

doi: 10.3969/j.issn.1007-3701.2015.04.001

雪峰造山带及邻区构造变形和构造演化研究新进展

柏道远, 钟 响, 贾朋远, 熊 雄, 黄文义, 姜 文

BAI Dao-Yuan, ZHONG Xiang, JIA Peng-Yuan, XIONG Xiong, HUANG Wen-Yi, JIANG Wen

(湖南省地质调查院, 长沙 410016)

(Hunan Institute of Geology Survey, Changsha 410016)

摘要:雪峰造山带位于江南造山带西南段,呈自南往北由 NNE→NE→EW 向的弧形展布。笔者近几年来在区域地质调查和有关基础地质研究项目实施过程中,针对雪峰造山带及邻区构造变形和构造演化方面存在的若干地质问题进行了调查研究,取得以下主要新的认识或进展。(1)于雪峰造山带中段东部地区发现新的变形类型即大型膝褶带;造山带南段—中段在加里东期和早中生代均在 NW—NWW 向挤压下发生过显著的构造变形和隆升;溆浦—靖州断裂东、西两侧分别为区域雪峰推覆构造的根带和中带,变形强度以该断裂为界东强西弱;南段—中段东部在加里东运动和早中生代构造运动中均具有背冲构造样式,但早中生代背冲构造的中轴相对加里东期向西迁移 20~25km 以上。雪峰造山带北段西部也具背冲构造样式,加里东期逆冲推覆强度和隆升幅度明显大于南段—中段,暗示加里东运动区域挤压应力方向为 SN 向。(2)前人于沅麻盆地东部及东侧外围地区厘定的多个“飞来峰”实为与逆冲断裂和正断裂有关的断夹块。(3)沅麻盆地中生代经历了中三叠世晚期印支运动中区 NW—NWW 向挤压、晚三叠世—早侏罗世区域 SN 向挤压、中侏罗世晚期早燕山运动中 NWW—近 EW 向挤压、早白垩世区域 NW-SE 向伸展、晚白垩世 SN 向伸展、古近纪中晚期 NE 向挤压以及古近纪末—新近纪初 NW 向挤压等 7 期构造事件,其中多数事件在靖州盆地断裂与节理变形中同样得到反映。(4)详细的构造解析确证湘东南印支运动挤压应力方向为 NWW 向、构造线走向为 NNE 向,否定了近年来部分研究者提出的该地区 SN 向挤压观点。(5)湘中盆地西部构造变形的运动学特征为自北西向南东逆冲,而不是前人所认为的自南东向北西逆冲;盆地西部向 SE 逆冲主要与雪峰造山带东缘向 SE 逆冲以及城步—新化岩石圈断裂向西俯冲有关。(6)雪峰造山带以西、齐岳山断裂以东褶皱带内的桑植—石门复向斜具“复杂褶皱”样式,沿河地区褶皱为典型隔槽式褶皱;提出褶皱变形主要受区域水平挤压作用下原地基底和盖层的收缩及其导生的滑脱和逆冲控制,这一新的模型可以较好地解释前人雪峰西推模型难以解释的几个重要地质事实。(7)新元古代中期雪峰造山带经历了 880~820Ma 的岛弧岩浆作用、820~810Ma 的弧—陆碰撞、810~800Ma 的后碰撞以及 800~630Ma 的裂谷盆地等 4 阶段演化过程,其中裂谷盆地早期板溪期和晚期南华冰期的界线年龄为 720Ma,而不是一般认为的 780Ma 或 760Ma。(8)钦杭结合带对应于武陵期古华南洋,湖南境内该带与扬子陆块的分界可能沿浏阳南桥—新化—隆回—城步一线(浏阳—城步汇聚带),与华夏陆块分界可能沿川口—常宁—双牌一线(川口—双牌汇聚带)。(9)雪峰造山带及其东侧加里东期花岗岩为后碰撞 S 型花岗岩,可分为早志留世(约 430~445Ma)和志留纪末—泥盆纪初(410Ma 左右)两期,分别与奥陶纪末—志留纪初的北流运动和志留纪后期的广西运动有关;城步—新化断裂以东经历了北流运动和广西运动两期变形及早、晚两期花岗质岩浆活动,断裂以西仅经历广西运动变形及晚期花岗质岩浆活动;城步—新化断裂以东志留系的缺失为沉积缺失。(10)印支期花岗岩主体为晚三叠世后碰撞 S 型花岗岩,与中三叠世后期印支运动陆内强挤压变形有关,表明印支运动强度不大的观点难以成立。(11)湘东南晚三叠—早侏罗世盆地不是前人所认为的挤压类前陆盆地,而是区域 SN 向挤压下先期(印支运动)NNE 向断裂产生 EW 方向伸展形成的拉张盆地;晚三叠世—中侏罗世靖州盆地是挤压类前陆盆地,而不是前人所认为的走滑拉分盆地。

关键词:雪峰造山带及邻区;构造变形;动力机制;新元古代;钦杭结合带;花岗岩;加里东运动;中生代盆地性质

中图分类号: P548

文献标识码: A

文章编号: 1007-3701(2015)04-321-23

收稿日期: 2015-11-10; **修回日期:** 2015-11-23.

基金项目: 中国地质调查局“湖南 1:25 万武冈市和永州市幅区调修测”项目(1212011120793),中上扬子重点地区(雪峰山)构造演化及其与油气关系研究(1212011220750-02),湖南省地质系列图件编制与综合研究(1212011120125).

第一作者: 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, E-mail:daoyuanbai@sina.com.

Bai D Y, Zhong X, Jia P Y, Xiong X, Huang W Y and Jiang W. Progresses in the deformations and tectonic evolutions of the Xuefeng Orogenic Belt and its adjacent areas. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2015, 31(4):321–343

Abstract: The Xuefeng Orogenic Belt (XOB) is located in the southwestern segment of Jiangnan Orogenic Belt and shows arc trending of NNE→NE→EW from south to north. In recent years the authors studied on the geology problems of the deformations and tectonic evolutions of the Xuefeng Orogenic Belt and its adjacent areas in regional geological survey and research projects and reached the following progresses: (1) Large kink zones were discovered in the east part of the middle segment of XOB. In the southern–middle segment of XOB, there existed notable compressional deformations and uplifts with NW to NWW compression in both Caledonian movement and Early Mesozoic tectonic movements. The southern–middle segment of XOB can be divided into the eastern and western zones by the Xupu–Jingzhou Fault, and they were the root and middle zone of the Xuefeng thrust system with strong and weak deformations respectively. There existed back thrusts in both Caledonian event and Early Mesozoic tectonic events in the east zone of southern–middle XOB, however, the axis of the back thrust in the Early Mesozoic shifted about 20 to 25 km westwards. In the northern segment of XOB, there existed back–thrust structures and stronger thrusting, thickening and uplift relative to southern–middle XOB, which suggest the Caledonian regional N–S compression. (2) The so-called "klippes" defined by previous researchers and located in the eastern basin and east periphery of the Yuanling–Mayang basin are faulted blocks with deep roots in fact and are related with the movement of thrust faults and normal faults. (3) The Yuanma basin underwent seven Meso–Cenozoic tectonic events such as regional NW to NWW compression in late Middle Trias Indosinian Movement, regional N–S compression during Late Trias–Early Jurassic, regional NWW to E–W compression in late Middle Jurassic Yanshanian Movement, regional NW–SE extension in Early Cretaceous, regional N–S extension in Late Cretaceous, regional NE compression during middle–late Paleogene and regional NW compression during late Paleogene–early Neogene. Of these, most events are reflected in the faults and joints in the Jinzhou basin. (4) Detailed structure analysis indicate that the lineament trend of Indosinian Movement in southeastern Hunan was NNE but not E–W, and accordingly the regional compressional stress was NWW but not N–S proposed by some researchers. (5) The thrusting directions of western Xiangzhong basin are SE but not the NW direction proposed by previous studies. Our study suggests that the SE–thrusting of the western Xiangzhong basin is related with the SE–thrusting of east periphery of XOB, and with the NW–subduction of Chengbu–Xinhua lithospheric fault. (6) Of the fold belt to east of the Qiyueshan Fault and to west of XOB, the folds in the Sangzhi–Shimei synclinorium possess "complex fold" type, and the folds in the Yuanhe area are typical trough–like folds. The folds were mainly controlled by the whole horizontal contraction of autochthon including folded basement and cover in regional compressional regime, and by the resultant thrusting and detachment. The new deformation mechanism model can explain some important geological facts which cannot be explained by the former "Xuefeng pushing–westward model". (7) Four stages of middle Neoproterozoic tectonic evolution of XOB may be distinguished; from early to late times they are island–arc magmatism during 880 ~ 820 Ma, arc–continental collision during 820 ~ 810 Ma, post–collision during 810 ~ 800 Ma and rift basin during 800 ~ 630 Ma. Of the rift basin stage, the boundary age between Banxi Period and Nanhua is 720 Ma but not 780 Ma or 760 Ma. (8) The Qinzhou–Hangzhou juncture corresponds to the ancient Southern China Ocean in Wuling Period, and the

boundary between Qinzhou–Hangzhou juncture and Yangtze block in Hunan province might extends along Nanqiao–Xinhua–Longhui–Chengbu, the boundary between the juncture and Cathaysian block extends along Chuankou–Changning–Shuangpai. (9) The Caledonian granites in XOB and to the east of XOB are post–collisional S–type granitoid, and can be divided into two periods of Early Silurian (430 ~ 445 Ma) and late Silurian to early Devonian (about 410 Ma) which are related with Beiliu Movement and Guangxi Movement respectively. There existed two stage deformations of Beiliu Movement and Guangxi Movement and two stage granitic magmatisms in the area to the east of the Chengbu–Xinhua Fault, while there existed only deformation of Guangxi Movement and late stage granitic magmatism to the west of the fault. The Silurian absence to the east of Chengbu–Xinhua Fault was deposition loss. (10) The Indosinian granites are mainly composed of Late Triassic post–collisional S–type granitoid related with the strong compressional deformation in late Middle Triassic. (11) The Late Triassic–Jurassic basin in southeastern Hunan wasn’t a para–foreland depressive basin as former cognition but rather a extensional basin related with the E–W–extension of NNE–trending faults under regional N–S–compressional stress field. The Late Trias–Middle Jurassic Jinzhou basin is a compressional quasi–foreland basin but not a pull–apart extensional basin as former cognition.

Key words: Xuefeng Orogenic Belt and its adjacent areas; deformation; dynamic mechanisms; Neoproterozoic; Qinzhou–Hangzhou juncture; granite; Caledonian Movement; Mesozoic basin type

雪峰造山带位于江南造山带西南段,其构造演化特征长期以来一直备受地学研究者关注^[1-12]。目前,在雪峰造山带构造演化过程、构造变形特征等方面仍存在不少认识分歧,具体如:关于雪峰(江南)造山带的形成或隆起时代有元古代^[13]、加里东期^[14]、早中生代^[6,15-17]以及加里东期和早中生代构造叠加^[8,18-19]等多种观点;关于雪峰造山带变形时代,丘元禧等^[8]、丁道桂等^[15-16]强调印支–燕山运动期间向西的逆冲并认为雪峰山不存在加里东运动的角度不整合,但张进等^[14]认为雪峰造山带中南段构造变形发生在早古生代(加里东运动),早中生代构造运动主要表现为燕山期的左行走滑;江南(雪峰)造山带新元古代地质背景和构造演化的研究深度和水平有极大提高,但关于其动力学背景仍存在较大认识分歧,李献华等^[20]提出了从造山运动到陆内裂谷的地球动力学演化模型并特别强调约 825 Ma 至 760 Ma 期间地幔柱活动的作用,周金城等^[21]则构建了江南造山带自 866 Ma 前至 760 Ma 左右期间由俯冲(岛弧)→碰撞→后造山伸展的构造演化框架;关于造山带内部沅麻盆地、靖州盆地等中生代陆相盆地的成因,存在挤压相关前陆盆地^[17]、中生代前陆盆地转为新生代走滑拉分盆地^[22]、早期前陆盆地转为晚期断陷盆地^[8]、推覆作用之后后缘拉张形成

的断陷盆地^[15]、早中生代期间前陆盆地与走滑拉分盆地存在于雪峰造山带不同地段^[23]等不同观点。

就空间关系和地质作用与雪峰造山带密切相关的邻区而言,同样存在一些有待回答的地质问题或有待进一步研究解决的地质争议。如钦杭结合带在湖南境内的走向存在茶陵–郴州断裂^[24-25]、长沙–浏阳–桃江–城步^[26]、安化–溆浦–靖州断裂^[27]等多种看法;NNE 向城步–新化大断裂西侧发育志留系而东侧无出露^[28],东侧志留系缺失的成因(沉积缺失还是后期剥蚀所致?)至今尚无人研究;关于区域印支运动的特征及构造线走向,或强调印支运动的强度并认为其形成了上古生界 NNE 向褶皱^[8,15,29-32],或认为印支运动强度不大、上古生界 NNE 向主体褶皱形成于燕山运动甚至更晚^[33-36];对于雪峰造山带东南侧湘中盆地西部上古生界的褶皱和断裂构造,一般认为受控于自南东向北西的逆冲推覆^[30-31,37-39],但此与雪峰造山带东南缘向东逆冲^[30,40]难以协调,因此是否如此有待检验;关于雪峰造山带西侧地区隔槽式褶皱成因,存在雪峰基底向西推覆^[41-42]、基底卷入和盖层滑脱^[43]、沿盖层间滑脱面的逆冲及相关褶皱作用^[44]、岩层能干性差异和上覆压力控制^[45]、基底裂隙中向斜盖层在后期挤压中产状急剧变陡^[46]、多层次滑脱控制^[47]等不同观点。

近几年来笔者在实施“湖南 1：25 万武冈市和永州市幅区调修测”、“中上扬子重点地区(雪峰山)构造演化及其与油气关系研究”、“湖南省地质系列图件编制与综合研究”等项目过程中,针对雪峰造山带及邻区存在的上述地质问题进行了调查研究,在雪峰造山带构造变形特征及变形期次^[48-53]、湘东南印支运动构造线走向及构造体制^[54]、湘中盆地西部构造变形的运动学特征及成因机制^[55]、雪峰造山

带西侧盆山过渡带褶皱特征及变形机制^[56]、加里东运动和印支运动构造特征的岩浆响应^[57-62]、新元古代中期构造演化过程^[63-64]及南华冰期底界年龄^[65]、钦杭结合带在湖南段的走向^[66]、晚三叠世—侏罗纪盆地成因^[67-68]等方面取得新的进展。为了促进区域地质研究成果的广泛交流,本文系统总结、简要介绍相关进展。

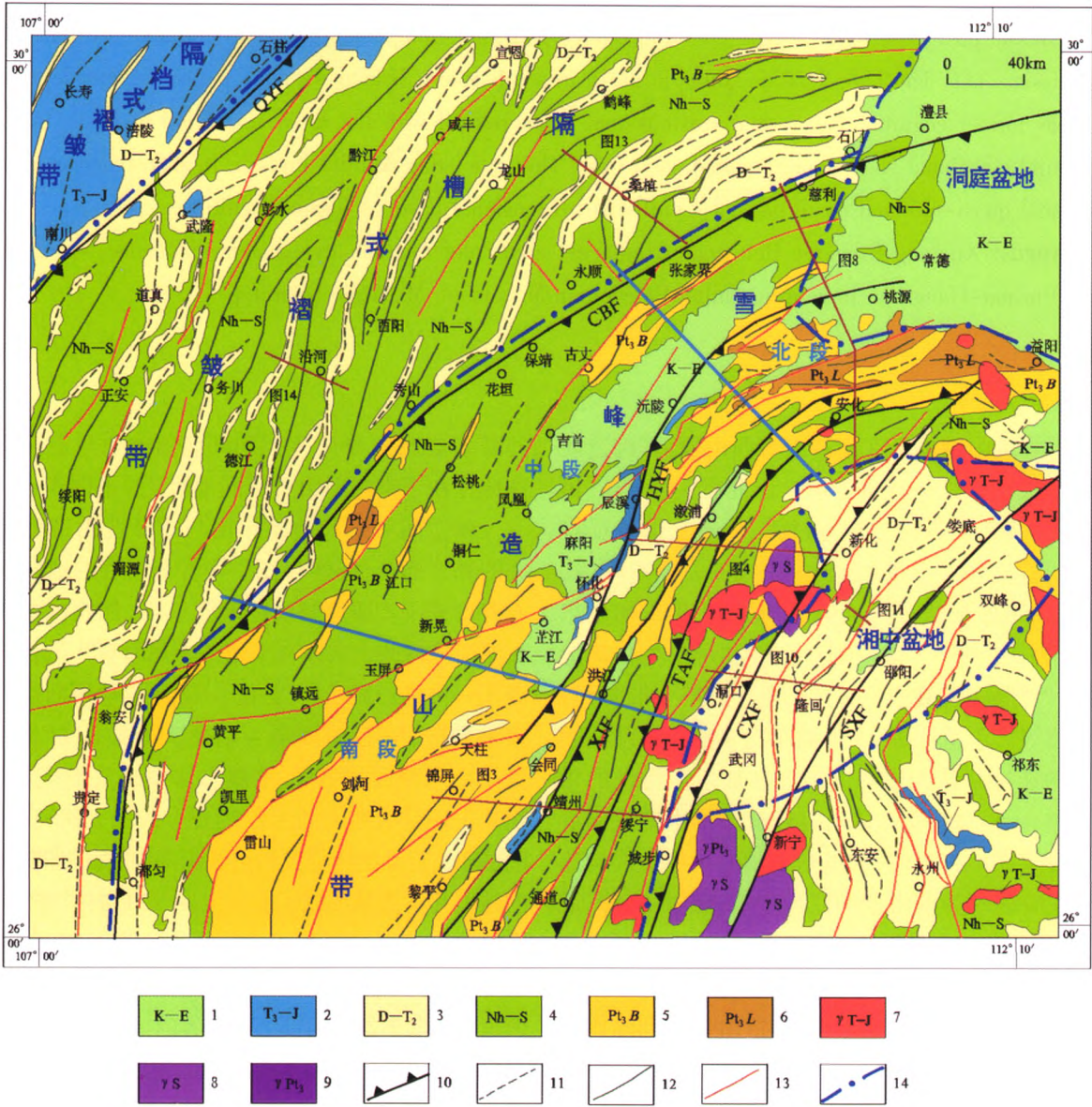


图1 雪峰造山带及邻区区域地质与构造纲要图

Fig. 1 Geological and structural sketch map of the Xuefeng Orogenic Belt and its adjacent areas

1-白垩系—古近系;2-上三叠统一侏罗系;3-泥盆系—中三叠统;4-南华系—志留系;5-新元古代板溪群;6-新元古代冷水溪群;7-中生代(印支期、早燕山期)花岗岩;8-早古生代(加里东期)花岗岩;9-新元古代花岗岩;10-主要逆断裂,齿向示断裂倾向;11-向斜轴迹;12-背斜轴迹;13-断裂;14-构造单元边界。QYF: 齐岳山断裂;CBF: 慈利—保靖断裂;HYF: 怀化—沅陵断裂;XJF: 溆浦—靖州断裂;TAF: 通道—安化断裂;CXF: 城步—新化断裂;SXF: 邵阳—新宁断裂。

1 区域地质背景

雪峰造山带及其内部构造线走向自南而北由 NNE 向逐渐转变为 EW 向,呈向北西凸出的弧形展布。造山带北西以慈利-保靖断裂与鄂湘渝黔褶皱带东部的隔槽式褶皱带分界,南东大致以前泥盆纪地层和上古生界的界线与湘中盆地分界,造山带东部为中生代大型陆相盆地洞庭盆地叠覆(图 1)。根据构造样式差异,以怀化-沅陵断裂为界可进一步分为北西部的武陵断弯褶皱带和南东部的雪峰基底拆离带^[15,50]。

带内主要出露地层为新元古代冷家溪群、板溪群、南华系和下古生界,少量上古生界,陆相盆地残留区发育上三叠统一侏罗系及白垩系—古近系。其中冷家溪群为活动陆缘碎屑沉积^[69];板溪群—南华系为裂谷盆地火山—碎屑沉积^[63];震旦系—下奥陶统为被动大陆边缘盆地碳酸盐和陆源碎屑沉积夹少量硅质沉积^[70-71];中奥陶统一志留系为前陆盆地砂、泥质沉积为主^[70];泥盆系—下三叠统为陆表海碳酸盐、陆源碎屑夹硅质沉积^[72];上三叠统一侏罗统为陆相挤压前陆盆地碎屑沉积,白垩系为陆相断陷盆地碎屑沉积^[23,30]。

雪峰造山带东南缘发育大量加里东期和中生代花岗岩,城步发育少量新元古代花岗岩。

造山带及边缘自北西往南东依次发育倾向 SE 的慈利-保靖、怀化-沅陵、溆浦-靖州,以及倾向 NW 的通道-安化、城步-新化等 5 条主干逆断裂,组成区域背冲构造样式^[30]。

区域上自早至晚主要经历了武陵(晋宁)、加里东、印支、早燕山和喜山等多次构造运动,其中武陵运动造成板溪群与冷家溪群的角度不整合,加里东运动造成上古生界与下古生界(及先期地层)的角度不整合(慈利-保靖断裂北西侧为平行不整合^[53]),印支运动造成上三叠统与下三叠统的角度不整合,早燕山运动造成白垩系与中侏罗统的角度不整合,喜山运动造成白垩纪—古近纪盆地的褶皱回返^[48-49]。

2 构造变形研究新进展

2.1 雪峰造山带构造变形特征及变形期次

根据构造线走向和中生代盆地发育情况,本文将雪峰造山带分为 3 段(图 1),北段构造线为 NEE

向—EW 向;中段构造线为 NNE 向—NE 向,并有大规模的沅麻盆地叠覆;南段构造线以 NNE 向为主。

2.1.1 造山带南段—中段东部构造变形

根据详细的构造剖面测制并结合区域地质调查,进一步查明了雪峰造山带南段和中段东部地区(怀化—锦屏一线以东)的形变类型、变形时代、变形强度、剖面结构以及构造变形的运动学特征、成因机制和构造体制等^[48-49]。

造山带南段—中段东部地区最主要的形变类型为 NE~NNE 向的褶皱、逆断裂和板劈理,其次有折劈理、大型膝褶带、正断裂、右行走滑断裂等,属不同期次构造变形产物。

加里东期构造形变主要有板劈理、褶皱、大型膝褶带和逆断裂等,均呈 NE—NNE 走向,反映区域构造体制均为 NW 向~NWW 向挤压。本期褶皱多数为轴面近直立的中常—开阔褶皱,部分为紧闭倒转褶皱。根据板劈理仅发育于前泥盆纪地层中,确定其形成于加里东期;本期褶皱、大型膝褶带和逆断裂的变形时代根据卷入地层为前泥盆系以及板劈理在位态、成因和运动学特征等方面的相关性确定。值得指出的是,大型膝褶带在雪峰造山带尚属首次发现,膝褶带见于中段岩门寨—石宝一带,自北西往南东依次有黄香坪膝褶带 k_1 (带宽 270 m)、谢家坡膝褶带 k_2 (带宽 160 m)、牛耕田膝褶带 k_3 (带宽 50 m) 和火石冲膝褶带 k_4 (带宽 150 m) 等(图 2-b),其中膝褶带 k_1 、 k_2 和 k_3 内劈理产状与带外劈理一致(图 2-a),表明其与带外劈理一样形成于加里东运动并略早于带外劈理,反映出加里东运动的递进变形过程。火石冲膝褶带 k_4 可能形成于早中生代,带内先期板劈理因变位而呈 EW 走向。

早中生代印支运动和早燕山运动构造体制基本相同,均为 NW 向~NWW 向挤压,所形成构造形迹难以明确区分。早中生代构造形变主要有 NE 向—NNE 向褶皱和逆断裂,其中褶皱卷入上古生界,为直立平缓褶皱;部分加里东期褶皱变形在早中生代可能得到进一步加强。早中生代逆断裂的时代根据其切割地层及与板劈理的不协调关系确定。折劈理为早期板劈理面产生的膝折轴面所形成,属间隔劈理,其形成可能有多种成因或背景,如加里东运动挤压抬升之后的重力作用、早中生代构造挤

压等^[48-49]。正断裂主要形成于白垩纪伸展背景,NNE 向右行走滑断裂大体形成于古近纪^[48-49]。

加里东期和早中生代挤压变形强度均存在以 淑浦—靖州断裂为界东侧强、西侧弱的显著差异: 断裂东侧前泥盆系中板劈理极为发育、上古生界与 先期地层之间呈高角度不整合,而断裂西侧不发育 或发育差、上古生界与先期地层之间呈低角度或微 角度不整合,表明加里东运动变形东强西弱;上古 生界沉积及保存情况指示早中生代断裂以东具更 大规模的抬升,暗示断裂以东具更强挤压变形。

以表层构造特征为基础,结合构造层厚度和主

要构造滑脱层位,参考前人有关雪峰造山带地球物 理综合解释剖面,从断裂相关褶皱的有关概念出 发,厘定雪峰造山带南段和中段综合构造剖面分别 如图 3、图 4。由图可见:雪峰造山带东部逆断裂和 褶皱变形主要受控于冷家溪群底部、板溪群底部、 南华系底部和寒武系底部等层位的拆离滑脱;以淑 浦—靖州断裂为界分为东带和西带,分别为加里东 期区域雪峰逆冲推覆构造的根带和中带(图 3,图 4)。研究发现,劈理优势倾向以及褶皱轴面和逆断 裂的倾向反映出雪峰造山带东带加里东运动和早 中生代构造运动中均具有背冲构造样式,但早中生

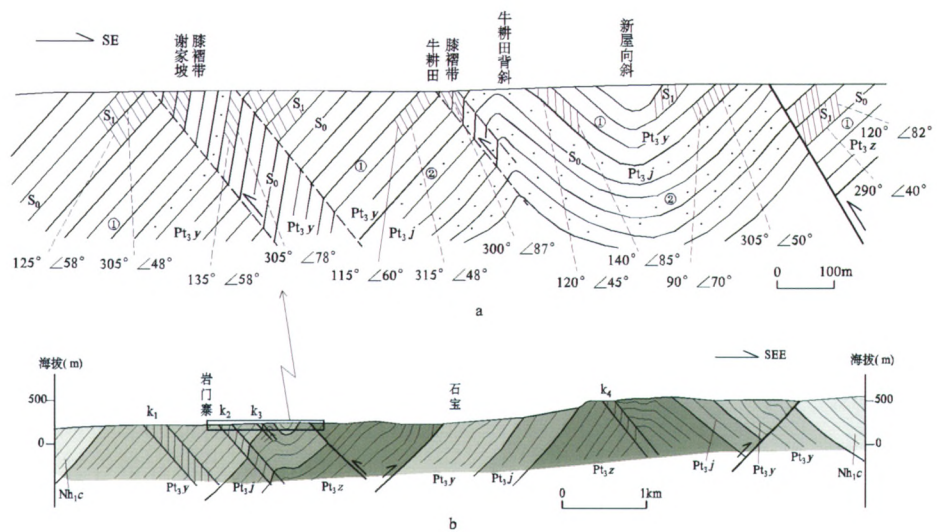


图2 岩门寨—石宝构造剖面(据文献[48]修改)

Fig. 2 Yanmenzhai-Shibao tectonic section (modified from reference[48])

①-板岩;②-砂岩;Nh_{1c}-早南华世长安组;Pt_{1y}-新元古代岩门寨组;Pt_{1j}-新元古代架枳田组;Pt_{1z}-新元古代砖墙弯组;S₀-层面;S₁-板劈理。

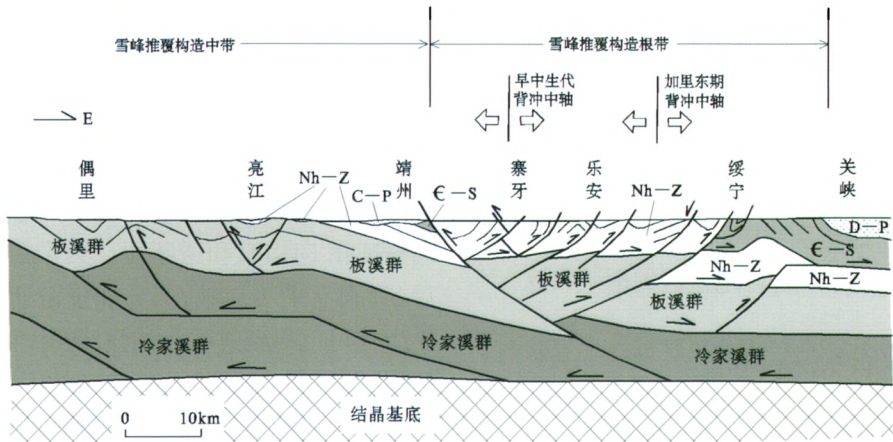


图3 雪峰造山带南段综合剖面结构(位置见图1;据文献[49])

Fig. 3 Tectonic section across the south segment of Xuefeng orogen (for location see Fig.1; after reference[49])

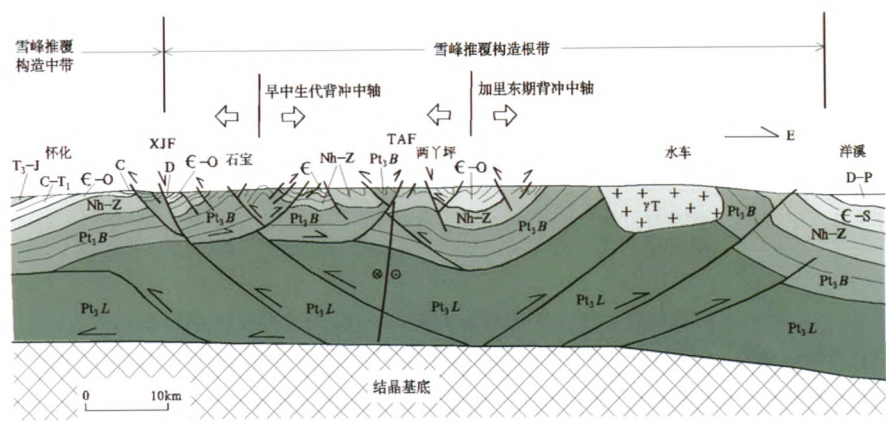


图4 雪峰造山带中段怀化—洋溪构造剖面(位置见图1;据文献[48],略修改)

Fig.4 Huaihua—Yangxi tectonic section in the middle segment of Xuefeng orogen (for location see Fig.1; modified from reference[48])
T₃—J:上三统一侏罗系;C—T₁:石炭系—下三叠统;C:石炭系;D:泥盆系;D—P:泥盆系—二叠系;Є—S:寒武系—志留系;Є—O:寒武系—奥陶系;Nh—Z:南华系—奥陶系;Pt₃B:新元古代板溪群;Pt₃L:新元古代冷家溪群;γT:印支期花岗岩;XJF:溆浦—靖州断裂;TAF:通道—安化断裂.

代背冲构造的中轴相对加里东期向西迁移 20 km (南段)至 25 km(中段)以上。

加里东期与早中生代背冲构造中轴不一致可能与构造背景和边界条件不同有关,即前者变形受新元古代裂谷收缩变形控制^[4],中轴大体位于裂谷带中部;而后者变形时溆浦—靖州断裂兼具左行走滑^[68],走滑派生正花状构造导致背冲中轴靠近溆浦—靖州断裂。

值得指出的是,南华纪早期溆浦—靖州断裂以东大幅伸展断陷并接受巨厚沉积^[73];晚古生代断裂以东自中泥盆世开始接受沉积,而断裂以西自晚石炭世才开始接受沉积,表明晚古生代该断裂产生伸展活动并构成湘中盆地的西边界^[48]。此外,断裂以西无花岗质岩浆活动,而断裂以东在加里东期和早中生代均发生过强烈的花岗质岩浆活动。上述沉积和岩浆作用差异暗示溆浦—靖州断裂为不同强度或结构组成的构造块体的边界,断裂以西块体相对强硬或不同壳层具刚性焊合,断裂以东块体相对软弱或不同壳层之间焊合较弱。因此,雪峰造山带东带在加里东运动中成为区域雪峰逆冲推覆构造的根带,且在加里东运动和早中生代构造运动中变形强度大于西带,应与其为块体强度低的构造薄弱带有关。

综上所述,雪峰造山带南段—中段在加里东期和早中生代均发生过显著的挤压构造变形和隆升,并

具有以溆浦—靖州断裂为界东强西弱的分带特征,因此前人仅强调加里东期^[14]或仅强调早中生代^[8,15-16]挤压变形均有失偏颇。此外,雪峰造山带东部确如前人认识具有背冲结构^[30,40],新的研究进一步揭示在加里东和早中生代构造运动中均具有背冲特征,且早中生代背冲构造的中轴相对加里东期显著向西迁移。

2.1.2 沅麻盆地构造特征

沅麻盆地是叠加在雪峰造山带中段的一个大规模陆相盆地,盆地中充填了上三叠统一中侏罗统和白垩系—古近系两套陆相碎屑沉积,分别为类前陆盆地和断陷盆地沉积^[23,30],前者主要出露于盆地东部,后者覆盖了盆地大部。中新生代 NNE—NE 向正断裂、逆断裂和平缓褶皱(主要为向斜)组成沅麻盆地的主体构造格架,其中盆地西部和中部大部以正断裂为主,形成复杂的堑—垒构造格局,褶皱变形强度低、岩层产状平缓;盆地东缘以多为东倾、少量西倾的逆断裂为主,常伴有倒转紧闭褶皱^[52]。

前人研究认为沅麻盆地东部及东侧外围地区发育有王炳坡、黄金坳、江口、潭湾、辰溪、麻阳等大量飞来峰^[16,39,74-77],其识别标志主要为板溪群作为“外来体”座立于古生界、中生界之上(之中)^[16,39,76-77],或为上古生界—侏罗系组成的外来滑块(潭湾地区)^[74-75]。然而新的调查发现,这些座立于古生界和中生界之中的板溪群并非飞来峰,而是与逆冲断裂甚至

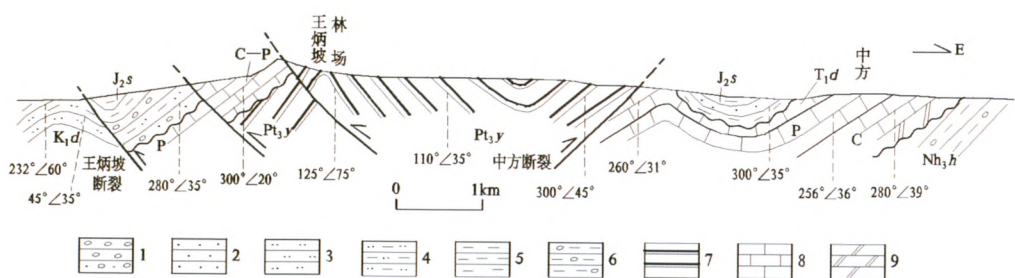


图5 王炳坡林场—中方实测构造剖面及变形(据文献[52],略修改)

Fig. 5 Wangbinpo forestry centre—Zhongfang tectonic section (modified from reference[52])

1-砾岩、砂砾岩;2-砂岩;3-粉砂岩;4-粉砂质泥岩—泥质粉砂岩;5-泥岩;6-含砾泥岩;7-板岩;8-灰岩;9-白云岩。K_{1d}-早白垩世东井组;J_{2s}-中侏罗世沙溪庙组;T_{1d}-早三叠世大冶组;P-二叠系;C-石炭系;Nh_{3h}-晚南华世洪江组。

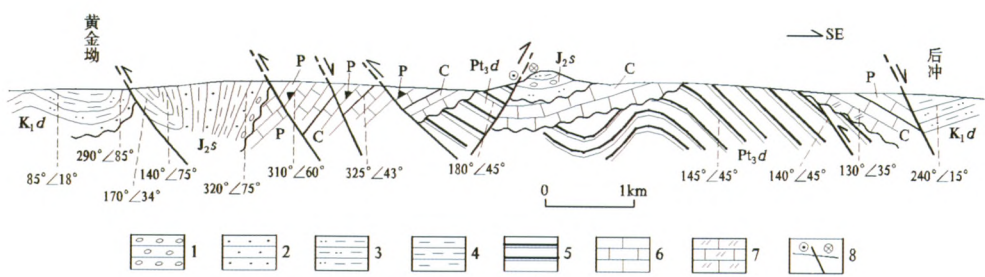


图6 黄金坳—后冲实测构造剖面及变形(据文献[52],略修改)

Fig. 6 Huangjin'ao—Houchong tectonic section (modified from reference[52])

1-砾岩;2-砂岩;3-粉砂质泥岩;4-泥岩;5-板岩;6-灰岩;7-白云质灰岩;8-左行平移断裂。K_{1d}-早白垩世东井组;J_{2s}-中侏罗世沙溪庙组;P-二叠系;C-石炭系;Pt_{3d}-新元古代多益塘组。

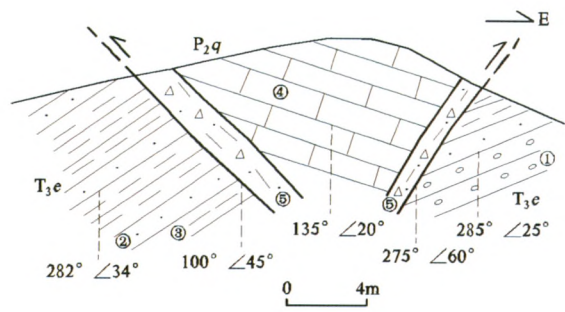


图7 具背冲组合特征的SN向逆断裂(潭湾西)

Fig. 7 SN-trending back-thrust faults (on the west of Tanwan)

①砾岩;②砂岩;③泥岩;④灰岩;⑤断裂破碎带;T_{3e}-晚三叠世二桥组;P_{2q}-中二叠世栖霞组

与正断裂有关的断夹块^[52],如“王炳坡飞来峰”、“黄金坳飞来峰”明显因断裂作用造成板溪群抬升所致(图5,图6)。此外,潭湾西面的高角度逆冲断裂组成的背冲构造(图7),暗示所谓“潭湾飞来峰”^[74-75]实际为冲起断块,并非外来体。

2.1.3 雪峰造山带北段西部地质构造特征

雪峰造山带北段大部为中生代洞庭盆地所叠覆,其西部前白垩纪地层出露较广,因此以慈利—安化走廊带(宽 50 km)为例对雪峰造山带北段西部的地质构造特征进行了调查研究^[50],并根据地表构造特征、区域构造层厚度、主要构造滑脱层位及地球物理解释剖面,厘定了慈利—洞市综合构造剖面(图8)。

廊带内发育 NEE 向—EW 向(北部)和 NE 向(南部)褶皱和同走向逆断裂、NEE ~ EW 向正断裂以及少量 NE 向和 NNW 向右行平移断裂等,形成于武陵运动、加里东运动、印支运动、早燕山运动等挤压事件、白垩纪伸展事件、古近纪—新近纪挤压事件等,其中以加里东运动和印支运动形成的褶皱和同走向逆断裂最为重要。

雪峰造山带在廊带上可分为北部的武陵断弯褶皱带和南部的雪峰基底拆离带(图8),武陵断弯褶皱带变形主要受控于板溪群底界面向北的滑脱

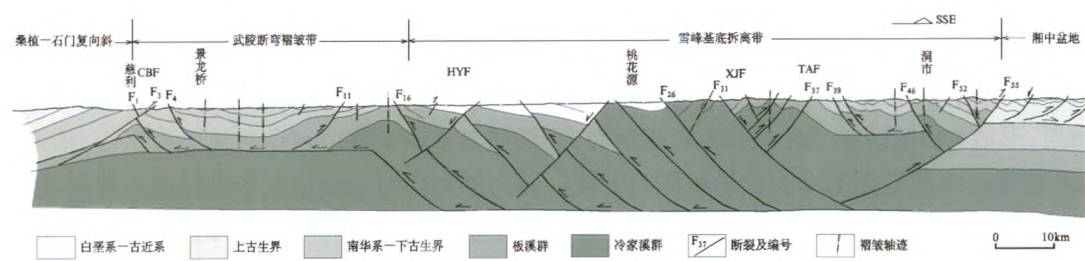


图8 慈利-洞市构造剖面(位置见图1;据文献[50]修改)

Fig. 8 Cili-Dongshi tectonic section (for location see Fig.1; modified from reference[50])

CBF:慈利—保靖断裂;HYF:怀化—沅陵断裂;XJF:溆浦—靖县断裂;TAF:通道—安化断裂

及其导生的逆冲;雪峰基底拆离带变形主要受控于切穿冷家溪群褶皱基底的断裂拆离与逆冲,拆离与逆冲的方向总体由南向北,但南缘总体逆冲方向指向南,从而组成背冲构造样式,背冲构造的中轴大体位于通道—安化断裂带。

值得指出的是,就雪峰造山带东南部的雪峰基底拆离带而言,北段构造变形比南段—中段更强,块体逆冲、增厚和抬升作用的强度和幅度更大,以致深部的冷家溪群和板溪群大量出露,而南段主要出露南华系一下古生界、中段主要出露板溪群一下古生界(图 1)。此外,桃源沙坪一带泥盆纪跳马涧组角度不整合于冷家溪群之上,表明北段的大幅逆冲抬升在加里东运动中即已完成;南段和中段石炭纪大埔组角度不整合于南华系之上^[48-49]、中段泥盆纪跳马涧组角度不整合于板溪群之上^[48],表明南段和中段的抬升也主要在加里东运动中完成。因此,雪峰造山带北段与南段—中段之间构造抬升和变形强度的差异主要由加里东运动所造成。上述变形差异反映了加里东期近 SN 向挤压^[8]的区域大地构造背景:EW 向展布的造山带北段在区域 SN 向挤压下遭受正面挤压而具更强烈变形和更大幅度抬升,而 NNE~NE 向展布的南段—中段则受斜向挤压而变形相对较弱、抬升幅度相对较小。

2.1.4 中生代以来变形期次及构造背景

根据构造卷入的地层时代及切错、限制、改造关系,厘定了沅麻盆地中生代以来 7 次变形事件^[52],自早至晚简述如下:

第 1 期变形(D₁)缘于中三叠世晚期印支运动中区域 NW—NWW 向挤压,盆地东侧的 NNE 向溆浦—靖州断裂产生逆冲活动并控制了晚三叠世—

中侏罗世沅麻盆地的发育^[68];盆地内基底形成 NE—NNE 向褶皱和逆断裂。沅麻盆地 NW—NWW 向挤压有别于华南 SN 向挤压的总体应力场,可能与扬子/华夏板块的继发性陆内俯冲汇聚^[54]或陆块间差异非均衡背景下产生的陆内陆块间相互作用^[11,27]有关。

第 2 期变形(D₂)缘于晚三叠世—早侏罗世区域 SN 向挤压,形成了下三叠统大冶组中露头规模的 EW 向尖棱状褶皱或膝折以及近 EW 向逆断裂。本期变形可能与扬子及其以南各地块向北运移与中朝板块碰撞^[78]有关。

第 3 期变形(D₃)缘于中侏罗世晚期早燕山运动中 NWW—近 EW 向挤压,主要有 SN 向、NNE 向褶皱和逆断裂。本期变形与古太平洋板块(或伊泽奈崎板块)俯冲影响有关^[34-36]。

第 4 期变形(D₄)缘于早白垩世区域 NW—SE 向伸展,形成了不同规模的 NE—NNE 向正断裂,其中不少同沉积断裂。关于本期变形有多种成因解释,如区域 NE 向挤压诱发 NW 向伸展^[78]、岩石圈伸展^[79]、岩石圈俯冲+基性岩浆底侵^[80]、俯冲回滚^[81]等。

第 5 期变形(D₅)缘于晚白垩世 SN 向伸展,主要构造为 EW 向芷江正断裂。本期变形可能与印度—欧亚大陆发生俯冲和碰撞有关^[82]。

第 6 期变形(D₆)缘于古近纪中晚期的 NE 向挤压,形成构造有 NW 向褶皱、NW 向逆断裂、NEE—NE 向左行走滑(或兼逆冲)断裂、NNE 向右行走滑断裂、NEE 向与 NNE 向共轭剪节理等。本期变形的动力背景为印度板块与亚洲大陆碰撞^[23,78,82],碰撞使亚洲东部形成一系列的右行走滑断裂,沅麻

盆地因东侧溆浦—靖州、通道—安化等 NNE 向断裂右行走滑^[23,48]而派生 NE 向挤压。

第 7 期变形 (D₇) 缘于古近纪末—新近纪初 NW 向挤压,形成 NE 向褶皱、NE—NNE 向逆断裂、SN 向逆断裂等。本期变形的动力背景可能与菲律宾海板块逐渐从南纬运移过来并和华南块体东部斜向碰撞有关^[23]。

在沅麻盆地调查之前,笔者基于靖州盆地小型断裂和节理的观察研究初步厘定出中生代以来 8 期应力事件^[51],其中多数事件与前述沅麻盆地的变形可大体对应。但靖州盆地厘定的中侏罗世晚期 SN 向挤压(NE—NNE 向断裂左行走滑派生)、古近纪中晚期的 EW 向挤压、新近纪的 NNE 向挤压等^[51]未能与上述沅麻盆地构造事件对应,其原因可能与边界条件(构造区位)不同和研究深度不够有关。

2.2 印支运动构造线走向及构造体制

中三叠世后期的印支运动造成华南上三叠统与中、下三叠统的角度不整合接触。关于区域印支运动的特征及构造线走向存在两种不同观点,一种观点强调印支运动的强度并认为其形成了上古生

界以 NNE 向为主的褶皱^[8,15,29-32,83],另一种观点则认为印支运动强度不大^[33],或印支运动在区域 SN 向挤压下主要形成 EW 向褶皱、上古生界 NNE 向主体褶皱形成于燕山运动甚至更晚^[33-36]。柏道远等通过对湘东南地区构造变形进行深入解析,确证了印支运动构造线走向为 NNE 向、区域挤压应力方向为 NWW 向而非 SN 向^[54]。主要依据有:

(1)资兴三都地区上三叠统底部的 NW 向不整合界线在北部横切泥盆系—石炭系组成的 NNE 向构造线暨七里镇向斜,反映先期印支运动构造线总体呈 NNE 向;如以 NNE 走向为轴,即围绕不整合面与水平面交线将不整合面旋转至水平,恢复印支期初始岩层走向呈 NNE 向^[54]。同样的构造解析表明宜章瑶岗仙以及桂东沙田地区印支运动构造线也呈 NNE 向^[54]。

(2)印支运动不整合面下伏地层层位沿 EW 方向普遍存在快速变化,反映出印支运动后沿 EW 方向岩层倾角达 20° 以上(如三都盆地东缘)和 32° 以上(永兴县城北东),说明印支运动构造线不是 EW 向^[54]。

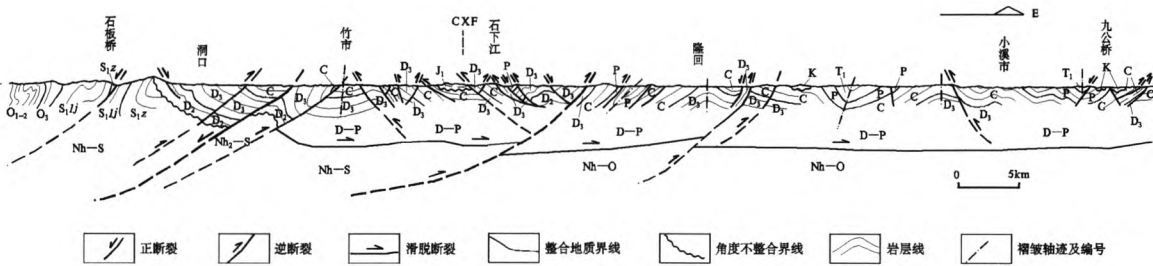


图9 洞口—九公桥构造剖面(剖面位置见图1;据文献[55],略修改)

Fig. 9 Dongkou-Jiugongqiao tectonic section (for location see Fig.1; modified from reference[55])

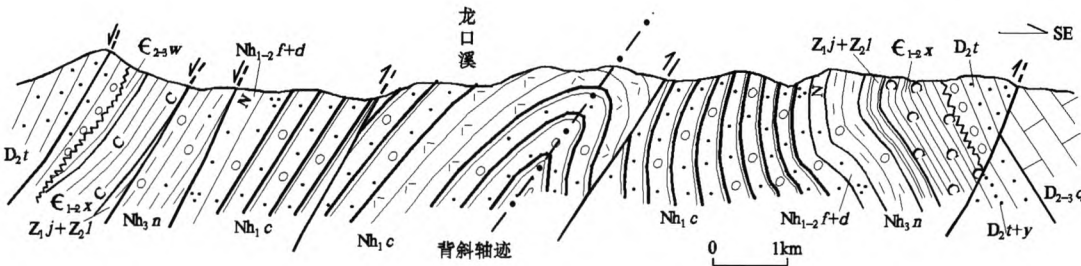


图10 大乘山背斜构造剖面(剖面位置见图1;据文献[55],略修改)

Fig. 10 Tectonic section across Dachengshan anticline (for location see Fig.1; modified from reference[55])

Nh_{1c}:早南华世长安组;Nh₁₊₂f+d:早南华世富禄组和中南华世大塘坡组;Nh_{3n}:晚南华世南沱组;Z_j:早震旦世金家洞组;Z_j:晚震旦世留茶坡组;E_{1-2x}:寒武纪小烟溪组;E_{2-3w}:寒武纪污泥塘组;D_{2t}:中泥盆世跳马涧组;D_{2y}:易家湾组;D_{2-3q}:中—晚泥盆世棋梓桥组。

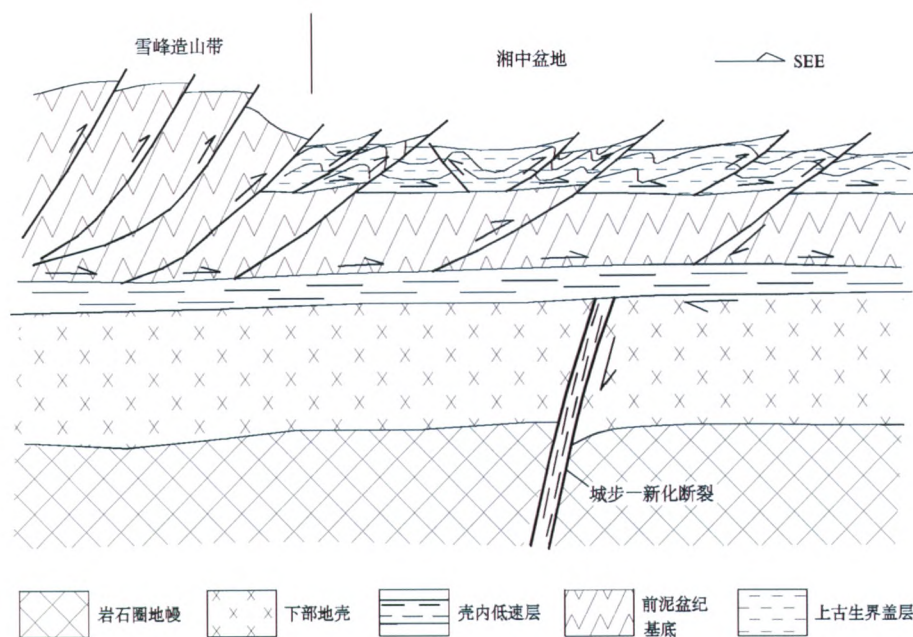


图11 湘中盆地西部构造变形成因机制示意图(据文献[55])

Fig. 11 Dynamic mechanism interpretation for deformation in the western Xiangzhong basin (after reference[55])

NNE 向构造线反映湘东南印支运动区域构造体制为 NWW 向挤压,其成因可能与扬子/华夏板块的继发性陆内俯冲汇聚^[54]或非均衡背景下陆内陆块间相互作用^[11,27]有关。

2.3 湘中盆地西部构造变形的运动学特征及成因机制

位于雪峰造山带东南侧的湘中盆地上古生界盖层中 NE~NNE 向(南部弧形偏转为近 SN 向)褶皱和走向断裂非常发育,除丁道桂等提出该带为雪峰冲断隆起后缘(滑覆)断层—滑脱褶皱带外^[15],一般认为其西部变形受控于自南东向北西的逆冲推覆^[30,37-39],地表构造线向北西凸出的弧形弯曲似乎也佐证了这一观点(据“弓箭原理”)^[31]。但新的详细调查得出了正好相反的结论^[55]:洞口—九公桥构造剖面(图 9)、大乘山背斜构造剖面(图 10),以及白溪—冷水江构造剖面、黄瓜岭向斜黄金牌—曾家塘构造剖面、斜岭倒转向斜周家—茅木塘构造剖面(图略)等,均清楚显示盆地西部褶皱轴面及逆断裂主要倾向 NWW 或 NW,反映总体自北西向南东逆冲的运动学特征。

结合区域构造背景和有关深部构造资料,认为向 SE 逆冲主要与两方面动力因素有关(图 11),一是紧邻盆地西侧的雪峰造山带东缘向 SE 逆冲,使得湘中盆地西部产生向 SE 的逆冲;二是作为新元

古代早中期扬子陆块与古华南洋分界的城步—新化岩石圈断裂向西俯冲,上部地壳相对向 SE 滑移,并相应派生向 SE 逆冲应力场,使断裂两侧地区具向 SE 为主的逆冲运动程式。

2.4 雪峰造山带西侧盆山过渡带褶皱特征及变形机制

雪峰造山带与四川盆地之间的盆山过渡带,以齐岳山断裂为界进一步分为西部的隔档式褶皱带和东部的隔槽式褶皱带^[41]。如前文所述,对于齐岳山断裂东侧的隔槽式褶皱成因存在多种不同观点^[41-47]。其中“雪峰西推模型”^[41-42]涉及了变形的深层动力机制,并已得到研究者的较普遍认同^[45,84-85]。该模型认为受东侧雪峰造山带基底向北西推覆影响,发生多层次拆离推覆及递进挤压,最终形成后端隔槽式褶皱(前端形成齐岳山断裂以西的隔档式褶皱)。

然而,新的研究发现雪峰西推模型难以解释以下地质事实^[56]:一是隔槽式褶皱带内褶皱轴面和逆冲断裂未显示出雪峰西推模型应有的向东或南东倾斜的极性特征;二是雪峰造山带总体上并未发生向西侧褶皱带的大规模推覆,具体表现为雪峰造山带与西侧隔槽式褶皱带分界的慈利—保靖断裂两侧地层总体较为连续,且断裂东侧变形强度总体不大;三是雪峰西推模型下地质剖面无法平衡;四是雪峰西推模型下向斜部位不大可能出现大幅抬升,

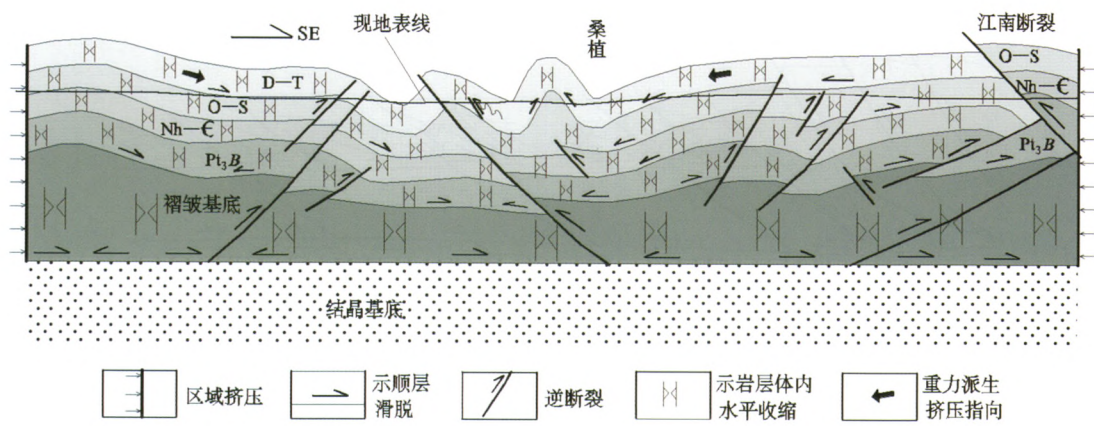


图12 桑植-石门复向斜内褶皱形成机制(剖面位置见图1;据文献[56])

Fig. 12 Dynamic mechanism of the folds in Sangzhi-Shimei synclinorium (for location see Fig.1; after reference[56])

D-T:泥盆系—三叠系;O-S:奥陶系—志留系;Nh-C:南华系—寒武系;Pt₃B:新元古代板溪群

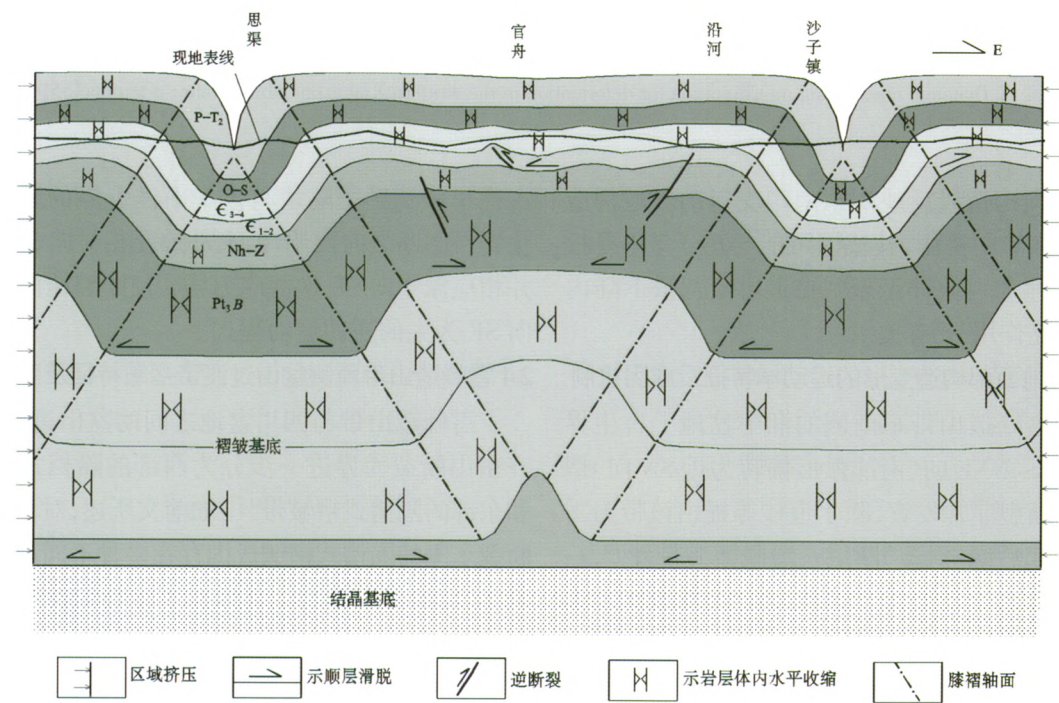


图13 思渠-沙子镇隔槽式褶皱形成机制模型(剖面位置见图1;据文献[56])

Fig. 13 Dynamic mechanism of the Siqu-Shazizhen trough-like folds (for location see Fig.1; after reference[56])

但已有研究却表明向斜部位发生过大幅抬升^[85]。明,桑植-石门复向斜内褶皱具有“复杂褶皱”组合样式(图12),主要形成于中三叠世后期印支运动;沿河地区褶皱为典型隔槽式褶皱,主要与早燕山运动NWW向挤压有关(图13)。

鉴此,柏道远等选择隔槽式褶皱带内的湖南河口—桑植—张家界剖面 and 贵州思渠—官舟—沙子镇剖面,通过已有地震、MT剖面资料以及地质构造剖面测制,结合区域地质资料,分别对桑植—石门复向斜和沿河地区褶皱变形特征进行了解剖研究,探讨并就其变形机制提出了新的认识^[56]。结果表

桑植—石门复向斜及其内部褶皱形成机制为(图12):在印支运动区域NW向(复向斜东部为SN向)挤压应力作用下,褶皱基底和盖层沿NW水

平方向产生整体缩短并产生滑脱和逆冲断裂,褶皱基底因此产生大规模弯曲而形成大型隆、凹相间(复背斜与复向斜相间)的格局,盖层因此形成滑脱褶皱、断层扩展褶皱(断层传播褶皱)和断层转折褶皱而具“复杂褶皱”组合样式。此外,重力滑动也可能使复向斜核部区的挤压与滑脱作用得到加强。

思渠—沙子镇隔槽式褶皱形成机制为(图 13):在早燕山运动区域 NWW 向挤压应力作用下,深部塑性程度较高的褶皱基底沿 NWW 水平方向产生整体收缩并沿底面滑脱而形成滑脱背斜(断层滑脱褶皱)。在滑脱面之上,深部多个滑脱背斜构成隔档式褶皱,浅部则变为隔槽式褶皱;相邻背、向斜翼部形成背形膝褶和向形膝褶。上部盖层也因挤压而产生水平方向的缩短,当盖层与基底之间、盖层内部不同层位之间缩短量存在差异时其间亦形成滑脱,此为区域上多个滑脱层发育的主要或重要原因。此外,水平挤压及滑脱作用均可能形成逆断裂及断裂相关褶皱,使构造变形样式更为复杂化而形成次级褶皱或挠曲。

上述桑植—石门复向斜区复杂褶皱和思渠—沙子镇隔槽式褶皱均受区域挤压作用下的岩层体水平收缩所控制,其褶皱样式不同的主要原因可能与前者先期基底断裂更易产生继承性活动有关^[6]。

值得指出的是,上述褶皱形成机制强调了变形主要由区域挤压体制下原地深部褶皱基底的收缩和滑脱作用所控制,与雪峰西推模型的区域盖层大规模、长距离推滑模式存在根本区别。显然,“原地收缩”模式可以较好地解释前述雪峰西推模型难以解释的几个地质事实。此外,区域挤压下整体收缩变形机制对齐岳山断裂西侧隔档式褶皱研究乃至一般区域构造研究无疑都具有重要的启示意义。

3 新元古代构造演化和构造格局研究进展

3.1 新元古代中期构造演化过程及年代

近些年来,随着大量高精度锆石 U-Pb 年龄的发表,江南造山带新元古代地层年代学研究取得了重要进展(如将冷家溪群及对应地层的时代由以往的中元古代修正为新元古代^[86-87]),新元古代地质背景和构造演化的研究深度和水平得到很大提高。但对新元古代构造演化动力学背景有不同认识,存在

两种代表性的不同观点,李献华等^[20]提出了 1.0 Ga 至 760 Ma 期间华南从(俯冲)造山运动到陆内裂谷的地球动力学演化模型,强调地幔柱作用在约 825 Ma 至 760 Ma 期间对区域构造演化的控制;周金城等^[21]则构建了江南造山带自 866 Ma 前至 760 Ma 左右期间由俯冲(岛弧)→碰撞→后造山伸展的构造演化框架,否定在此过程中有地幔柱作用。针对存在的问题,柏道远等在城步火山岩和花岗岩年代学(时代分别为 828 ± 10 Ma 和 805.7 ± 9.2 Ma)和构造环境研究,以及系统收集高精度年龄数据和岩石地球化学研究成果、厘定早阶段和晚阶段花岗岩时限并确定两阶段花岗岩分别形成于岛弧和后碰撞环境的基础上,重塑了新元古代中期江南(雪峰)造山带西段构造演化的完整过程^[63-64],具体如下:

(1)880~820 Ma 期间江南造山带处于岛弧岩浆作用阶段(图 14-A)。本阶段的沉积-岩浆事件包括年限为 880~820 Ma 的冷家溪群及相当地层的沉积-火山喷发,约 835~820 Ma 的基性-超基性岩浆活动(桂北四堡群中基性-超基性岩,黔东南梵净山群中玄武岩以及益阳地区枕状科马提质玄武岩等)以及约 835~820 Ma 的新元古代中期早阶段花岗质岩浆活动(形成岛弧花岗闪长岩,如桂北峒马岩体、寨滚岩体、本洞岩体,湘东北张邦源岩体、葛藤岭岩体,赣西北九岭岩体,皖南许村岩体和歙县岩体)等。同期东南侧的城步地区为弧前盆地,形成火山-碎屑沉积。

(2)820~810 Ma 期间江南造山带处于弧-陆(主)碰撞阶段(图 14-B)。期间扬子陆块与其东南缘的岛弧之间发生弧-陆碰撞造山(武陵运动或四堡运动),造成板溪群与冷家溪群之间的角度不整合。同期东南侧的城步地区大致处于弧前盆地向岛弧发展的过渡时期。

(3)810~800 Ma 期间江南造山带处于后碰撞阶段(图 14-C)。继武陵运动变形峰期之后区域挤压作用减弱,经先期增温的地壳岩石减压熔融而形成晚阶段强过铝后碰撞(黑云母)花岗岩,如桂北田朋岩体和三防岩体,云南峨山岩体,湘东北张坊岩体等。同期东侧城步地区因华洋洋壳俯冲而形成新的岛弧(城步岛弧花岗岩)。

(4)800~630 Ma 为裂谷盆地阶段(图 14-D)。本阶段主要物质记录为约 800~720 Ma 的板溪群和约 720~630 Ma 的南华系沉积,以及年龄为 760 Ma

左右的基性—超基性岩(如湘西黔阳辉绿岩、通道超基性岩、古丈辉绿岩以及桂北龙胜辉长辉绿岩等)。值得指出的是,本阶段早期板溪期和晚期南华冰期之间的分界年龄,存在或早或晚的不同认识,前者主张为 800 Ma^[88]或 780 Ma(高林志等,2010^[89];全国地层委员会,2012^[90])或 760 Ma^[91],后者提出为 725 Ma^[92]或 720 Ma 左右^[63-64,93-94]。最近柏道远等获得萍乡东桥板溪期晚期岩门寨组顶部凝灰岩(717.2±8.9) Ma 的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 成岩年龄^[65],进一步佐证了 720 Ma 的观点。此外,前人湘中碧溪长安组下部凝灰岩众多锆石年龄数据^[91]中在误差范围内有 50% 的年龄上限为 720 Ma 左右,暗示成岩年龄实为 720 Ma,前人所获 760 Ma 左右年龄应为继承性锆石年龄而非成岩年龄^[65]。

3.2 钦杭结合带湖南段走向

作为扬子与华夏陆块拼接带的钦杭结合带,其东段(浙赣段)物质记录总体上较为清楚,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,在湖南境内的走向存在茶陵—郴州断裂^[24-25]、长沙—浏阳—桃江—城步^[26]、安化—溆浦—靖州断裂^[27]等多种看法。鉴于武陵运动并未造成扬子陆块与华夏陆块的拼接,武陵运动后的板溪群—下古生界沉积覆盖于华南残留洋盆(洋壳)之上(图 14-D),因此湖南境内钦杭结合带对应于武陵期古华南海,实

际为一具有较大宽度的过渡带。基于地质与地球物理资料的新研究表明,钦杭结合带与扬子陆块分界可能沿浏阳南桥—新化—隆回—城步一线(浏阳—城步汇聚带),自东向西由 EW 向转为 NNE 向;与华夏陆块分界可能沿川口—常宁—双牌一线(川口—双牌汇聚带),呈 NE 向^[66](图 15)。主要有以下依据:

(1)地球物理探测表明湘中南存在一个总体呈 NE 走向的岩石圈增厚带^[26],该增厚带的北西和南东两侧边界为陡倾的岩石圈低阻带(壳幔韧性剪切带),分别对应于浏阳—城步汇聚带和川口—双牌汇聚带。

(2)当前很多研究者主张钦杭结合带在湘境内的走向大体沿茶陵—郴州断裂^[24-25],但近些年从花岗岩中获得的大量残留锆石年龄,暗示茶陵—郴州断裂两侧自东向西存在连续的新太古—中元古代结晶基底,因此钦杭结合带通过该线的可能性似乎不大。

(3)湘东浏阳文家市一带发育的武陵期蛇绿岩套残片^[95]、南桥发育的具典型 N-MORB 特性的玄武岩^[96]、再往北发育的岛弧岩浆成因新元古代花岗岩^[97],说明钦杭结合带的北部边界自南桥一带经过。湘西南的城步地区武陵运动末期为岛弧并形成具岛弧环境特征花岗岩^[63],东南侧为华南海,由此

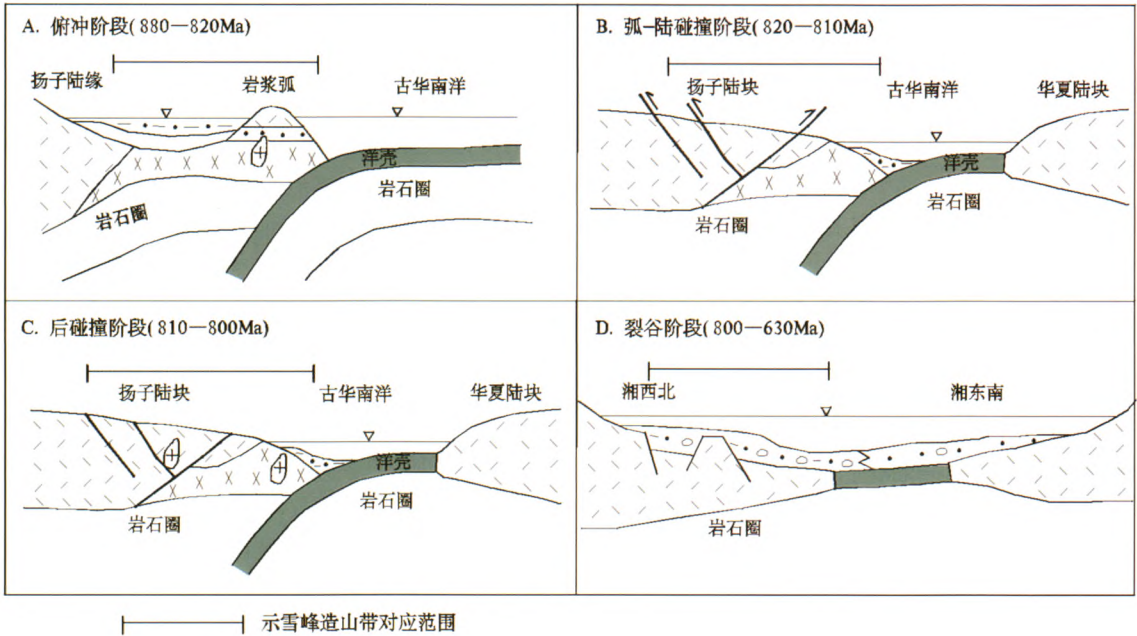


图14 雪峰造山带及邻区新元古代中期构造演化图

Fig. 14 Middle Neoproterozoic tectonic evolution of the Xuefeng Orogenic Belt and its adjacent areas

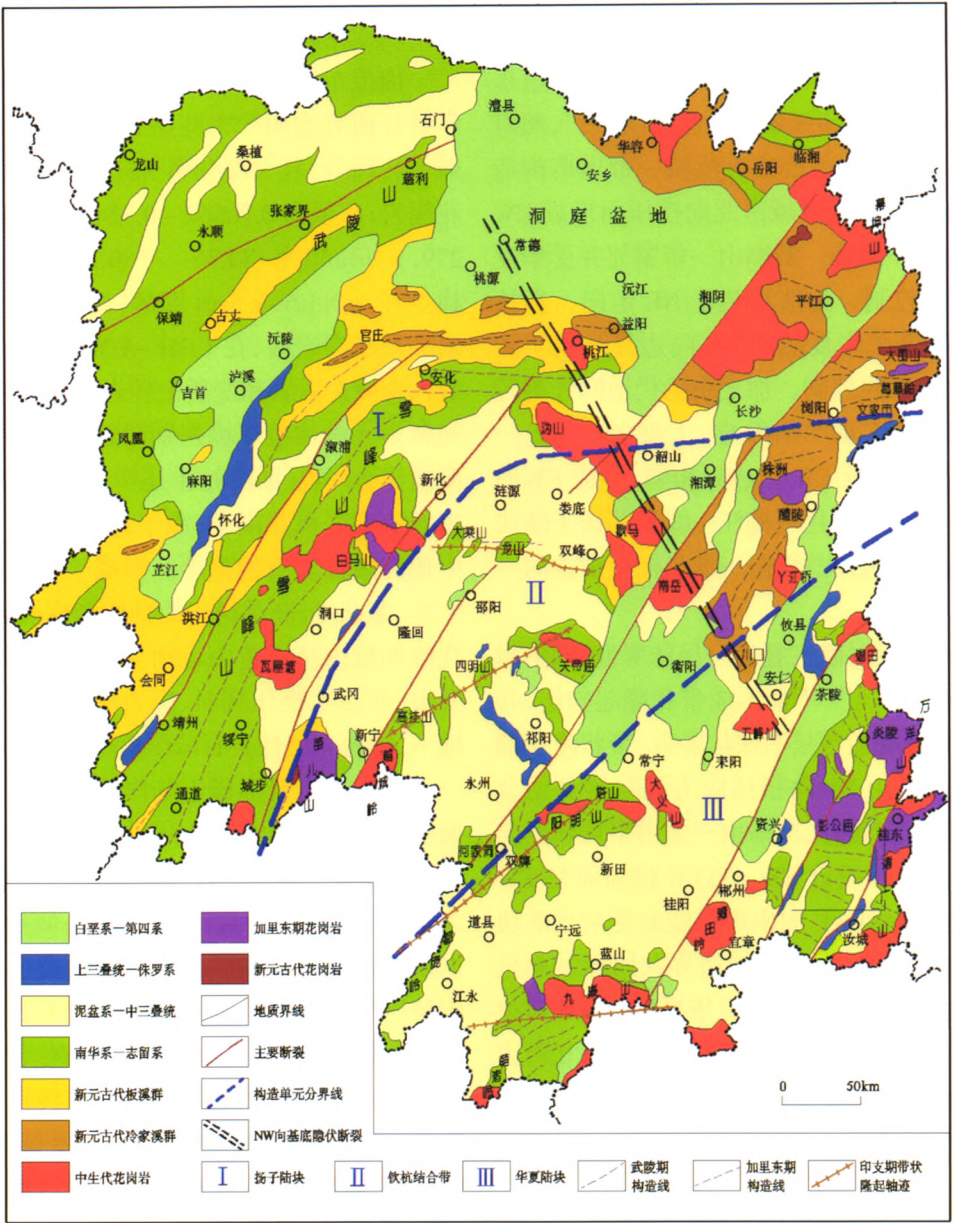


图15 湖南省地质略图(据文献[66],略修改)
Fig. 15 Geological sketch map of Hunan Province (modified from reference [66])

确定钦杭结合带的西部边界自城步一带经过。

(4)川口—双牌汇聚带明显控制了南华纪—寒武纪的沉积作用,该带北西为相对稳定的碎屑岩、碳酸盐岩和硅质岩沉积,该带南东以活动性复理石沉积为主^[28]。浏阳—城步汇聚带则为志留纪早—中期的沉积边界,该带南东面钦杭结合带内巨厚的软弱岩系易于产生逆冲推覆与褶皱变形而抬升成山;北西面的扬子陆块区成为前陆盆地而充填巨厚的志留纪复理石沉积。

(5)刚性块体边界对邻侧构造形迹的走向具有明显的控制作用,通常使构造线与块体边界趋于一致。以武陵期陆/洋/陆板块格局暨上述板块边界的控制作用可以很好地解释武陵运动和加里东运动构造线的走向变化^[66]。武陵运动造成冷家溪群的褶皱,就冷家溪群出露地带而言,北部官庄—益阳一带构造线呈近东西向,与旁侧的浏阳—城步汇聚带走向一致。在东段,长沙—浏阳一带构造线与浏阳—城步汇聚带一致而呈EW向;而在钦杭结合带

内,因北部和南部分别受 EW 向扬子陆块南缘边界和华夏陆块北西侧 NE 向边界控制,武陵期构造线自北而南由 EW 向逐渐转为 NE 向(图 15)。加里东运动中总体处于南北向区域挤压应力场中^[8,25],湘南九嶷山隆起与湘东南彭公庙—汝城一带远离构造边界,构造变形主要受区域南北向挤压而形成 EW 向褶皱;都庞岭—双牌—泗洲山一带紧邻并受华夏陆块北西边界控制,构造线趋于 NE 走向;高挂山—关帝庙一带受华夏陆块 NE 向边界与扬子陆块 NNE 向边界共同控制,加之中生代逆时针旋转叠加,构造线呈 NE 向~NNE 向;大乘山—龙山一带与扬子陆块南缘近 EW 向边界相邻,形成 EW 向隆起;通道—溆浦—安化—桃江一线紧邻扬子陆块东南边界,构造线因而与浏阳—城步汇聚带走向一致(图 15)。

此外,印支晚期(晚三叠世—早侏罗世)湘中南遭受区域 SN 向挤压^[34-35,67]而形成带状隆起构造,并因早燕山期褶皱叠加常呈串珠状展布。带状隆起的走向变化同样可由 SN 向挤压应力场与钦杭结合带的边界控制得以解释:白马山—龙山串珠状隆起与扬子陆块南缘东段近 EW 向边界相邻而呈 EW 向;高挂山—关帝庙 NE 向串珠状隆起受华夏陆块 NE 向边界与扬子陆块 NNE 向边界共同控制而呈 NE 向;都庞岭—阳明山隆起受华夏陆块 NE 向边界控制而呈 NE 向;九嶷山隆起离华夏板块北西边界较远而受其影响较小,主要受 SN 向挤压控制而呈 EW 走向(图 15)。

4 加里东运动和印支运动构造特征的岩浆响应

4.1 花岗质岩浆活动对早古生代后期陆内造山过程的约束

对湘西南加里东期花岗岩进行了锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测试,得到苗儿山岩体(428.5 ± 3.8 Ma 和 (409 ± 4) Ma^[57]、越城岭岩体(436.6 ± 4.8 Ma 和 (430.5 ± 4.3) Ma^[58]、兰蓉岩体(443.5 ± 8.1 Ma^[59]、白马山岩体(411.0 ± 4.5 Ma[●]等年龄数据,结合邻区海洋山岩体(431 ± 7 Ma^[60]、九嶷山雪花顶岩体(432 ± 21 Ma^[60]等年龄,揭示出湘西南加里东期花岗质岩浆活动可分为 2 期,分别为早志留世(约 430~445 Ma)和志留纪末—泥盆纪初(410 Ma 左右),且城

步—新化断裂以东发生了早、晚两期而断裂以西仅发生晚期花岗质岩浆活动(图 16)。

加里东期苗儿山、越城岭、兰蓉岩体的地球化学特征研究表明^[57-59]:花岗岩总体属过铝质高钾钙碱性花岗岩,且大部分属 ASI 值大于 1.1 的强过铝花岗岩; I_{Σ} 值为 0.70660~0.72415, $\varepsilon_{\text{Sr}(t)}$ 值为 30~279, $\varepsilon_{\text{Nd}(t)}$ 值为 -11.76~-7.80, $t_{2\text{DM}}$ 为 1.80~2.12 Ga;样点在 $\varepsilon_{\text{Nd}(t)}$ - $\varepsilon_{\text{Sr}(t)}$ 图解(图 17)中主要落入华南 S 型花岗岩区,在 C/MF-A/MF 图(图 18)中样品落入变质泥质岩和变质杂砂岩部分熔融区;氧化物和微量元素构造环境判别图解指示岩体形成于后碰撞构造环境(图略)。上述特征表明加里东期花岗岩属典型壳源花岗岩,源于地壳增厚、升温导致的中地壳酸性岩石的重熔,形成于后碰撞构造环境^[57-59]。鉴此,推断花岗岩的具体形成机制为:早古生代晚期板内挤压造山运动^[102]导致中、上地壳增厚、升温,尔后在挤压减弱、应力松弛的后碰撞构造环境下,中地壳酸性岩石减压熔融并向上侵位。

鉴于花岗岩形成于陆内挤压造山之后的后碰撞构造环境,由此推断上述早、晚两期岩浆活动分别与奥陶纪末—志留纪初的北流运动(崇余运动)^[103]和志留纪后期的广西运动^[104-105]有关;城步—新化断裂以东在北流运动和广西运动中均产生过强烈的陆内挤压与地壳增厚,断裂以西仅于广西运动中产生过强烈陆内挤压变形,反映了早古生代后期陆内造山自南东向北西的迁移过程(图 19);志留纪期间断裂以东隆升剥蚀,断裂以西(现雪峰造山带)因东侧逆冲块体的重力荷载而为前陆盆地并接受沉积(图 19-A)。因此,区域上城步—新化断裂以东志留系的缺失属沉积缺失而非后期剥蚀造成。值得指出的是,城步—新化断裂东侧志留系在湖南境内缺失,但往南至广西境内可有少量发育。唐兰等^[106]近年来在桂北新安(具体位于苗儿山岩体南端东侧即城步—新化断裂东侧)田岭口组中发现志留系底部 *Neodiptograptus modestus* 笔石层,该层之上为厚约 150 m 的砂岩(未见笔石),砂岩之上为泥盆系角度不整合覆盖。田岭口组顶部砂岩应为北流运动导致沉积盆地封闭过程中的最后沉积,此为本文城步—新化断裂以东在北流运动中即产生强烈陆内挤压的认识提供了佐证。

城步—新化断裂两侧晚古生代构造—岩浆演化过程的差异,应与两侧扬子陆块和钦杭结合带构

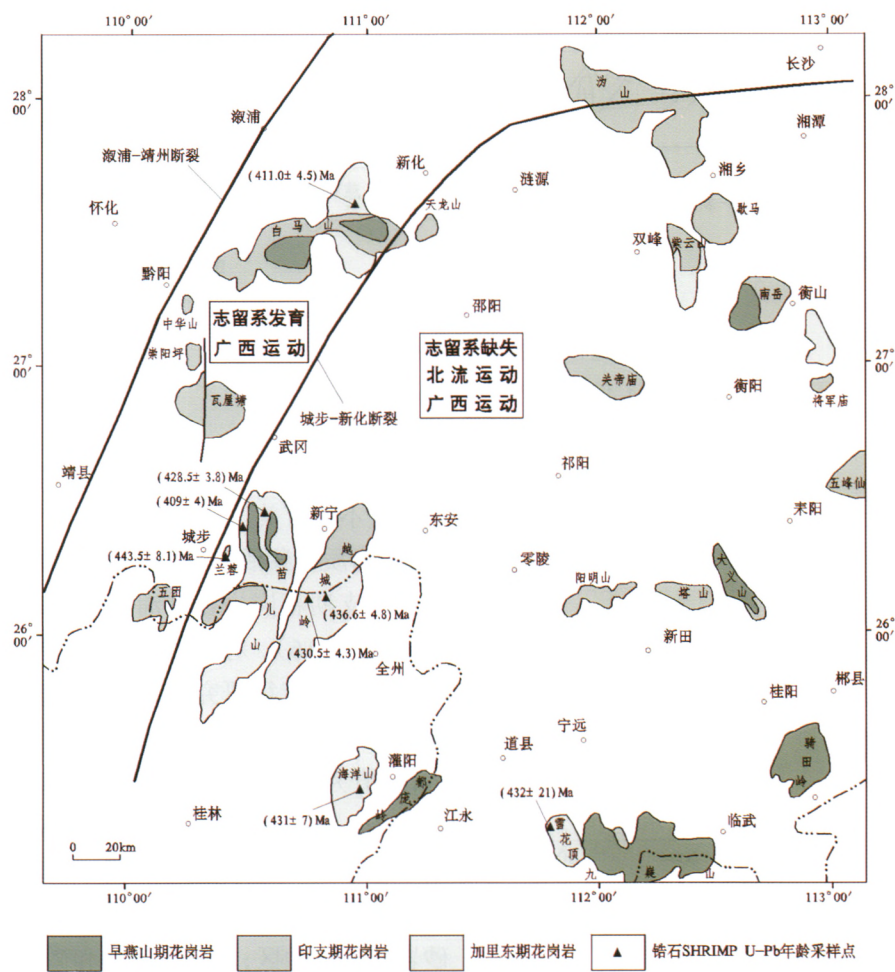


图16 区域花岗岩分布及加里东期花岗岩年龄数据

Fig. 16 Granite Distribution and the ages of the Caledonian granites

数据来源见本文相关参考文献.

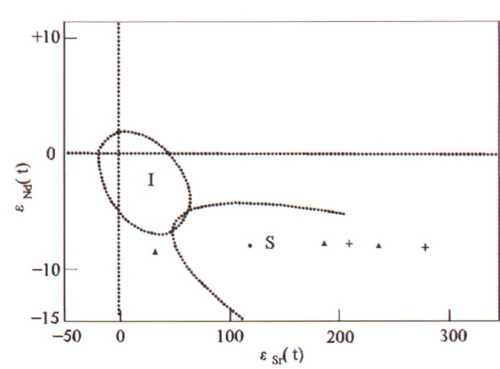


图17 加里东期花岗岩 $\epsilon_{Nd}(t) - \epsilon_{Sr}(t)$ 图解

Fig.17 $\epsilon_{Nd}(t) - \epsilon_{Sr}(t)$ diagram for Caledonian granites

I—华南I型花岗岩; S—华南S型花岗岩, 据刘昌实等, 1990^[100]

●兰蓉岩体; ▲苗儿山岩体; +越城岭岩体

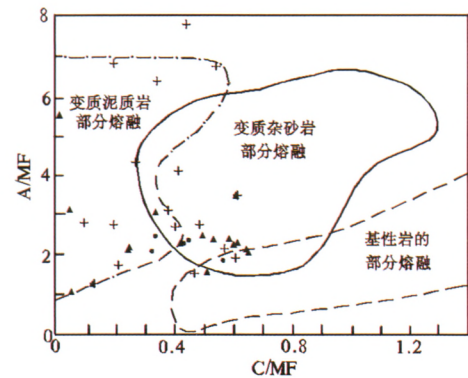


图18 加里东期花岗岩 C/MF-A/MF 图解

Fig. 18 C/MF-A/MF diagram for Caledonian granites

底图据Alther 等, 2000^[101]

●兰蓉岩体; ▲苗儿山岩体; +越城岭岩体.

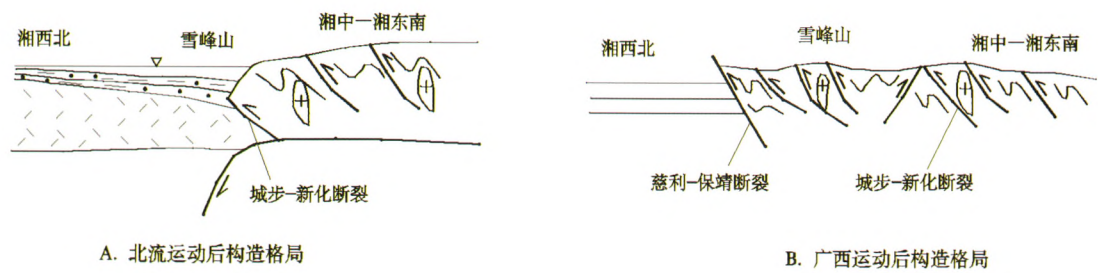


图19 早古生代陆内造山迁移
Fig. 19 Early Paleozoic orogenic migration

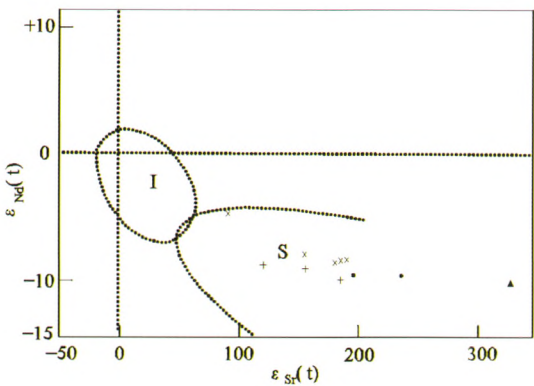


图20 印支期花岗岩 $\epsilon Nd(t)-\epsilon Sr(t)$ 图解
Fig. 20 $\epsilon Nd(t)-\epsilon Sr(t)$ diagram for Indosinian granites
I—华南I型花岗岩; S—华南S型花岗岩, 据刘昌实等, 1990^[90]
●: 五团岩体; ×: 瓦屋塘岩体; ▲: 苗儿山岩体; +: 关帝庙岩体

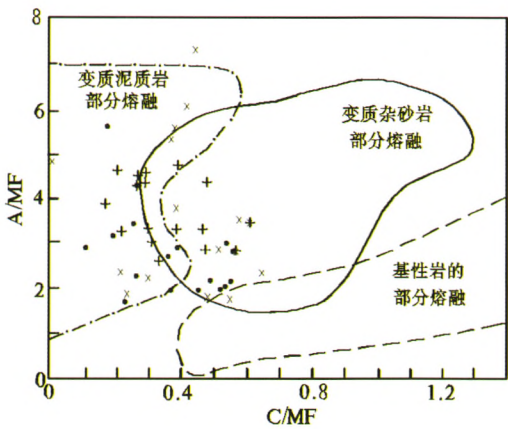


图21 印支期花岗岩C/MF-A/MF图解
Fig. 21 C/MF-A/MF diagram for Indosinian granites
底图据Alther 等, 2000^[100]
●: 五团岩体; ×: 瓦屋塘岩体; +: 越城岭岩体

造强度不同有关。

4.2 花岗质岩浆活动对印支运动构造属性的约束

印支期花岗岩在溆浦—靖州断裂以东地区分布广泛(图 16)。对五团、瓦屋塘和关帝庙岩体进行的地球化学特征研究表明^[57-59],印支期花岗岩主要属高钾钙碱性系列强过铝(ASI 值大于 1.1)花岗岩类, I_A 值为 0.71061 ~ 0.72110, $\epsilon Nd(t)$ 值为 -9.95 ~ -4.82, t_{2DM} 为 1.38 ~ 1.82 Ga;在 $\epsilon Nd(t)-\epsilon Sr(t)$ 图解(图 20)中主要落入华南 S 型花岗岩区,在 C/MF-A/MF 图(图 21)中落入变质泥质岩和变质杂砂岩部分熔融区;多个氧化物和微量元素构造环境判别图解指示岩体形成于后碰撞构造环境(图略)。上述特征表明印支期花岗岩主要源于中上地壳酸性岩石重熔,与地壳增厚升温之后的后碰撞减压熔融有关,软流圈上涌和热量的向上传递可能对花岗质岩浆形成也起到一定作用^[57-59]。

对湘西南五团岩体和瓦屋塘岩体进行的锆石 SHRIMP-U-Pb 同位素分析,分别得到 $(220.5 \pm 4.4) \text{ Ma}$ ^[9] 和 $(216.4 \pm 2.4) \text{ Ma}$ 、 $(215.3 \pm 3.2) \text{ Ma}$ ^[61] 等年龄数据,表明岩体形成于晚三叠世。此外,除局部形成 240 Ma 左右的印支早期同碰撞花岗岩外,白马山、大神山、桃江、岩坝桥、沅山、歇马、紫云山、丫江桥、关帝庙、锡田、王仙岭、阳明山、苗儿山等印支期花岗岩的大量锆石 U-Pb 年龄数据,表明岩体主要形成于 230 ~ 205 Ma 期间的晚三叠世(见文献[55]及其参考文献)。

综上,作为印支期花岗岩主体的晚三叠世花岗岩的主要形成机制为:在中三叠世印支运动之后挤压应力相对松弛、深部压力降低的后碰撞构造环境下,因地壳增厚而升温的中、上地壳岩石减压熔融

并向上侵位。显然,晚三叠世如此广泛后碰撞花岗岩的发育,进一步佐证了中三叠世后期印支运动具陆内强变形特征,部分研究者提出的华南印支运动强度不大的观点^[33]难以成立。

5 中生代陆相盆地成因研究新进展

5.1 湘东南晚三叠世—侏罗纪盆地成因

关于华南早中生代沉积盆地性质存在不同认识。舒良树等^[78,107]研究认为中国东南部晚三叠世—早侏罗世盆地为特提斯构造域和华南—华北板块碰撞影响下与挤压有关的近 EW 向类前陆拗陷盆地,中侏罗世盆地为陆内后造山伸展有关的裂谷盆地;在南岭及邻区中、新生代盆地分布图中,湘东南 T_3 — J_1 盆地被明确厘定为类前陆盆地^[107]。赵宗举等^[108]则认为江南—雪峰隆起带以东地区在晚三叠—中侏罗世主要受古西太平洋板块俯冲影响而形成弧后引张断陷盆地。鉴于存在显著认识分歧,柏道远等对湘东南晚三叠世—侏罗纪沉积特征及盆地性质和成因机制进行了新的探讨,提出盆地的形成主要与区域 SN 向挤压下先期(印支运动)NNE 向断裂产生 EW 方向伸展有关^[67],末期盆地转为挤压盆地。简要阐述如下:

(1)就湘东南 T_3 — J_1 盆地而言,前人^[107]EW 向类前陆盆地认识欠妥。首先,沉积物分布及岩相特征研究表明,继中三叠世后期印支运动抬升、剥蚀之后,湘东南—湘东北浏阳和赣西萍乡一带晚三叠世中晚期再次沉降并发生自南向北的海侵,形成总体呈 NNE~SN 向展布的狭长海湾^[29],表明不存在 SN 向挤压相关的 EW 向构造隆起带的阻隔以及 EW 向类前陆拗陷盆地。其次,在挤压相关的类前陆拗陷盆地中,沉积物一般应覆于相对较新地层出露区之上,可湘东南地区并非如此,如三都残留盆地东缘上三叠统覆于泥盆系棋梓桥组—锡矿山组之上,而不是东侧的石炭系石蹬子组—梓门桥组之上;永兴北东面的侏罗系高家田组覆于二叠系栖霞组—龙潭组之上,而不是西侧的中三叠统石镜组之上^[54]。再次,若为 SN 向挤压形成的类前陆盆地,则原型盆地长轴展布方向应为 EW 向,可事实情况完全相反:晚三叠世沉积仅发育于茶郴断裂东侧,显示原型盆地呈 NNE 向狭窄条状展布;早侏罗世沉积分布面更广,显示盆地向东、西两侧的扩展过程。

(2)鉴于上述多方面证据不支持前陆拗陷盆地,且早中侏罗世之交长城岭和汝城等地有玄武岩的喷发^[109-110],认为湘东南晚三叠世—早侏罗世盆地为伸展盆地,其形成可能与特提斯构造域和华南—华北板块碰撞影响下区域南北向挤压^[35,36,107]有关。即在 SN 向挤压作用下,作为构造薄弱带的先期(印支运动)NNE 向茶陵—郴州大断裂因与挤压方向小角度相交而产生 EW 向引张,茶郴断裂东盘(上盘)下滑沉降而形成盆地,并因南来海水入侵而形成海湾。随着伸展活动的加强,早侏罗世开始盆地向东、西两侧扩张,致使侏罗纪沉积范围东扩至汝城一带,西扩至耒阳以西。

上述伸展机制主要是就晚三叠世—早侏罗世而言。中侏罗世受古太平洋板块(或伊泽奈崎板块)俯冲影响^[34-36,78]产生 NEE 向挤压,湘东南沉积盆地可能已转为挤压性质^[110]。

5.2 晚三叠世—侏罗纪靖州盆地成因

靖州盆地是位于雪峰构造带南段的一个晚三叠世—中侏罗世小型陆相盆地,张进等^[14,23]研究提出其为 NNE 向溆浦—靖州断裂左行走滑形成的拉分伸展盆地。但新的研究表明,该盆地实为挤压类前陆盆地^[68],主要依据有:①现今残留盆地边界与上古生界下伏不整合界线及上古生界内部石炭系/二叠系界线平面上总体协调一致,说明盆地开始接受沉积时总体为挤压挠曲作用下形成的低缓洼地。② T_3 — J_1 下部成分成熟度极高的砾岩以及中侏罗统砂质沉积物中远源的黑云母和玄武岩类岩屑,指示盆地应处于相对稳定构造环境,与挤压挠曲洼地环境相吻合。③ T_3 — J_2 同沉积期构造变形为挤压成因:盆地北端 T_3 — J_1 充填于岩层挤压弯曲形成的凹陷;自盆地边缘向中央中侏罗统岩层产状逐渐变缓,指示 J_2 盆地受到 NW 向挤压并产生持续褶皱变形。④盆地东缘上古生界岩层产状较陡而盆地西缘岩层产状平缓;盆缘上古生界与盆地沉积所组成向斜的轴迹显著偏于东缘;沉积环境西浅东深等,进一步暗示盆地主发育期受控于 NW 向挤压与东缘逆冲块体的重力载荷。⑤大量的构造调查显示,盆缘伸展断裂少见,更多的是不同方向挤压下形成的走滑断裂、逆断裂、共轭剪节理等形迹;盆地东缘局部发育的正断裂更可能为白垩纪区域伸展背景的产物。⑥就地表断裂走向来看,溆浦—靖州断裂在靖州盆地一段为 NE 走向,而往北向西偏转为

NNE 向, 如此断裂左行走滑时靖州盆地所处部位应为挤压区而非拉张区。

据盆地沉积和构造特征及区域大地构造演化背景, 盆地的形成主要与晚三叠世—早侏罗世区域 SN 向挤压^[35-36,107], 及中侏罗世区域 NWW 向和 NNE 向左行走滑有关。

注释:

① 湖南省地质调查院. 1:25 万邵阳幅区域地质调查报告 [R]. 2013.

参考文献:

- [1] 黄汲清. 中国主要地质构造单元[J]. 中央地质调查所地质专报, 甲种. 1945, 20: 1-165.
- [2] 朱夏. 试论中国中生代油气盆地的地球动力学背景 [A]. 见: 朱夏“《论中国含油气盆地构造》”[C]. 北京: 石油工业出版社, 1980. 61-70.
- [3] 郭令智, 施央申, 马瑞士, 叶尚夫, 卢华复. 中国东南部地体构造的研究[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1984, 26(4): 1-7.
- [4] 王鸿祯, 杨巍然, 刘本培. 华南地区古大陆边缘构造史[M]. 武汉: 武汉地质学院出版社, 1986.
- [5] 水涛. 中国东南大陆基底构造格局 [J]. 中国科学 (B 辑), 1987, (4): 414-422.
- [6] 许靖华, 孙枢, 李继亮. 是华南造山带而不是华南地台[J]. 中国科学 B 辑, 1987, 12(2): 1107-1115.
- [7] 刘宝珺, 许效松, 潘杏南, 黄慧琼, 徐强. 中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [8] 丘元禧, 张渝昌, 马文璞. 雪峰山陆内造山带的构造特征与演化[J]. 高校地质学报, 1998, 44(4): 432-443.
- [9] 殷鸿福, 吴顺宝, 杜远生, 彭元桥. 华南是特提斯多岛洋体系的一部分 [J]. 地球科学—中国地质大学学报, 1999, 24(1): 1-12.
- [10] 杨明桂, 黄水保, 楼法生, 唐维新, 毛素斌. 中国东南陆区岩石圈结构与大规模成矿作用 [J]. 中国地质, 2009, 36(3): 528-543.
- [11] 张国伟, 郭安林, 董云鹏, 姚安平. 大陆地质与大陆构造和大陆动力学[J]. 地学前缘, 2011, 18(3): 1-12.
- [12] 王自强, 高林志, 丁孝忠, 黄志忠. “江南造山带”变质基底形成的构造环境及演化特征 [J]. 地质论评, 2012, 58(3): 401-413.
- [13] 郭令智, 施央申, 马瑞士. 华南大地构造格架和地壳演化 [A]. 国际交流地质学术论文集 (1). 北京: 地质出版社, 1980. 109-116.
- [14] 张进, 马宗晋, 陈必河, 王宗秀, 李涛. 雪峰山中段古生代变形的特征及意义——以绥宁—靖州—天柱—新晃剖面为例[J]. 地质通报, 2010, 29(1): 44-57.
- [15] 丁道桂, 刘光祥, 吕俊祥, 潘文蕾. 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.
- [16] 丁道桂, 郭彤楼, 刘运黎, 翟常博. 对江南—雪峰带构造属性的讨论[J]. 地质通报, 2007, 26(7): 801-809.
- [17] 陈海泓, 孙枢, 李继亮, 王清晨, 彭海波, 徐树桐, 许靖华. 雪峰山大地构造的基本特征初探 [J]. 地质科学, 1993, 28(3): 201-210.
- [18] 贾宝华. 湖南雪峰隆起区构造变形研究 [J]. 中国区域地质, 1994, (1): 65-71.
- [19] 冯向阳, 孟宪刚, 邵兆刚, 王建平, 朱大岗. 雪峰山陆内造山带变形特征及挤压推覆—伸展滑脱构造的物理模拟[J]. 地球学报, 2001, 22(5): 419-424.
- [20] 李献华, 王选策, 李武显, 李正祥. 华南新元古代玄武质岩石成因与构造意义: 从造山运动到陆内裂谷[J]. 地球化学, 2008, 37(4): 382-398.
- [21] 周金城, 王孝磊, 邱检生. 江南造山带形成过程中若干新元古代地质事件[J]. 高校地质学报, 2009, 15(4): 453-459.
- [22] 范小林. 雪峰山系—沅麻盆地地质结构及找油意义[J]. 石油实验地质, 1996, 18(1): 64-70.
- [23] 张进, 马宗晋, 杨健, 陈必河, 雷永良, 王宗秀, 李涛. 雪峰山西麓中生代盆地属性及构造意义 [J]. 地质学报, 2010, 84(5): 631-650.
- [24] 洪大卫, 谢锡林, 张季生. 试析杭州—诸广山—花山高 ϵ Nd 值花岗岩带的地质意义 [J]. 地质通报, 2002, 21(6): 348-354.
- [25] 郝义, 李三忠, 金宠, 戴黎明, 刘博, 刘丽萍, 刘鑫. 湘赣桂地区加里东期构造变形特征及成因分析[J]. 大地构造与成矿学, 2010, 34(2): 166-180.
- [26] 饶家荣, 王纪恒, 曹一中. 湖南深部构造 [J]. 湖南地质, 1993, 增刊7: 1-100.
- [27] 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. 中国华南大陆构造与问题[J]. 中国科学: 地球科学, 2013, 43(10): 1553-1582.
- [28] 湖南省地质矿产局. 湖南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1988.
- [29] 任纪舜. 论中国南部的大地构造 [J]. 地质学报, 1990, 64(4): 275-288.
- [30] Wang Yuejun, Zhang Yanhua, Fan Weiming, Peng Toupeng. Structural signatures and $40\text{Ar}-39\text{Ar}$ geochronology of the Indosinian Xuefengshan tectonic belt, South China Block[J]. Journal of Structural Geology, 2005, 27: 985-998.

- [31] 柏道远,李建清,周柯军,马铁球,王先辉. 祁阳山字型构造质疑[J]. 大地构造与成矿学, 2008,32(3):265-275.
- [32] 柏道远,邹宾微,赵龙辉,李泽泓,王先辉,马铁球,肖冬贵,彭云益. 湘东太湖逆冲推覆构造基本特征研究 [J]. 中国地质, 2009,36(1):53-64.
- [33] 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.
- [34] 舒良树,周新民. 中国东南部晚中生代构造作用[J]. 地质论评, 2002,48(3):249-260.
- [35] 张岳桥,徐先兵,贾东,舒良树. 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[J]. 地学前缘, 2009, 16(1): 234-247.
- [36] 徐先兵,张岳桥,贾东,舒良树,王瑞瑞. 华南早中生代大地构造过程[J]. 中国地质, 2009,36(3):573-593.
- [37] 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.
- [38] 朱锐,郭建华,周小康,王明艳,苏娟. 湖南涟源凹陷构造解析[J]. 河南石油, 2006,20(1):5-7.
- [39] 刘恩山,李三忠,金宠,戴黎明,刘博,张国伟. 雪峰陆内构造系统燕山期构造变形特征和动力学[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, 30(5): 63-74.
- [40] 梁新权,范蔚茗,王岳军,胡宝清. 论雪峰山构造带中生代变形[J]. 湖南地质, 1999,18(4):225-228.
- [41] 颜丹平,汪新文,刘友元. 川鄂湘边区褶皱构造样式及其成因机制分析[J]. 现代地质, 2000, 14(1): 37-43.
- [42] Yan Danping, Zhou Meifu, Song Honglin, Wang Xinwen, John Malpas. Origin and tectonic significance of a Mesozoic multi-layer over-thrust system within the Yangtze Block (South China)[J]. Tectonophysics, 2003, 361:239-254.
- [43] 刘学锋,刘成鑫. 渝鄂湘边区构造样式分析[J]. 江汉石油学院学报, 2002, 24(2):1-4.
- [44] 郭建华,朱美衡,刘辰生,刘学锋,张或丹,王明艳. 湖南桑植-石门复向斜走廊剖面构造特征分析 [J]. 大地构造与成矿学, 2005, 29(2): 215-222.
- [45] 张必龙,朱光, Jiang Dazhi, 胡召齐,向必伟,张力,陈印. 川东“侏罗山式”褶皱的数值模拟及成因探讨[J]. 地质论评, 2009, 55(5):701-711.
- [46] 杨坤光,李学刚,戴传固,张慧,周琦. 黔东南隔槽式褶皱成因分析[J]. 地学前缘, 2012,19(5):53-60.
- [47] 王宗秀,张进,关会梅,汤良杰,肖伟峰,鄢犀利. 雪峰山西侧地区构造形变与油气圈闭[J]. 地质通报, 2012, 31(11): 1812-1825.
- [48] 柏道远,熊雄,杨俊,钟响,贾朋远,黄文义. 雪峰造山带中段地质构造特征[J]. 中国地质, 2014,41(2):399-418.
- [49] 柏道远,钟响,贾朋远,熊雄. 雪峰造山带南段构造变形研究[J]. 大地构造与成矿学, 2014,38(3):512-529.
- [50] 柏道远,钟响,贾朋远,王先辉,彭云益. 雪峰造山带北段地质构造特征——以慈利—安化走廊剖面为例[J]. 地质力学学报, 2015,21(3): 399-414.
- [51] 柏道远,钟响,贾朋远,熊雄. 雪峰造山带靖州盆地断裂构造及其形成背景探讨 [J]. 大地构造与成矿学, 2013,37(2):173-183.
- [52] 柏道远,姜文,钟响,熊雄. 湘西沅麻盆地中生代构造变形特征及区域地质背景 [J]. 中国地质, 2015,42(6): 1851-1875.
- [53] 柏道远,姜文,熊雄,钟响. 雪峰山西侧构造演化和构造格局对区域油气成藏条件的控制 [J]. 华南地质与矿产, 2015,31(2): 199-209.
- [54] 柏道远,贾宝华,钟响,刘耀荣,贾朋远,黄文义. 湘东南印支运动变形特征研究[J]. 地质论评, 2012,58(1):19-29.
- [55] 柏道远,贾宝华,王先辉,彭云益,贾朋远,凌跃新. 湘中盆地西部构造变形的运动学特征及成因机制 [J]. 地质学报, 2013,87(12):1791-1802.
- [56] 柏道远,熊雄,杨俊,钟响,姜文. 齐岳山断裂东侧盆山过渡带褶皱特征及其变形机制 [J]. 大地构造与成矿学, 2015,39(6):1008-1021.
- [57] 柏道远,钟响,贾朋远,熊雄,黄文义. 南岭西段加里东期苗儿山岩体锆石SHRIMP U-Pb年龄、地球化学特征及其构造意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2004,33(3):407-423.
- [58] 柏道远,钟响,贾朋远,熊雄,黄文义. 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[J]. 地球化学, 2015,44(1):27-42.
- [59] 柏道远,陈必河,钟响,熊雄,贾朋远. 湘西南兰蓉岩体锆石SHRIMP U-Pb年龄、地球化学特征及构造背景[J]. 资源调查与环境, 2014,35(2): 95-105.
- [60] 柏道远,陈必河,钟响,贾朋远,熊雄. 湘西南印支期五团岩体锆石SHRIMP U-Pb年龄、地球化学特征及形成背景 [J]. 中国地质, 2014, 41(6): 2002-2018.
- [61] 柏道远,钟响,贾朋远,熊雄,黄文义. 湘西南印支期瓦屋塘岩体年代学、成因与构造环境研究[J]. 大地构造与成矿学, 2016,待刊.
- [62] 柏道远,钟响,贾朋远,熊雄,黄文义. 湘中印支期关帝庙岩体地球化学特征及成因 [J]. 沉积与特提斯地质, 2014,34(4):92-104.
- [63] 柏道远,贾宝华,刘伟,陈必河,刘耀荣,张晓阳. 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 [J]. 地质学报, 2010,84(12): 1715-1726.
- [64] 柏道远,贾宝华,钟响,贾朋远,刘耀荣,马铁球. 雪峰造山带新元古代构造演化框架 [J]. 沉积与特提斯地质,

- 2011,31(3):78-87.
- [65] 柏道远,马铁球,钟响,李彬,熊雄. 萍乡东桥岩门寨组凝灰岩LA-ICP-MS 锆石U-Pb 年龄及南华冰期底界年代探讨[J]. 岩石矿物学杂志,2015,34(5):637-647.
- [66] 柏道远,贾宝华,钟响,贾朋远,刘耀荣. 湘中南晋宁期和加里东期构造线走向变化成因[J]. 地质力学学报,2012,18(2):165-177.
- [67] 柏道远,钟响,贾朋远,刘耀荣,黄文义. 湘东南晚三叠世—侏罗纪沉积特征及盆地性质和成因机制[J]. 地质力学学报,2011,17(4):338-349.
- [68] 柏道远,钟响,贾朋远,熊雄,黄文义. 雪峰造山带南段靖州盆地成因性质及形成背景[J]. 中国地质,2013,40(4):1079-1091.
- [69] 孟庆秀,张健,耿建珍,张传林,黄文成. 湘中地区冷家溪群和板溪群锆石U-Pb 年龄、Hf同位素特征及对华南新元古代构造演化的意义[J]. 中国地质,2013,40(1):191-216.
- [70] 陈洪德,侯明才,许效松,田景春. 加里东期华南的盆地演化与层序格架[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2006,33(1):1-8.
- [71] 葛祥英,牟传龙,周恩恩,梁薇. 湖南奥陶纪沉积演化特征[J]. 中国地质,2013,40(6):1829-1841.
- [72] 湖南省地质矿产局. 湖南省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1997.
- [73] 柏道远. 湘西南震旦纪长年期沉积相变与构造环境分析[J]. 湖南地质,2001,20(1):5-8.
- [74] 杨绍祥,余沛然. 麻阳陆相红盆东缘推覆构造与成矿作用[J]. 湖南地质,1997,16(1):14-19.
- [75] 杨绍祥. 湘西花桥—大江口地区推覆构造特征[J]. 中国区域地质,2000,19(2):113-119.
- [76] 丘元禧,张渝昌,马文璞. 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,1999:10-45.
- [77] 汪昌亮,颜丹平,张冰,许延波,汤双立. 雪峰山西部中生代厚皮逆冲推覆构造样式与变形特征研究[J]. 现代地质,2011,25(6):1021-1031.
- [78] 万天丰,朱鸿. 中国大陆及邻区中生代—新生代大地构造与环境变迁[J]. 现代地质,2002,16(2):107-118.
- [79] Li X H. Cretaceous magmatism and lithospheric extension in Southeast China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2000, 18(3):293-305.
- [80] Zhou X M, Li W X. Origin of Late Mesozoic igneous rocks in Southeastern China: implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas[J]. Tectonophysics, 2000,326(3-4):269-287.
- [81] Uyeda S, Kanamori H. Back-Arc opening and the mode of subduction[J]. Journal of Geophysical Research, 1979,84(B3):1049-1061.
- [82] 张岳桥,董树文,李建华,崔建军,施炜,苏金宝,李勇. 华南中生代大地构造研究新进展[J]. 地球学报,2012,33(3):257-279.
- [83] 李三忠,王涛,金宠,戴黎明,刘鑫,周小军,王岳军,张国伟. 雪峰山基底隆升带及其邻区印支期陆内构造特征与成因[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2011,41(1):93-105.
- [84] 冯常茂,刘进,宋立军. 中上扬子地区构造变形带成因机制及有利油气勘探区域预测[J]. 地球学报,2008,29(2):199-204.
- [85] 梅廉夫,刘昭茜,汤济广,沈传波,凡元芳. 湘鄂西—川东中生代陆内递进扩展变形:来自裂变径迹和平衡剖面的证据[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2010,35(2):161-174.
- [86] Wang XiaoLei, Zhou JinCheng, Griffin W.L., Wang RuCheng, Qiu JianSheng, O'Reilly S.Y., Xu Xisheng, Liu XiaoMing, Zhang GuiLin. Detrital zircon geochronology of Precambrian basement sequences in the Jiangnan orogen: dating the assembly of the Yangtze and Cathaysia blocks[J]. Precambrian Research, 2007,159:117-131.
- [87] Wang XiaoLei, Zhao GuoChun, Zhou JinChen, Liu Yongheng, Hu Jian. Geochronology and Hf isotopes of zircon from volcanic rocks of the Shuangqiaoshan Group, South China: implications for the Neoproterozoic tectonic evolution of the eastern Jiangnan orogen[J]. Gondwana Research, 2008,18(14):355-367.
- [88] 尹崇玉,刘敦一,高林志,王自强,邢裕盛,简平,石玉若. 南华系底界与古城冰期的年龄:SHRIMP U-Pb定年证据[J]. 科学通报,2003,48(16):1721-1725.
- [89] 高林志,丁孝中,曹茜,张伟恒. 中国晚前寒武纪年表和年代地层序列[J]. 中国地质,2010,37(6):1014-1020.
- [90] 全国地层委员会《中国地层表》编委会. 中国地层表[R]. 2012.
- [91] 孙海清,黄建中,杜远生,罗来,伍皓. 扬子地块东南缘南华系长安组同位素年龄及其意义[J]. 地质科技情报,2014,33(2):15-20.
- [92] 张世红,蒋干清,董进,韩以贵,吴怀春. 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[J]. 中国科学D辑:地球科学,2008,38(12):1496-1503.
- [93] 汪正江,许效松,杜秋定,杨菲,邓奇,伍皓,周小琳. 南华冰期的底界讨论:来自沉积学与同位素年代学证据[J]. 地球科学进展,2013,28(4):477-489.
- [94] 张启锐. 关于南华系底界年龄780Ma数值的讨论[J]. 地层

- 学杂志, 2014, 38(3): 336-339.
- [95] 贾宝华, 彭和求, 唐晓珊, 何江南, 郭乐群. 湘东北文家市蛇绿混杂岩带的发现及意义 [J]. 现代地质, 2004, 18(2): 229-236.
- [96] 周金城, 王孝磊, 邱检生, 高剑峰. 南桥高度亏损N-MORB的发现及其地质意义 [J]. 岩石矿物学杂志, 2003, 22(3): 211-216.
- [97] 马铁球, 陈立新, 柏道远, 周柯军, 李纲, 王先辉. 湘东北新元古代花岗岩体锆石SHRIMP U-Pb年龄及地球化学特征[J]. 中国地质, 2009, 36(1): 65-73.
- [98] 程顺波, 付建明, 徐德明, 陈希清, 马丽艳, 王晓地, 庞迎春. 桂东北大宁岩体锆石SHRIMP年代学和地球化学研究 [J]. 中国地质, 2009, 36(6): 1278-1288.
- [99] 付建明, 马昌前, 谢才富, 张业明, 彭松柏. 湖南九嶷山复式花岗岩体SHRIMP锆石定年及其地质意义 [J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(4): 370-378.
- [100] 刘昌实, 朱金初, 沈渭洲, 徐士进. 华南陆壳改造系列花岗岩类型划分和成岩物质来源 [J]. 地质学报, 1990, 64(1): 43-52.
- [101] Alther R, Holl A, Hegner E, Langer C, Kreuzer H. High-potassium, calc-alkaline I-type plutonism in the European Variscides: northern vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany) [J]. Lithos, 2000, 50: 51-73.
- [102] 舒良树. 华南构造演化的基本特征 [J]. 地质通报, 2012, 31(7): 1035-1053.
- [103] 卢华复. 赣南崇余山区前泥盆纪地层中角度不整合的发现及其意义 [J]. 南京大学学报 (地质学版), 1962, (1): 75-87.
- [104] Ting V K. The orogenic movements in China [J]. Bulletin of Geological Society of China, 1929, 8(2): 151-170.
- [105] 杜远生, 徐亚军. 华南加里东运动初探 [J]. 地质科技情报, 2012, 31(5): 43-49.
- [106] 唐兰, 陈旭, 杨杰, 杨兴莲, 丛培允, 杨显峰, 王欣, 张举, 宋妍妍, 陈中阳, 侯旭东, 张琳娜, 孙海静. 桂北兴安奥陶纪至志留纪初笔石序列的再研究 [J]. 地层学杂志, 2013, 37(1): 1-7.
- [107] 舒良树, 周新民, 邓平, 余心起. 南岭构造带的基本地质特征 [J]. 地质论评, 2006, 52(2): 251-265.
- [108] 赵宗举, 俞广, 朱琰, 周进高, 屠小龙. 中国南方大地构造演化及其对油气的控制 [J]. 成都理工大学学报 (自然科学版), 2003, 30(2): 155-168.
- [109] Zhao Zhenhua, Bao Zhiwei, Zhang Boyou. Geochemistry of the Mesozoic basaltic rocks in southern Hunan Province [J]. Science in China (series D): Earth Sciences, 1998, 41(1): 102-112.
- [110] 柏道远, 汪永清, 王先辉, 马铁球, 张晓阳. 湘东南汝城盆地性质及其对华南燕山早期构造环境的启示 [J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 26(1): 47-54.