y”字型不协调构造(柏道远等, 2005)。

由于常德—安仁断裂倾向 NE,受区域 NW-NWW 向挤压影响,其在印支运动中左行走滑的同时尚产生了基底逆冲,从而在沩山—安仁一段形成 NW 向构造隆起。

值得指出的是,关于研究区印支运动构造体制和变形特征目前存在两种不同认识,一种如上所述认为受 NW-NWW 向挤压,形成了上古生界中的 NE-NNE 向褶皱;另一种则认为印支运动强度不大或受 S-N 向挤压,上古生界 NE-NNE 向褶皱形成于

燕山运动甚至更晚(郭福祥, 1998, 1999; 万天丰和朱鸿, 2002; 舒良树和周新民, 2002; 舒良树等, 2004, 2006; 徐先兵等, 2009; 张岳桥等, 2009).详细的构造解析明确支持第一种认识,如湘东太湖逆冲推覆构造走向 NE,其推覆中轴直接控制 NW 走向的丫江桥岩体的侵位,而丫江桥岩体形成于晚三叠世,说明太湖逆冲推覆构造形成于更早的中三叠世晚期的印支运动,且印支运动挤压方向为 NW 向(柏道远等, 2009);再如湘东南地区,早燕山构造层(上三叠统一侏罗系)下伏不整合面切割了上古生界中 NNE 向褶皱,将不整合面复平后恢复上古生界岩层走向,构造线方向也为 NNE 向,不整合面之下的地层层位普遍存在沿东西方向的快速变化等,均表明印支运动构造线为 NNE 向、区域挤压应力方向为 NWW 向(柏道远等, 2012b).总之,印支运动中常德—安仁断裂产生左行走滑的前提条件即区域 NW-NWW 向挤压是确定无疑的。事实上,第二种观点所提 S-N 向挤压发生于后述的晚三叠世—早侏罗世。

### 3.7 晚三叠世—早侏罗世右行走滑活动

晚三叠世—早侏罗世可能受扬子及其以南各地块向北迁移与中朝板块碰撞(万天丰和朱鸿, 2002)影响,区域构造体制为 S-N 向挤压。在区域 S-N 向挤压下,常德—安仁断裂产生基底右行走滑并派生 NNE 向挤压,从而形成了 NWW 向逆断裂和构造隆起等次级构造(图 6d),前者如油次冲—杨家坳断裂(后期)(图 7)、杨林断裂(图 11)、棋梓—乌石断裂(图 11)等,后者如龙山—桥亭子 NWW 向隆起(因后期呈串珠状)和沩山 NWW 向隆起(图 1).区域上,同期受 S-N 向挤压控制,湘东南地区先期 NNE 向断裂产生 E-W 向伸展而形成拉张盆地(柏道远等, 2011),溆浦—靖州断裂、通道—安化断裂、城步—新化断裂等先期 NNE 向断裂产生左行斜向逆冲(Wang *et al.*, 2005),湘中凹陷内形成大乘山—龙山 E-W 向隆起。

本期构造变形强度较弱,先期印支运动强烈变形所致剪切生热和地壳增厚使得中下地壳温度升高,在挤压减弱的条件下地壳熔融、岩浆侵位而形成了大量的晚三叠世后碰撞花岗岩(柏道远等, 2007; Wang *et al.*, 2007b; Mao *et al.*, 2011; Zhao *et al.*, 2013; 刘凯等, 2014; 曾认宇等, 2016),自北往南沿常德—安仁断裂即有岩坝桥、桃江、沩山、歇马、南岳、川口、五峰仙等岩体(图 1)。

### 3.8 早燕山运动中左行走滑活动

中侏罗世晚期发生早燕山运动,受古太平洋板块(或伊泽奈崎板块)俯冲影响,区域构造体制为

NWW 向挤压(舒良树和周新民, 2002; 舒良树等, 2004; 徐先兵等, 2009; 张岳桥等, 2009; 柏道远等, 2013, 2014). 常德—安仁断裂因区域 NWW 向挤压而产生基底左行走滑, 派生 NWW 向挤压叠加于区域 NWW 向挤压上(图 1e), 从而形成了切割紫云山岩体晚三叠世花岗岩的 NEE 向右行平移断裂—枣子坪断裂(图 12).

### 3.9 白垩纪—古近纪伸展活动及对断陷盆地的控制

受区域 NE 向挤压诱发 NW 向伸展(万天丰和朱鸿, 2002)、岩石圈伸展(Li, 2000)、岩石圈俯冲与基性岩浆底侵(Zhou and Li, 2000; Zhou *et al.*, 2006)、俯冲回滚(Uyeda and Kanamori, 1979)、弧后伸展(Watson *et al.*, 1987; Lapierre *et al.*, 1997; Ren *et al.*, 2002)等构造背景控制(多种不同观点), 或受来自特提斯构造域的动力作用即印度—欧亚大陆发生的俯冲和碰撞影响(后期)(Yin and Harrison, 2000), 白垩纪—古近纪区域上发生大规模伸展活动, 形成了大量以 NNE 向为主的断陷盆地. 如前文所述, 作为大规模的构造薄弱带和岩石力学性质不连续带, 常德—安仁断裂在区域伸展构造体制下产生伸展活动, 形成小规模 NW 向调整断裂(斜滑正断裂)并以此控制了洞庭盆地湘阴凹陷、湘潭盆地西支、株洲盆地以及醴攸盆地等 NNE 向断陷盆地的南西端部边界(图 6f), 沿衡阳断陷盆地的北东边界还形成了较大规模的 NW 向控盆断裂(图 1). 常德—安仁断裂的伸展活动形成了宁乡雷祖殿钾镁煌斑岩(林玮鹏等, 2011)和青华铺拉斑玄武岩(湖南省地质调查院, 2017).

## 4 讨论

### 4.1 冷家溪期大地构造格局及常德—安仁断裂构造属性

研究区位于扬子陆块东南缘, 冷家溪期总体属活动大陆边缘, 南以古华南洋(现今钦杭结合带)与华夏陆块相隔(杨明桂等, 2009). 然而由于后期沉积掩盖等原因缺乏古华南洋的物质记录, 关于钦杭结合带在湖南的位置如前文所述存在多种不同观点, 相关的岛弧、弧后盆地等构造单元的边界更是缺乏研究. 柏道远等(2012a)根据地质与地球物理资料提出湖南境内钦杭结合带与扬子陆块和华夏陆块的分界可能分别沿南桥—新化—隆回—苗儿山一线、川口—常宁—双牌一线(俯冲汇聚带), 并以对武陵期和加里东期构造线走向进行解释. 然而已有地质资料显示, 由北向南,

自岳阳—长沙—安仁一带冷家溪群总体连续出露, 却缺乏安山岩等典型的岛弧物质记录, 上述两汇聚带之间也缺乏大洋玄武岩、超基性岩、硅质岩等结合带岩套发育. 因此, 本文就冷家溪期大地构造格局初步提出新的模式如图 16 所示: 以安仁(川口)—双牌断裂和郴州—临武断裂为界, 自北向南依次为扬子陆块东南缘的弧后盆地、岛弧与华南洋、华夏陆块.

弧后盆地主要形成砂、泥质复理石沉积, 部分地区或层位夹酸性凝灰岩、沉淀灰岩、凝灰质砂岩、凝灰质板岩等. 其自北向南可分为弧后盆地北区、弧后扩张带和弧后盆地南区(图 16). 常德—安仁断裂以东的弧后扩张带内发育有浏阳文家市具弧后小洋盆特征的蛇绿岩套残片(贾宝华等, 2004; 贾宝华和彭和球, 2005)、浏阳南桥具 N-MORB 特性的玄武岩(周金城等, 2003)、益阳具弧后环境特征的科马提质玄武岩(王孝磊等, 2003)等, 暗示弧后盆地因强烈拉张局部形成了洋壳; 文家市蛇绿岩出露区构造片理倾向南(贾宝华和彭和球, 2005), 可能与弧后盆地收缩时洋壳向南俯冲消减有关. 常德—安仁断裂以西的弧后扩张带缺乏明确的物质记录, 综合分析表明其可能位于溆浦—靖州断裂和城步—新化断裂之间. 榆浦—靖州断裂和城步—新化断裂均为岩石圈大断裂, 其中前者被部分研究者视为扬子与华夏的分界(傅昭仁等, 1999; 张国伟等, 2013)或扬子陆块与东南缘岛弧之间的分界(柏道远等, 2016); 后者表现为一岩石圈俯冲汇聚带(柏道远等, 2012a), 被部分研究者视为扬子与华夏分界(饶家荣等, 1993)或冷家溪期扬子陆块与华南洋的分界(柏道远等, 2012a). 该带在南华纪时期可能因继承性活动而成为一强烈断陷槽, 形成了数千米厚的沉积. 弧后盆地南区大体对应于 NE 向的湘东—湘中南岩石圈增厚带(图 4).

岛弧与华南洋因后期沉积掩盖而无冷家溪期物质记录. Shu *et al.*(2013)对南岭中西段花岗岩锆石进行了 Hf 同位素研究, 发现以常宁—道县—恭城一线(安仁—双牌)和永兴—临武—连山一线(郴州—临武)为界可分为 3 个 Hf 同位素区, 中区具低的  $Hf\ T_{DM_2}$  年龄( $1.6 \sim 1.0$  Ga)和高的  $\epsilon_{Hf}$  值, 推测其为新元古代期间扬子与华夏陆块间的弧—陆碰撞融合带; 西区和东区具高的  $Hf\ T_{DM_2}$  年龄( $2.2 \sim 1.6$  Ga)和低的  $\epsilon_{Hf}$  值, 具典型陆壳组成特征, 推测分属扬子陆块和华夏陆块. 据此, 结合地质和地球物理特征反映的安仁—双牌断裂和郴州—临武断裂的岩石圈断裂特征, 将两断裂之间的地区对应新元古代扬子陆块与华夏陆块之间的岛弧与华南洋, 只是弧、

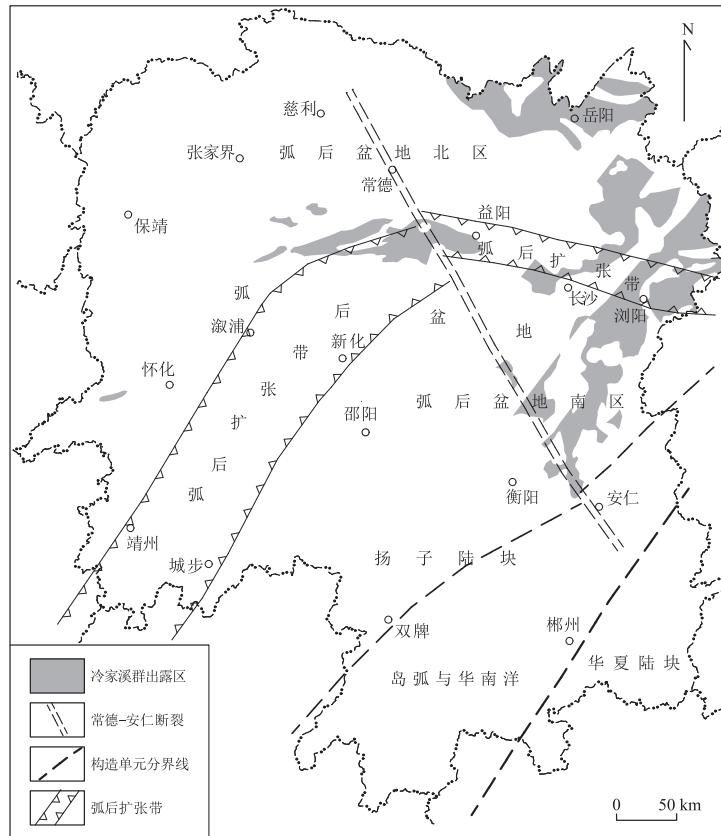


图 16 冷家溪期构造格局推断图

Fig.16 Inference on the tectonic framework in Lengjiaxi Period

洋的具体格局尚无法厘定;该区南东侧为华夏陆块,该区及其北西侧归于扬子陆块。

据前述大地构造格局分析,常德—安仁断裂在冷家溪期为一横切扬子陆块东南缘弧后盆地、岛弧和华南洋的转换断层(图 16)。

#### 4.2 常德—安仁断裂带构造隆起时间

如前文所述,常德—安仁断裂中南段表现为一构造隆起带(复背斜),其中部为冷家溪群和板溪群,两翼为上古生界和少量南华系一下古生界(图 1)。显然,上古生界下伏不整合面卷入了褶皱—隆起变形,因此隆起时间或晚于印支运动时期(中三叠世后期)。在晚三叠世—早侏罗世区域 S-N 向挤压下常德—安仁断裂右行走滑派生的 NWW 向逆断裂——棋梓—乌石断裂横切常德—安仁隆起带,并被印支期 NNE-NE 向的翻江断裂所限(图 11);沿隆起带及近侧充填了以晚三叠世(印支期)为主的多个后碰撞花岗岩体,说明与花岗岩相关的深部剪切生热、逆冲叠置所致地壳加厚增温发生于稍前的印支运动,鉴此,可进一步推断构造隆起形成于中三叠世后期的印支运动。值得指出的是,鉴于常德—安仁断裂倾向 NE,而单纯的走滑活动难以形成如此大

规模的构造隆起,因此笔者推断在印支运动中断裂的深部产生逆冲(斜冲),断裂北东盘大幅抬升而形成 NW 向构造隆起。此外,晚三叠世大规模的花岗质岩浆活动会导致地壳热隆上升,进一步增加了常德—安仁断裂带的隆升幅度。

#### 4.3 地表断裂形迹缺乏的成因

如前文所述,常德—安仁断裂的走滑活动形成了相当规模的 NWW 向隆起带和表露次级断裂如 NWW 向逆断裂、NW 向左行平移断裂和 NEE 向右行平移断裂等,为何作为主导构造的常德—安仁断裂却具隐伏特征,与其走向近一致的 NW 向表露断裂仅局部发育? 这是一个值得深入研究的问题。本文初步认为可能与以下几方面原因有关。

(1) 断裂在冷家溪期为同沉积转换断层,板溪期和南华纪也有伸展活动,但震旦纪—早古生代和晚古生代沉积时期未显示出明显的构造活动。因此,加里东运动和印支运动中,断裂在较深构造层次的冷家溪群、板溪群—南华系中易于产生继承性活动,而在浅部的震旦系一下古生界、上古生界中则不易发生断裂变形。此外,区域上南华系顶部为南沱组(洪江组)块状含砾泥岩、含砾砂质泥岩,而震旦系底部

为金家洞组薄—中层状硅泥质、炭泥质夹少量碳酸锰沉积,导致下部块体中常德—安仁基底隐伏断裂走滑或逆冲时,上部块体(震旦系—古生界)通过底部滑脱来调整与下部块体的空间关系,而上部块体本身不发生断裂活动。

(2) 区域上发育多条 NE-NNE 向大断裂(图 1),其在印支运动和早燕山运动中主要表现为逆断裂,白垩纪—古近纪期间具伸展活动并成为主控盆断裂。这些 NE-NNE 向断裂将 NW 向常德—安仁断裂截切为运动相对独立的若干段(柏道远等,2005),从而减小后者的运移规模,导致基底隐伏断裂难以向上扩展至浅表构造层。

(3) 常德—安仁断裂沿线发育大量花岗岩体和白垩纪—古近纪盆地,即使部分地段发育相对早期的 NW 向表露断裂,也可能被后期盆地叠覆或被花岗岩体吞没而不得见。

## 5 结论

(1) 常德—安仁断裂为一贯穿中、下地壳并切入岩石圈地幔的倾向 NE 的基底隐伏断裂,地质上表现为一 NW 向岩浆隆起带。

(2) 断裂经历了新元古代冷家溪期走滑、冷家溪末期武陵运动中右行走滑、板溪期早期和南华纪早期伸展控相、加里东运动中右行走滑、中三叠世晚期印支运动中左行走滑兼逆冲、晚三叠世—早侏罗世右行走滑、中侏罗世晚期早燕山运动中左行走滑、白垩纪—古近纪伸展等多期构造活动,形成了 NWW 向逆断裂、NWW 向隆起、NW 向左行平移断裂、NEE 向右行平移断裂、NW 向调整断裂(斜滑正断裂)等次级构造。

(3) 常德—安仁断裂在冷家溪期可能为一横切扬子陆块东南缘弧后盆地、岛弧和华南洋的转换断层。

(4) NW 向构造隆起形成于印支运动,晚三叠世大规模花岗岩浆活动进一步增加了隆升幅度。

(5) 常德—安仁断裂具隐伏特征的原因可能有:常德—安仁断裂作为同沉积断裂在冷家溪群—南华系中发育而在震旦系—上古生界中不发育、震旦系底部发育金家洞组软弱滑脱层、多条 NE-NNE 向大断裂将常德—安仁断裂截切为运动相对独立的若干段、断裂沿线发育大量花岗岩体和白垩纪—古近纪盆地等。

致谢:感谢两位匿名审稿人提出宝贵的意见!

## References

- Bai, D.Y., Huang, J.Z., Wang, X.H., et al., 2006. Sinistral Strike-Slip Motion of the NW-Trending Shaoyang-Chenzhou Fault and Genesis of the N-S-Trending Shuikoushan-Xianghualing Tectonic Zone in Hunan. *Geology in China*, 33(1): 56–63 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-3657.2006.01.006>
- Bai, D.Y., Liu, B., Ni Y.J., et al., 2010a. Characteristics of Basin-Controlling Faults, basin Type and Dynamic Mechanisms of the Xiangyin Sag in Northeastern Hunan. *Resources Survey & Environment*, 31(3): 157—168 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3969/j.issn.1671-4814.2010.03.001>
- Bai, D.Y., Jia, B.H., Liu, W., et al., 2010b. Zircon SHRIMP U-Pb Dating of the Igneous Rocks from Chengbu, Hunan: Constraint on the Neoproterozoic Tectonic Evolution of the Jiangnan Orogenic Belt. *Acta Geologica Sinica*, 84(12): 1715—1726 (in Chinese with English abstract).
- Bai, D.Y., Jia, B.H., Wang, X.H., et al., 2013. Kinematics of Tectonic Deformations of the Western Xiangzhong Basin and Its Tectonic Mechanism. *Acta Geologica Sinica*, 87(12): 1791—1802 (in Chinese with English abstract).
- Bai, D.Y., Jia, B.H., Zhong, X., et al., 2012a. Potential Genesis of the Trending Changes of Jinning Period and Caledonian Structural Lineamens in Middle-Southern Hunan. *Journal of Geomechanics*, 18(2): 165—177 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-6616.2012.02.007>
- Bai, D.Y., Jia, B.H., Zhong, X., et al., 2012b. Study on the Deformation of Indosinian Movement in Southeastern Hunan. *Geological Review*, 58(1): 19—29 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.16509/j.georeview.2012.01.012>
- Bai, D.Y., Li, J.Q., Zhou, K.J., et al., 2008. Query of Qiyang E-Type Tectonic System in Hunan. *Geotectonica et Metallogenesis*, 32(3): 265—275 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.16539/j.ddgzyckx.2008.03.004>
- Bai, D. Y., Xiong, Y. W., Wang, X. H., et al., 2005. Y-Type Structure in Anren County, Hunan, and the Sinistral Strike-Slip of Changde-Anren Nw-Trending Fault. *Geotectonica et Metallogenesis*, 29(4): 435—442 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.16539/j.ddgzyckx.2005.04.002>
- Bai, D.Y., Zhong, X., Jia P.Y., et al., 2011. Sedimentary Characteristics, Basin Type and Dynamic Mechanisms during Late Triassic Jurassic in Southeastern Hunan Province. *Journal of Geomechanics*, 17(4): 338—349 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-6616.2011.04.004>

- Bai, D.Y., Zhong, X., Jia, P.Y., et al., 2014. Study on the Deformation in the Southern Xuefeng Orogenic Belt. *Geotectonica et Metallogenesis*, 38(3): 512—529 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.16539/j.ddgzyckx.2014.03.002>
- Bai, D.Y., Zhong, X., Jia, P.Y., et al., 2015. The Zircon SHRIMP U-Pb Dating, Geochemical Characteristics and Tectonic Setting of Caledonian Yuechengling Pluton in the Western Segment of the Nanling Mountains. *Geochimica*, 44(1): 27—42 (in Chinese with English abstract).
- Bai, D.Y., Zhong, X., Jia, P.Y., et al., 2016. Activity History and Tectonic Attribute of Xupu-Jingzhou Fault in Xuefeng Orogenic Belt. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 38(3): 306—317 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-6561.2016.03.002>
- Bai, D.Y., Zhou, L., Ma, T.Q., et al., 2007. Genesis and Tectonic Setting of Indosinian Granites in Southeast Hunan. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 26(3): 197—212 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-6524.2007.03.001>
- Bai, D.Y., Zou, B.W., Zhao, L.H., et al., 2009. Basic Characteristics of the Taihu Thrust System in Eastern Hunan. *Geology in China*, 36(1): 53—64 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-3657.2009.01.003>
- Chen, X., Rong, J.Y., 1999. From Biostratigraphy to Tectonics—With Ordovician and Silurian of South China as an Example. *Geoscience*, 13(4): 385—389 (in Chinese with English abstract).
- Chu, Y., Lin, W., Faure, M., et al., 2012. Phanerozoic Tectonothermal Events of the Xuefengshan Belt, Central South China: Implications from U-Pb Age and Lu-Hf Determinations of Granites. *Lithos*, 150: 243—255. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.04.005>
- Ding, D.G., Guo, T.L., Hu, M.X., et al., 2007. Basement Decoupling Structure in Jiangnan-Xuefeng—Series 1 of the Southern Structure Studies. *Petroleum Geology & Experiment*, 29(2): 120—127, 132 (in Chinese with English abstract).
- Dong, S.W., Zhang, Y.Q., Gao, R., et al., 2015. A Possible Buried Paleoproterozoic Collisional Orogen beneath Central South China: Evidence from Seismic-Reflection Profiling. *Precambrian Research*, 264: 1—10. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2015.04.003>
- Fu, Z.R., Li, Z.J., Zheng, D.Y., 1999. Structural Pattern and Tectonic Evolution of NNE Trending Strike Slip Orogenic Belt in the Border Region of Hunan and Jiangxi Provinces. *Earth Science Frontiers*, 6(4): 263—272 (in Chinese with English abstract).
- Guan, Y.L., Yuan, C., Long, X.P., et al., 2013. Early Paleozoic Intracontinental Orogeny of the Eastern South China Block: Evidence from I-Type Granitic Plutons in the SE Yangtze Block. *Geotectonica et Metallogenesis*, 37(4): 698—720 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.16539/j.ddgzyckx.2013.04.016>
- Guo, F.X., 1998. Meso-Cenozoic Nanhua (South China) Orogenic Belt-Subaerial Tridirectional Orogen. *Acta Geologica Sinica*, 72(1): 22—33 (in Chinese with English abstract).
- Guo, F.X., 1999. Folding of Cover of South China Platform and Its Folding Age. *Geology and Prospecting*, 35(4): 5—7, 11 (in Chinese with English abstract).
- Hao, Y., Li, S.Z., Jin, C., et al., 2010. Caledonian Structural Characteristics and Mechanism in Hunan-Jiangxi-Guangxi Provinces. *Geotectonica et Metallogenesis*, 34(2): 166—180 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.16539/j.ddgzyckx.2010.02.003>
- Hong, D.W., Xie, X.L., Zhang, J.S., 2002. Geological Significance of the Hangzhou-Zhuguangshan-Huashan High-End Granite Belt. *Regional Geology of China*, 21(6): 348—354 (in Chinese with English abstract).
- Hunan Institute of Geology Survey, 2017. The Regional Geology of China, Hunan Province. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Jia, B.H., Peng, H.Q., 2005. Precambrian Geology and Mineralization in Northeastern Hunan. Geological Publishing House, Beijing, 1—138 (in Chinese).
- Jia, B.H., Peng, H.Q., Tang, X.S., et al., 2004. Discovery of the Wenjiashi Ophiolitic Melange Belt in Northeastern Hunan and Its Implications. *Geoscience*, 18(2): 229—236 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-8527.2004.02.013>
- Jin, C., Li, S.Z., Wang, Y.J., et al., 2009. Diachronous and Progressive Deformation during the Indosinian-Yanshanian Movements of the Xuefeng Mountain Intracontinental Composite Tectonic System. *Oil & Gas Geology*, 30(5): 598—607 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3321/j.issn:0253-9985.2009.05.010>
- Lapierre, H., Jahn, B.M., Charvet, J., et al., 1997. Mesozoic Felsic Arc Magmatism and Continental Olivine Tholeites in Zhejiang Province and Their Relationship with the Tectonic Activity in Southeastern China. *Tectonophysics*, 274(4): 321—338. [https://doi.org/10.1016/s0040-1951\(97\)00009-7](https://doi.org/10.1016/s0040-1951(97)00009-7)
- Li, J.W., Li, X.F., Li, Z.J., et al., 1999. Fluid Inclusions Study in the Process of Strike Slip Faulting—A Case Study in Eastern Hunan Province. *Geotectonica et Metallogenesis*, 23(3): 240—247 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.16539/j.ddgzyckx.1999.03.006>

- Li, S.Z., Wang, T., Jin, C., et al., 2011. Features and Causes of Indosinian Intracontinental Structures in the Xuefengshan Precambrian Basement and Its Neighboring Regions. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 41(1): 93—105 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.13278/j.cnki.jjuese.2011.01.003>
- Li, X.F., Li, J.W., Fu, Z.R., 1999. Uranium Mineralization Related to Strike-Slip Faults, Lujing Orefield, Border Region between Eastern Hunan and Western Jiangxi. *Earth Science*, 24(5): 476—479 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3321/j.issn:1000-2383.1999.05.008>
- Li, X. F., Yan, T. Z., Fu, Z. R., 2000. Relationship between NEN-Trending Active Strike-Slip Faults and Earthquake Hot Spring Distribution in Eastern Hunan and Western Jiangxi, China. *Journal of Geomechanics*, 6(4): 73—78 (in Chinese with English abstract).
- Li, X.H., 2000. Cretaceous Magmatism and Lithospheric Extension in Southeast China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(3): 293—305. [https://doi.org/10.1016/s1367-9120\(99\)00060-7](https://doi.org/10.1016/s1367-9120(99)00060-7)
- Li, Z.X., Li, X.H., 2007. Formation of the 1 300-km-Wide Intracontinental Orogen and Postorogenic Magmatic Province in Mesozoic South China: A Flat-Slab Subduction Model. *Geology*, 35(2): 179—182. <https://doi.org/10.1130/g23193a.1>
- Lin, W.P., Qiu, Z.L., Dong, B., et al., 2011. Geochemistry and U-Pb Dating of Heavy Mineral Zircons and their Significance in Lamproites and Associated Rocks from Ningxiang, Hunan Province. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 50(3): 105—111 (in Chinese with English abstract).
- Liu, K., Mao, J.R., Zhao, X. L., et al., 2014. Geological and Geochemical Characteristics and Genetic Significance of the Ziyunshan Pluton in Hunan Province. *Acta Geologica Sinica*, 88(2): 208—227 (in Chinese with English abstract).
- Liu, R., Zhang, L., Zhou, H. W., et al., 2008. Petrogenesis of the Caledonian Migmatites and Related Granites in Northwestern Fujian Province, South China: Syn-Deformational Crustal Anatexis. *Acta Petrologica Sinica*, 24(6): 1205—1222 (in Chinese with English abstract).
- Mao, J.R., Takahashi, Y., Kee, W.S., et al., 2011. Characteristics and Geodynamic Evolution of Indosinian Magmatism in South China: A Case Study of the Guikeng Pluton. *Lithos*, 127(3/4): 535—551. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2011.09.011>
- Peng, H. Q., Wu, G. Y., 2000. Determination of "Dayishan-Style Structure" in Southern Hunan and Its Geological Significance. *Hunan Geology*, 19(2): 87—89 (in Chinese with English abstract).
- Qiu, X.Q., Liu, Y.S., 2003. Characteristics of the Chenzhou-Shaoyang Strike-Slip Tectonomagmatic Belt and Its Ore-Controlling Significance, Hunan. *Geology and Mineral Resources of South China*, 19(4): 56—59 (in Chinese with English abstract).
- Qiu, Y.X., Zhang, Y.C., Ma, W.P., 1998. Tectonics and Geological Evolution of Xuefeng Intra-Continental Orogen, South China. *Geological Journal of China Universities*, 44(4): 432—443 (in Chinese with English abstract).
- Qiu, Y.X., Zhang, Y.C., Ma, W.P., 1999. Tectonics and Geological Evolution of Xuefengshan: A Mode for the Forming and Evolution of Intra-Continental Orogen. Geological Publishing House, Beijing, 1—155 (in Chinese).
- Rao, J.R., 1999. Deep Structural Geology Setting and Metallogenetic Forecasting of Primary Diamond in Hunan. *Hunan Geology*, 18(1): 21—28 (in Chinese with English abstract).
- Rao, J. R., Wang, J. H., Cao, Y. Z., 1993. Deep Structure in Hunan. *Hunan Geology*, 12(S1): 2—3 (in Chinese with English abstract).
- Ren, J.S., 1984. The Indosinian Orogeny and Its Significance in the Tectonic Evolution of China. *Bulletin of the Chinese Academy of the Geological sciences*, 5(2): 31—44 (in Chinese with English abstract).
- Ren, J.S., 1990. On the Geotectonics of Southern China. *Acta Geological Sinica*, 64(4): 275—288 (in Chinese with English abstract).
- Ren, J. Y., Tamaki, K., Li, S. T., et al., 2002. Late Mesozoic and Cenozoic Rifting and Its Dynamic Setting in Eastern China and Adjacent Areas. *Tectonophysics*, 344(3/4): 175—205. [https://doi.org/10.1016/s0040-1951\(01\)00271-2](https://doi.org/10.1016/s0040-1951(01)00271-2)
- Rong, J.Y., Zhan, R. B., Xu, H. G., et al., 2010. Expansion of the Cathaysian Oldland through the Ordovician-Silurian Transition: Emerging Evidence and Possible Dynamics. *Science in China (Series D)*, 53(1): 1—17. <https://doi.org/10.1007/s11430-010-0005-3>
- Shu, L. S., Zhou, X. M., 2002. Late Mesozoic Tectonism of Southeast China. *Geological Review*, 48(3): 249—260 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.16509/j.georeview.2002.03.005>
- Shu, L. S., Zhou, X. M., Deng, P., et al., 2004. Geological Features and Tectonic Evolution of Meso-Cenozoic Basins in Southeastern China. *Regional Geology of China*, 23(9): 876—884 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3969/j.issn.1671-2552.2004.09.008>
- Shu, L. S., Zhou, X. M., Deng, P., et al., 2006. Principal Geological Features of Nanling Tectonic Belt, South China. *Geological Review*, 52(2): 251—265 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.16509/j.georeview.2006.02.017>
- Shu, X.J., Wang, X. L., Sun, T., et al., 2013. Crustal Forma-

- tion in the Nanling Range, South China Block: Hf Isotope Evidence of Zircons from Phanerozoic Granitoids. *Journal of Asian Earth Sciences*, 74: 210 – 224. <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2013.01.016>
- Shui, T., 1987. Tectonic Framework of Basement in Southeast China Continental Area. *Science in China (Series B)*, 17 (4): 414 – 422 (in Chinese).
- Uyeda, S., Kanamori, H., 1979. Back-Arc Opening and the Mode of Subduction. *Journal of Geophysical Research*, 84 (B3): 1049 – 1061. <https://doi.org/10.1029/jb084ib03p01049>
- Wan, T. F., Zhu, H., 2002. Tectonics and Environment Change of Meso-Cenozoic in China Continent and Its Adjacent Areas. *Geoscience*, 16 (2): 107 – 118 (in Chinese with English abstract).
- Wan, Y.S., Liu, D.Y., Wilde, S.A., et al., 2010. Evolution of the Yunkai Terrane, South China: Evidence from SHRIMP Zircon U-Pb Dating, Geochemistry and Nd Isotope. *Journal of Asian Earth Sciences*, 37 (2): 140 – 153. <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2009.08.002>
- Wang, G.J., Teng, J.W., Zhang, Z.J., 2000. The Continental Structure Pattern of South China and Its Marginal Regions. *Progress in Geophysics*, 15 (3): 25 – 44 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-2903.2000.03.004>
- Wang, J., Li, S.Z., Jin, C., et al., 2010. Dome- and-Basin Pattern in Central Hunan Province: Stages and Genesis of Fold Superposition. *Geotectonica et Metallogenia*, 34 (2): 159 – 165 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.16539/j.ddgzyckx.2010.02.002>
- Wang, J., Pan, G.T., 2009. Neoproterozoic South China Palaeocontinents: An Overview. *Acta Sedimentologica Sinica*, 27 (5): 818 – 825 (in Chinese with English abstract).
- Wang, P.M., Yu, J.H., Sun, T., et al., 2012. Geochemistry and Detrital Zircon Geochronology of Neoproterozoic Sedimentary Rocks in Eastern Hunan Province and Their Tectonic Significance. *Acta Petrologica Sinica*, 28 (12): 3841 – 3857 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X.C., Li, X.H., Li, W.X., et al., 2007c. Ca.825 Ma Komatiitic Basalts in South China: First Evidence for  $>1500^{\circ}\text{C}$  Mantle Melts by a Rodinian Mantle Plume. *Geology*, 35 (12): 1103 – 1106. <https://doi.org/10.1130/g23878a.1>
- Wang, X.L., Zhou, J.C., Qiu, J.S., et al., 2003. Geochemistry of the Meso-Neoproterozoic Volcanic-Intrusive Rocks from Hunan Province and Its Petrogenic Significances. *Acta Petrologica Sinica*, 19 (1): 49 – 60 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y.J., Fan, W.M., Sun, M., et al., 2007b. Geochronological, Geochemical and Geothermal Constraints on Petrogenesis of the Indosinian Peraluminous Granites in the South China Block: A Case Study in the Hunan Province. *Lithos*, 96 (34): 475 – 502. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2006.11.010>
- Wang, Y.J., Fan, W.M., Zhao, G.C., et al., 2007a. Zircon U-Pb Geochronology of Gneissic Rocks in the Yunkai Massif and its Implications on the Caledonian Event in the South China Block. *Gondwana Research*, 12 (4): 404 – 416. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2006.10.003>
- Wang, Y.J., Zhang, Y.H., Fan, W.M., et al., 2005. Structural Signatures and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Geochronology of the Indosinian Xuefengshan Tectonic Belt, South China Block. *Journal of Structural Geology*, 27 (6): 985 – 998. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2005.04.004>
- Watson, M.P., Hayward, A.B., Parkinson, D.N., et al., 1987. Plate Tectonic History, Basin Development and Petroleum Source Rock Deposition Onshore China. *Marine and Petroleum Geology*, 4 (3): 205 – 225. [https://doi.org/10.1016/0264-8172\(87\)90045-6](https://doi.org/10.1016/0264-8172(87)90045-6)
- Xu, X.B., Zhang, Y.Q., Jia, D., et al., 2009. Early Mesozoic Geotectonic Processes in South China. *Geology in China*, 36 (3): 573 – 593 (in Chinese with English abstract).
- Yan, D.P., Zhou, M.F., Song, H.L., et al., 2003. Origin and Tectonic Significance of a Mesozoic Multi-Layer Over-Thrust System within the Yangtze Block (South China). *Tectonophysics*, 361 (3/4): 239 – 254. [https://doi.org/10.1016/s0040-1951\(02\)00646-7](https://doi.org/10.1016/s0040-1951(02)00646-7)
- Yang, M.G., Huang, S.B., Lou, F.S., et al., 2009. Lithospheric Structure and Large-Scale Metallogenetic Process in Southeast China Continental Area. *Geology in China*, 36 (3): 528 – 543 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-3657.2009.03.004>
- Yin, A., Harrison, T.M., 2000. Geologic Evolution of the Himalayan-Tibetan Orogen. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 28 (1): 211 – 280. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.28.1.211>
- Zeng, R.Y., Lai, J.Q., Zhang, L.J., et al., 2016. Petrogenesis of Mafic Microgranular Enclaves: Evidence from Petrography, Whole-Rock and Mineral Chemistry of Ziyunshan Pluton, Central Hunan. *Earth Science*, 41 (9): 1461 – 1478 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2016.512>
- Zhang, F.F., Wang, Y.J., Zhang, A.M., et al., 2012. Geochronological and Geochemical Constraints on the Petrogenesis of Middle Paleozoic (Kwangssian) Massive Granites in the Eastern South China Block. *Lithos*, 150: 188 – 208. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.03.011>
- Zhang, G.W., Guo, A.L., Dong, Y.P., et al., 2011. Continental

- Geology, Tectonics and Dynamics. *Earth Science Frontiers*, 18(3): 1—12 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, G.W., Guo, A.L., Wang, Y.J., et al., 2013. Tectonics of South China Continent and its Implications. *Science China Earth Sciences*, 43 (10): 1553—1582 (in Chinese). <https://doi.org/10.1007/s11430-013-4679-1>
- Zhang, S. H., Jiang, G. Q., Dong, J., et al., 2008. New Zircon SHRIMP U-Pb Dating of Wuqiangxi Formation of Banxi Group in South China and Its Geological Significance. *Science in China (Series D)*, 38(12): 1496—1503 (in Chinese).
- Zhang, W. L., Wang, R. C., Lei, Z. H., et al., 2011. Zircon U-Pb Dating Confirms Existence of a Caledonian Scheelite-Bearing Aplitic Vein in the Penggongmiao Granite Batholith, South Hunan. *Chinese Science Bulletin*, 56 (19): 2031—2036. <https://doi.org/10.1007/s11434-011-4526-8>
- Zhang, Y.Q., Xu, X.B., Jia, D., et al., 2009. Deformation Record of the Change from Indosinian Collision-Related Tectonic System to Yanshanian Subduction-Related Tectonic System in South China during the Early Mesozoic. *Earth Science Frontiers*, 16(1): 234—247 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, K.D., Jiang, S.Y., Chen, W.F., et al., 2013. Zircon U-Pb Chronology and Elemental and Sr-Nd-Hf Isotope Geochemistry of Two Triassic A-Type Granites in South China: Implication for Petrogenesis and Indosinian Transtensional Tectonism. *Lithos*, 160—161: 292—306. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.11.001>
- Zhou J.C., Wang, X. L., Qiu J.S., et al., 2003. The Discovery of Nanqiao Highly Depleted N-MORB and Geological Significance. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 22 (3): 211—216 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-6524.2003.03.001>
- Zhou, Q., Du, Y.S., Yuan, L.J., et al., 2016. The Structure of the Wuling Rift Basin and Its Control on the Manganese Deposit during the Nanhua Period in Guizhou-Hunan-Chongqing Border Area, South China. *Earth Science*, 41 (2): 177—188 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, X.M., Li, W.X., 2000. Origin of Late Mesozoic Igneous Rocks in Southeastern China: Implications for Lithosphere Subduction and Underplating of Mafic Magmas. *Tectonophysics*, 326 (3/4): 269—287. [https://doi.org/10.1016/s0040-1951\(00\)00120-7](https://doi.org/10.1016/s0040-1951(00)00120-7)
- Zhou, X.M., Sun, T., Shen, W.Z., et al., 2006. Petrogenesis of Mesozoic Granitoids and Volcanic Rocks in South China: A Response to Tectonic Evolution. *Episodes*, 29(1): 26—33.
- 旋走滑暨水口山—香花岭南北向构造成因.中国地质, 33(1): 56—63.
- 柏道远, 刘波, 倪艳军, 等, 2010a. 湘东北湘阴凹陷控盆断裂特征、盆地性质及动力机制研究. 资源调查与环境, 31 (3): 157—168.
- 柏道远, 贾宝华, 刘伟, 等, 2010b. 湖南城步火成岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其对江南造山带新元古代构造演化的约束. 地质学报, 84(12): 1715—1726.
- 柏道远, 贾宝华, 王先辉, 等, 2013. 湘中盆地西部构造变形的运动学特征及成因机制. 地质学报, 87 (12): 1791—1802.
- 柏道远, 贾宝华, 钟响, 等, 2012a. 湘中南晋宁期和加里东期构造线走向变化成因. 地质力学学报, 18 (2): 165—177.
- 柏道远, 贾宝华, 钟响, 等, 2012b. 湘东南印支运动变形特征研究. 地质论评, 58(1): 19—29.
- 柏道远, 李建清, 周柯军, 等, 2008. 郴阳山字型构造质疑. 大地构造与成矿学, 32(3): 265—275.
- 柏道远, 熊延望, 王先辉, 等, 2005. 湖南常德—安仁 NW 向断裂左旋走滑与安仁“Y”字型构造. 大地构造与成矿学, 29(4): 435—442.
- 柏道远, 钟响, 贾朋远, 等, 2011. 湘东南晚三叠世—侏罗纪沉积特征及盆地性质和成因机制. 地质力学学报, 17(4): 338—349.
- 柏道远, 钟响, 贾朋远, 等, 2014. 雪峰造山带南段构造变形研究. 大地构造与成矿学, 38(3): 512—529.
- 柏道远, 钟响, 贾朋远, 等, 2015. 南岭西段加里东期越城岭岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄、地质地球化学特征及其形成构造背景. 地球化学, 44(1): 27—42.
- 柏道远, 钟响, 贾朋远, 等, 2016. 雪峰造山带溆浦—靖州断裂活动历史及构造属性. 地球科学与环境学报, 38 (3): 306—317.
- 柏道远, 周亮, 马铁球, 等, 2007. 湘东南印支期花岗岩成因及构造背景. 岩石矿物学杂志, 26(3): 197—212.
- 柏道远, 邹宾微, 赵龙辉, 等, 2009. 湘东太湖逆冲推覆构造基本特征研究. 中国地质, 36(1): 53—64.
- 陈旭, 戎嘉余, 1999. 从生物地层学到大地构造学——以华南奥陶系和志留系为例. 现代地质, 13(4): 385—389.
- 丁道桂, 郭彤楼, 胡明霞, 等, 2007. 论江南—雪峰基底拆离式构造——南方构造问题之一. 石油实验地质, 29 (2): 120—127, 132.
- 傅昭仁, 李紫金, 郑大瑜, 1999. 湘赣边区 NNE 向走滑造山带构造发展样式. 地学前缘, 6(4): 263—272.
- 关义立, 袁超, 龙晓平, 等, 2013. 华南地块东部早古生代的陆内造山作用: 来自 I 型花岗岩的启示. 大地构造与成矿学, 37(4): 698—720.
- 郭福祥, 1998. 中国南方中新生代大地构造属性和南华造山带褶皱过程. 地质学报, 72(1): 22—33.

## 附中文参考文献

柏道远, 黄建中, 王先辉, 等, 2006. 湖南邵阳—郴州北西向左

- 郭福祥,1999.华南地台盖层褶皱及其形成时期研究.地质与勘探,35(4): 5—7, 11.
- 郝义,李三忠,金宠,等,2010.湘赣桂地区加里东期构造变形特征及成因分析.大地构造与成矿学,34(2): 166—180.
- 洪大卫,谢锡林,张季生,2002.试析杭州—诸广山—花山高 $\epsilon_{\text{Nd}}$ 值花岗岩带的地质意义.地质通报,21(6): 348—354.
- 湖南省地质调查院,2017.中国区域地质志8 湖南志[北京].地质出版社.
- 贾宝华,彭和求,唐晓珊,等,2004.湘东北文家市蛇绿混杂岩带的发现及意义.现代地质,18(2): 229—236.
- 贾宝华,彭和球,2005.湘东北前寒武纪地质与成矿.北京:地质出版社,1—138.
- 金宠,李三忠,王岳军,等,2009.雪峰山陆内复合构造系统印支—燕山期构造穿时递进特征.石油与天然气,30(5): 598—607.
- 李建威,李先福,李紫金,等,1999.走滑变形过程中的流体包裹体研究——以湘东地区为例.大地构造与成矿,23(3): 240—247.
- 李三忠,王涛,金宠,等,2011.雪峰山基底隆升带及其邻区印支期陆内构造特征与成因.吉林大学学报(地球科学版),41(1): 93—105.
- 李先福,李建威,傅昭仁,1999.湘赣边鹿井矿田与走滑断层有关的铀矿化作用.地球科学,24(5): 476—479.
- 李先福,晏同珍,傅昭仁,2000.湘东—赣西 NNE 向走滑断裂与地震、地热的关系.地质力学学报,6(4): 73—78.
- 林玮鹏,丘志力,董斌,等,2011.湖南宁乡钾镁煌斑岩及相关岩石重砂锆石地球化学特征、U-Pb 年龄及其地质意义.中山大学学报(自然科学版),50(3): 105—111.
- 刘凯,毛建仁,赵希林,等,2014.湖南紫云山岩体的地质地球化学特征及其成因意义.地质学报,88(2): 208—227.
- 刘锐,张利,周汉文,等,2008.闽西北加里东期混合岩及花岗岩的成因:同变形地壳深熔作用.岩石学报,24(6): 1205—1222.
- 彭和求,伍光英,2000.湘南“大义山”式构造的厘定和地质意义.湖南地质,19(2): 87—89.
- 丘元禧,张渝昌,马文璞,1998.雪峰山陆内造山带的构造特征与演化.高校地质学报,44(4): 432—443.
- 丘元禧,张渝昌,马文璞,1999.雪峰山的构造性质与演化:一个陆内造山带的形成与演化模式.北京:地质出版社,1—155.
- 邱先前,刘阳生,2003.湖南郴州—邵阳走滑构造岩浆岩带及其控矿意义.华南地质与矿产,19(4): 56—59.
- 饶家荣,1999.湖南原生金刚石矿深部构造地质背景及成矿预测.湖南地质,18(1): 21—28.
- 饶家荣,王纪恒,曹一中,1993.湖南深部构造.湖南地质,12(S1): 2—3.
- 任纪舜,1984.印支运动及其在中国大地构造演化中的意义.中国地质科学院院报,5(2): 31—44.
- 任纪舜,1990.论中国南部的大地构造.地质学报,64(4): 275—288.
- 舒良树,周新民,2002.中国东南部晚中生代构造作用.地质论评,48(3): 249—260.<https://doi.org/10.16509/j.georeview.2002.03.005>
- 舒良树,周新民,邓平,等,2004.中国东南部中、新生代盆地特征与构造演化.地质通报,23(9): 876—884.
- 舒良树,周新民,邓平,等,2006.南岭构造带的基本地质特征.地质论评,52(2): 251—265.
- 水涛,1987.中国东南大陆基底构造格局.中国科学(B辑),17(4): 414—422.
- 万天丰,朱鸿,2002.中国大陆及邻区中生代—新生代大地构造与环境变迁.现代地质,16(2): 107—118.
- 王光杰,滕吉文,张中杰,2000.中国华南大陆及陆缘地带的大地构造基本格局.地球物理学进展,15(3): 25—44.
- 王建,李三忠,金宠,等,2010.湘中地区穹盆构造:褶皱叠加期次和成因.大地构造与成矿学,34(2): 159—165.
- 王剑,潘桂棠,2009.中国南方古大陆研究进展与问题评述.沉积学报,27(5): 818—825.
- 王鹏鸣,于津海,孙涛,等,2012.湘东新元古代沉积岩的地球化学和碎屑锆石年代学特征及其构造意义.岩石学报,28(12): 3841—3857.
- 王孝磊,周金城,邱检生,等,2003.湖南中—新元古代火山—侵入岩地球化学及成因意义.岩石学报,19(1): 49—60.
- 徐先兵,张岳桥,贾东,等,2009.华南早中生代大地构造过程.中国地质,36(3): 573—593.
- 杨明桂,黄水保,楼法生,等,2009.中国东南陆区岩石圈结构与大规模成矿作用.中国地质,36(3): 528—543.
- 曾认宇,赖健清,张利军,等,2016.湘中紫云山岩体暗色微粒包体的成因:岩相学、全岩及矿物地球化学证据.地球科学,41(9): 1461—1478.
- 张国伟,郭安林,董云鹏,等,2011.大陆地质与大陆构造和大陆动力学.地学前缘,18(3): 1—12.
- 张国伟,郭安林,王岳军,等,2013.中国华南大陆构造与问题.中国科学(D辑),43(10): 1553—1582.
- 张世红,蒋干清,董进,等,2008.华南板溪群五强溪组 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学新结果及其构造地层意义.中国科学(D辑),38(12): 1496—1503.
- 张岳桥,徐先兵,贾东,等,2009.华南早中生代从印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造体系转换的形变记录.地学前缘,16(1): 234—247.
- 周金城,王孝磊,邱检生,等,2003.南桥高度亏损 N-MORB 的发现及其地质意义.岩石矿物学杂志,22(3): 211—216.
- 周琦,杜远生,袁良军,等,2016.黔湘渝毗邻区南华纪武陵裂谷盆地结构及其对锰矿的控制作用.地球科学,41(2): 177—188.