

黔东南地区褶皱构造样式及其断层突破模式

崔敏^{1,2}, 汤良杰^{1,2}, 郭彤楼³, 宁飞^{1,2}, 田海芹⁴, 胡东风³

1. 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249
2. 中国石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249
3. 中国石化勘探南方分公司, 四川成都 610041
4. 中国石化勘探分公司, 北京 100029

摘要: 黔东南地区发育隔槽式褶皱组合和逆冲断层. 通过对褶皱和地层的平面展布、断层的产状和性质以及滑脱层的分析, 结合典型地震剖面解释和平衡剖面恢复, 对黔东南地区构造特征及其成因进行了探讨. 结果表明, 隔槽式褶皱的发育不仅与滑脱深度和剥蚀差异有关, 而且与逆冲断层的推覆距离、逆冲断层的产状、断坪断坡长度比、断层突破方式和多层次滑脱等方面存在着密切联系. 结合区域构造演化和推覆距离的制约, 建立了黔东南地区的隔槽式褶皱构造样式的几何学和运动学模型, 确定其主要影响因素是断坪断坡长度比较小、多种方式断层突破和多层次滑脱.

关键词: 隔槽式褶皱; 断层突破; 多层滑脱; 构造; 成因模式; 黔东南地区.

中图分类号: P542

文章编号: 1000-2383(2009)06-0907-07

收稿日期: 2008-11-26

Structural Style and Thrust Breakthrough Model of Fold in Southeast Guizhou

CUI Min^{1,2}, TANG Liang-jie^{1,2}, GUO Tong-lou³, NING Fei^{1,2}, TIAN Hai-qin⁴, HU Dong-feng³

1. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, Beijing 102249, China
2. Basin & Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China
3. Southern Exploration Division Company, SINOPEC, Chengdu 610041, China
4. Exploration Company of SINOPEC, Beijing 100029, China

Abstract: The trough-like folds and thrust are well developed in Southeast Guizhou. The characteristics and origin of the structure in Southeast Guizhou are studied by analyzing the planar distribution of the folds and the strata, the nature and occurrence of the fault, the detachment beddings and the interpreted and restored seismic cross-sections. The results show that besides the depth of decollement and the denudation difference, the formation of the trough-like folds is also controlled by the distance from the nappe, the occurrence of the thrust, the length scale ratio of flat to ramp, the breakthrough ways of the fault and the multi-decollement. Combining with the regional tectonic evolution and the nappe distance, the geometry and the kinematics models of the trough like folds structural style are established in Southeast Guizhou, which are mainly controlled by the minor scale of flat to ramp, various ways of thrust breakthrough and multi-decollement.

Key words: trough-like folds; thrust breakthrough; multi-decollement; tectonics; genetic model; Southeast Guizhou.

滑脱褶皱是褶皱带中的主要构造样式, 侏罗山、扎格罗斯褶皱带、川东褶皱带以及川湘鄂边区等地区都发育大量的滑脱褶皱(Mitra, 2003; Yan *et al.*, 2003; 汤良杰等, 2007). 典型的滑脱褶皱下部存在一个断层滑脱面, 断层终止于滑脱面内, 其在地表出露的组合形态通常为隔槽式或隔挡式褶皱. 近年来, 越

来越多的学者注意到这两种褶皱组合的翼部通常发育大量的逆冲断层, 进而提出一些断层突破的相关概念和模型, 并对滑脱层特点对褶皱形态和构造演化的影响进行了研究. Erslev and Mayborn (1997) 通过对加拿大冲断带内不同褶皱几何学特征的分析, 提出了逆冲断层前缘的多种断层传播褶皱作用

部位,是黔南坳陷的一部分,面积近 $3 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图1)。其东侧与出露于元古界板溪群的雪峰隆起相邻,西侧为黔中隆起,北缘大体以施秉—贵阳一线为界,南面为桂中坳陷和黔西南坳陷,区内大面积出露古生界和三叠系,局部出露侏罗系以及不整合于三叠系之上的白垩系和新生界。侏罗系之下的地层主要为古生界和三叠系碳酸盐岩,其中志留系和下寒武统发育有泥岩、页岩;侏罗系及其之上的地层为陆相碎屑岩。作为扬子地台的一部分,黔东南地区在晋宁运动之后形成稳定基底,并开始接受沉积,其后经历了多期构造运动的改造,其中,中、新生代的构造运动最为强烈,奠定了现今的构造格局(贵州省地质矿产局,1987)。

2 构造特征

我国南方地层以海相碳酸盐岩为主,大多数地层之间发育有相对塑性的粉砂岩、泥岩和页岩。由于存在相对软弱的非能干层和强烈的构造活动,我国南方广泛发育侏罗山式褶皱组合,如川东和湘鄂西(Yan *et al.*, 2003; 丁道桂和刘光祥, 2007)。除了具有典型隔槽式褶皱特征之外,黔东南地区的地层展布、褶皱、断层和滑脱层分布具有独特的特点(图1)。

2.1 褶皱特征

黔东南地区存在三对尖棱向斜和箱状背斜组合,它们在南北向上延伸可达 200 km,束状展布。自西向东依次为贵阳向斜、龙里背斜、贵定向斜、黄丝背斜、都匀向斜和王司背斜。3个向斜核部地层产状较陡,自东向西出露地层依次变新(图1)。都匀向斜的核部主要为三叠系,贵定向斜和贵阳向斜局部保存有侏罗系和上白垩统。3个背斜近等间距排列,出露地表的宽度是向斜宽度的 3~5 倍,核部地层产状平缓,自东向西出露地层也依次变新。距离雪峰隆起西侧较远的是龙里背斜,其核部主要为上古生界,大面积出露泥盆系和石炭系;东侧紧邻雪峰隆起的王司背斜,核部则主要由下古生界组成;而位于中部的龙里背斜,出露地层为奥陶系至石炭系。

2.2 断层展布

断层以近南北向和北东向的逆冲断层以及近东西向的走滑断层为主。3条走向南北的逆冲断层(贵阳断层、贵定断层和都匀断层)均位于前文所提到的3个尖棱向斜核部。距离雪峰隆起较近的地区,断层

数目较多、产状陡,以逆冲断层为主(图1A-A')。断层和褶皱的平面展布均表现为向西突出的弧形,意味着在深部存在相应的隐伏断层(李岩峰等,2007)。结合雪峰隆起的构造演化(丘元禧等,1999; Yan *et al.*, 2003),可知本地区近南北向与北东向的构造形迹是受到了自东向西的挤压推覆,而东西向的走滑断层主要是横向上调节断层位移量的变化。大多数逆冲断层东倾,局部西倾的逆断层可能是深部断层反冲引起的(图1A-A')。

2.3 滑脱层

前人研究成果表明,贵州地区存在板溪群、下寒武统、下泥盆统和上三叠统等四套主要滑脱层(贵州省地质矿产局,1987; 汤良杰等,2008),而黔东南地区主要发育板溪群和下寒武统。板溪群为一套变质的泥质岩,下伏的梵净山群是以变质—岩浆杂岩为主的刚性岩块,二者之间易发生顺层滑脱;下寒武统牛蹄塘组至明心寺组为一套巨厚的泥页岩,而震旦系主要为相对刚性的碳酸盐岩为主,其间的层面构成了黔东南地区另一重要滑脱层。

3 典型地震剖面解释

通过对深部地震资料的地质解释、平衡剖面恢复和地表构造特征的分析,获得了黔东南地区3个典型的尖棱向斜的深部构造特征(图2)。

贵阳向斜位于贵阳、惠水一线,是3个向斜中距离雪峰隆起最远的一个向斜构造。地震剖面(图2a-2)显示贵阳向斜西翼缺失奥陶系和志留系,这可能与发生在志留纪末的广西运动和黔中隆起抬升有关。板溪群内部的滑脱作用造成了震旦系及其以上地层形成褶皱。东侧3条逆冲断层在下寒武统底部的滑脱层内终止(图2a-2),其余断层大多切割三叠系,可能与之后的燕山期构造运动有关。平衡剖面恢复结果表明,在寒武系沉积后板溪群内部发育滑脱断层(图2a-4),随着构造运动的加强,断层不断向前扩展,底部滑脱断层突破作用不发育,仅在板溪群之上形成滑脱褶皱(图2a-3)。滑脱于寒武系内部的3条逆冲断层,是由燕山期和喜马拉雅期构造运动所引起的寒武系底部滑脱断层沿轴面低角度突破所致(图2a-2)。剖面上,该3条断层滑脱深度比板溪群内的滑脱断层层位要浅,整体为浅部寒武系滑脱。结合地表出露地层的时代和平面展布(图1),笔者认为该向斜部位相对于贵定向斜和都匀向斜距离雪峰隆

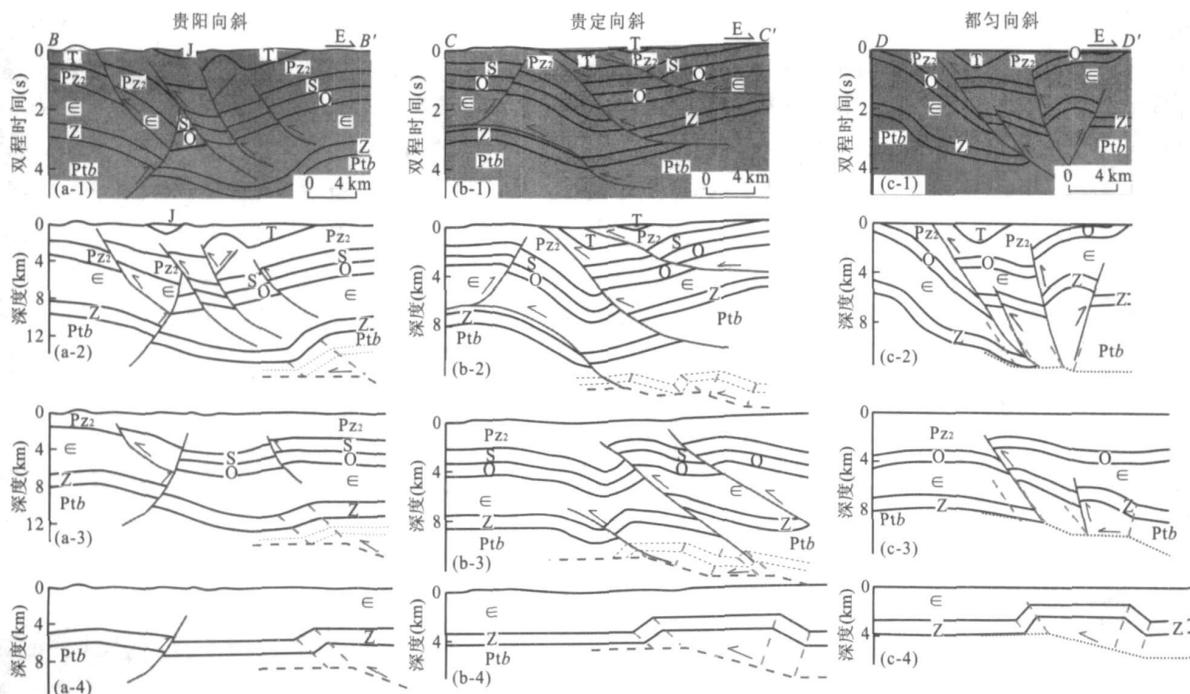


图 2 黔东南地区隔槽式褶皱平衡剖面恢复(位置见图 1)

Fig. 2 Restoration of seismic cross-sections of through like fold in Southeast Guizhou

起较远, 剥蚀作用较弱, 所以隔槽式褶皱特征显示相对不明显。

贵定向斜位于龙里背斜和黄丝背斜之间, 延伸较远. 该向斜发育震旦系至三叠系地层. 核部发育逆冲断层, 而且断层产状与相邻的龙里背斜东翼地层产状相似(图 2b). 向斜西翼揭示了上部断层和褶皱均与下部的逆冲断层有关, 同时具有板溪群和寒武系底部双层滑脱的特点. 向斜的平衡剖面恢复结果表明, 寒武系沉积后板溪群内部也发育滑脱断层(图 2b-4), 都匀运动和广西运动期间, 断层不断向前扩展, 断层在平行于底部滑脱断层的轴面位置发生断层突破. 地震剖面显示, 板溪群滑脱断层的数量有 2 条大的逆冲断层. 与雪峰隆起距离相对较近, 深部发生双层滑脱断层的轴面突破使得该地区剥蚀作用较贵阳向斜略强, 地表出露地层的时代较老, 三叠系线

状分布, 隔槽式褶皱特征明显。

都匀向斜位于黔东南地区的东部, 夹持于王司背斜和黄丝背斜之间, 是距离雪峰隆起最近的一个向斜构造. 与其他两个尖棱向斜相比, 都匀向斜在深度剖面上, 表现为基底断层产状陡、数量多, 板溪群内部滑脱明显, 寒武系滑脱不明显, 局部存在其他滑脱层. 剖面上向斜西翼的逆冲断层产状与相邻的背斜东翼地层产状相似. 都匀向斜的平衡剖面恢复结果表明, 寒武系沉积后板溪群内部发育滑脱断层(图 2b-4), 之后的都匀运动、广西运动和燕山运动期间, 断层不断向前扩展, 断层主要以倾角大于底部滑脱断层的轴面倾角的方式发生断层突破. 该向斜紧邻雪峰隆起, 较大规模的深部滑脱断层以上存在高倾角的突破逆冲断层 4 条. 高角度断层突破和深层次滑脱, 使得该地区剥蚀作用在 3 个向斜中最强. 地表出露地层的时代较老, 三叠系分布范围有限(图 1)显示了典型的隔槽式褶皱特征。

选择寒武系底为标志层对 3 个向斜进行平衡剖面恢复, 缩短量和缩短率分析的结果(图 2 和表 1)表明, 本区 3 个向斜的缩短量和缩短率均表现为自东向西依次减小, 而三叠系沉积后的构造运动强度比都匀运动和广西运动强. 各时期的平衡剖面均表现出雪峰隆起西缘的推覆自东向西依次减弱。

表 1 黔东南地区 3 个向斜的缩短量与缩短率(以寒武系为标志层)

Table 1 The amount and the rate of shortening in the three syndines in Southeast Guizhou

向斜名称	变形前(km)	变形后(km)	缩短量(km)	缩短率(%)
贵阳向斜	28.4	26.8	1.6	5.6
贵定向斜	32.1	27.2	4.9	15.3
都匀向斜	28.2	21.7	6.5	23.0

4 成因模式探讨

4.1 模式比较

根据黔东南地区的褶皱、地层展布、断层、滑脱层分布以及典型地震剖面的解释和区域构造演化的分析,笔者认为黔东南地区隔槽式褶皱的形成,不仅与滑脱深度和剥蚀差异有关,而且与逆冲断层的推覆距离、逆冲断层的产状变化、断层突破方式和多层次滑脱等方面存在密切联系。

对于隔槽式褶皱的成因,传统观点认为是由于深层次滑脱面的存在所引起的薄皮构造或剥蚀较少所引起的(图 3A-A');而隔挡式褶皱则是恰恰相反(图 3B-B')。隔槽式相对于隔挡式褶皱而言,其变形微弱,断层较少,局限于向斜与背斜的结合处,以高角度断层为主,主要是“X”剪切造成的(朱志澄, 1983)。而对褶皱呈现等距性的特点,解释为作用力传输中应力集中的结果。简单膝折几何学模型(Ramsay and Huber, 1987),没有涉及断层产状和剖面形态对褶皱形态的影响,而大量的事实和本次研究的结果表明,大多数褶皱的形态和成因与断层有着密切的联系——逆冲距离制约断层的突破方式,相邻断坡之间的断坪长度和断层突破方式有关,断坪与断坡的长度比例控制了尖棱向斜的形态(图 4)。

在断层位移相等的前提下,断层上盘向斜的几何形态受到逆冲断层产状和断坪断坡长度比的影响。背斜宽度和地表出露地层受到断层产状的控制。逆冲距离相同的 3 个逆冲断层(图 4a-4、4b-4、4c-4),断层倾角越大,地表出露的背斜宽度越小,地层时代越老。向斜的宽度受到断坪的长度控制(图 4a)。当不存在断坪时,在上盘形成一个后翼单斜(图

4a-1);随着断坪长度的增加,在上、下两个断坡之间形成的向斜宽度也随之增加(图 4a-2)。上、下两个断坡的产状影响向斜两翼的产状。向斜前翼的产状与上断坡的产状相似;向斜后翼的产状受到下断坡剪切角度的控制(图 4a-4)。

由于逆冲距离和应力状态差异的变化,断层在不断的扩展过程中,会在不同的部位发生断层突破(图 4b),其产状也相应发生变化,最终控制了褶皱的剖面形态和地表地层分布。在推覆距离较大的逆冲后缘由于应力相对集中,断层沿前翼活动轴面突破(图 2c-2 和图 4b2-4),形成陡倾的断层面,地表出露地层时代相对较老;在逆冲断层的前缘,随着应力的释放,推覆距离的减小,断层突破则主要以共面突破和顺层滑脱为主(图 2a-2 和图 4b2-4),出露地层时代相对较新。不同的断坪断坡比例和断层突破类型相互重叠和连接,形成断层和相关的隔槽式褶皱组合。

多层次的滑脱使得地表褶皱形态复杂化,但褶皱的总体形态仍然受到底部滑脱面的制约。图 2b-2 显示贵定向斜深部与浅部的滑脱层共同控制了剖面褶皱形态。由雪峰隆起向西浅部滑脱层逐渐明显,主要改造时代较新的地层,导致地表隔槽式褶皱特征越来越不明显。发育在深部板溪群内的滑脱断层形成时代早,控制了褶皱的整体形态;在寒武系底部滑脱的逆冲断层,局部调节背斜顶部地层,使其复杂化。在前述条件一定的情况下,浅部滑脱主要造成局部与断层相关的地层倾角变化,而深部滑脱层对褶皱的剖面形态起到决定性作用。

4.2 黔东南地区褶皱构造样式的成因模式

黔东南地区的构造特征明显受到其西缘雪峰隆起的影响。Yan *et al.* (2003)通过对湘鄂西地区构造演化的研究,认为雪峰隆起西北缘隔槽式褶皱是由先期隔挡式褶皱演化而来,推覆距离较远。丘元禧等(1999)研究已经证实雪峰隆起西缘逆冲推覆距离较短,约 35 km,深部地震剖面同样揭示研究区内不存在大规模的逆冲推覆体,所以黔东南地区褶皱构造样式的成因是否存在另外的可能呢?笔者通过研究区构造特征的分析,结合典型地震剖面的解释和平衡剖面恢复提出了黔东南地区褶皱构造样式的运动学模型。

奥陶纪末的都匀运动以及志留纪末的广西运动在雪峰隆起西缘产生了一系列南北走向的逆冲断层。在强烈的挤压作用下,底部的板溪群内形成了一系列的坡坪式断层(图 5a)。当外来岩体由下部滑脱

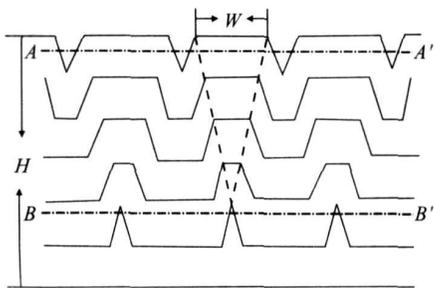


图 3 滑脱深度不同的滑脱褶皱膝折模型(Ramsay and Huber, 1987)

g. 3 Kink-band model of detachment folds in different depths
A-A' 剖面显示隔槽式特征; B-B' 剖面显示隔挡式特征; H. 滑脱面深度; W. 背斜宽度

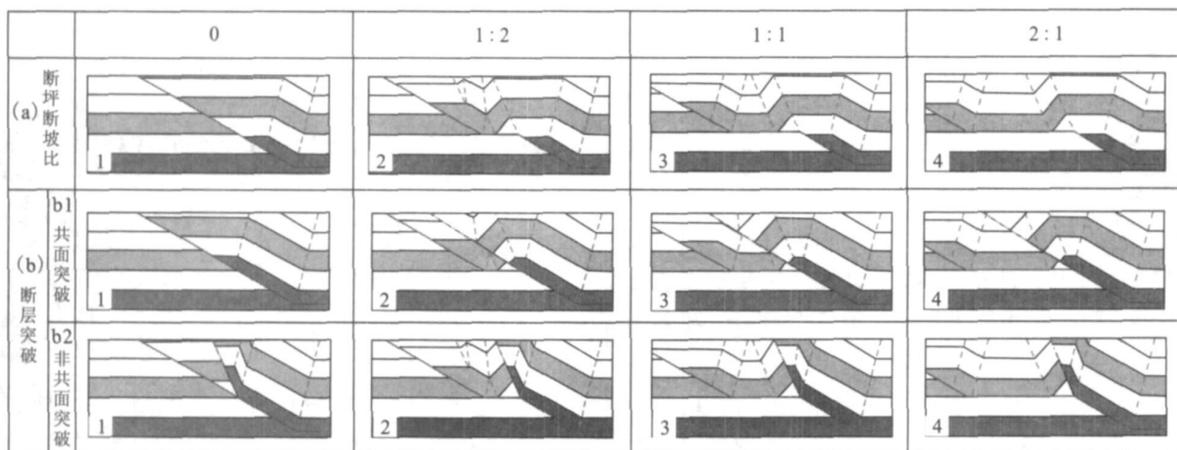


图 4 不同断坪—断坡长度比的断层突破模式

Fig. 4 Fault-breakthrough models for the different scales of flat to ramp

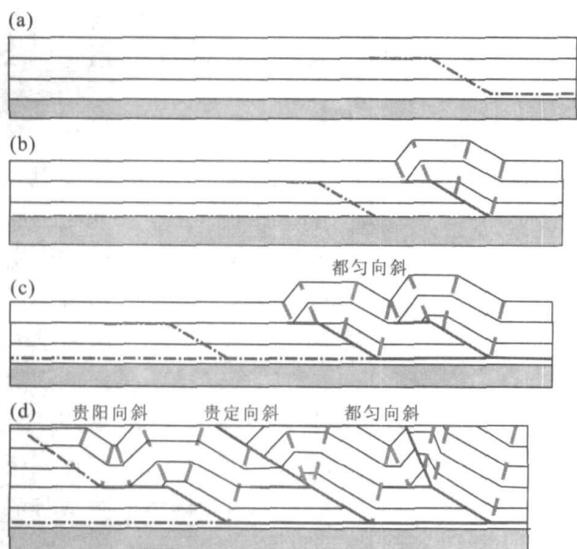


图 5 黔东南地区隔槽式褶皱组合的滑脱褶皱—断层突破形成模式

Fig. 5 A breakthrough of detachment folds model showing the formative process of the trough-like folds in Southeast Guizhou

面向上逆冲到断坡, 并爬升到更高层次的滑脱面时, 首先形成一个初始单斜. 这个单斜在以后的构造运动中, 与第 2 个阶梯状逆冲断层的后翼断坡形成的单斜可组成尖棱向斜锥形(图 5b). 此外, 在逆冲前方形成下一次构造运动的势断层面.

燕山运动晚期雪峰隆起的逆冲推覆作用不断向前扩展, 使王司背斜、都匀向斜、黄丝背斜和贵定向斜进一步发育. 逆冲断层不断向前扩展, 在前缘形成箱状背斜, 并在后翼与先期单斜组成尖棱向斜(图 5c). 由于多套滑脱层的存在和逆冲作用的差异, 逆

冲断层前缘的扩展方式主要为共面突破和顺层滑脱; 后缘则主要形成高角度的非共面突破断层(图 2c-2). 由于断层倾角发生变化, 在逆冲断层后断坡的影响下所形成的东倾单斜, 与之前发育的断坡所形成的西倾单斜组成新的尖棱向斜(图 5d). 随着与外来岩体之间距离的增大, 逆冲推覆的影响不断减弱, 逆冲断层的数量不断减少, 断层产状变缓. 在距离推覆体最远的贵阳向斜核部, 由于形成时间相对较晚, 断层的活动相对弱, 从而卷入了侏罗系的陆相沉积. 这期构造运动基本奠定了该区整体南北向构造的特点. 之后的喜马拉雅运动, 叠加在南北向的构造之上, 形成了该地区的东北向构造. 在上述变形过程中, 地表所形成的隔槽式褶皱组合样式, 反映了深部的盲冲断层对地表褶皱形态的影响. 而不同的断层突破方式所形成的断层面产状不同, 从而导致了地层年代自东向西逐渐变老.

5 结论

黔东南地区发育隔槽式褶皱和逆冲断层组合构造样式, 其主要成因是多层次的滑脱和断层突破的结果. 隔槽式褶皱构造样式的几何学特征除了前人研究的受滑脱深度和剥蚀差异影响以外, 逆冲断层的产状、断坪断坡长度比、多层次滑脱和断层突破方式也控制了其几何形态. 黔东南地区的构造演化可能没有像湘鄂西地区那样经历了由尖棱背斜向尖棱向斜过渡的构造变革, 而是由于不同的断坪断坡比例所造成的差异——比值越小, 越易形成隔槽式褶皱组合, 反之, 则易形成隔挡式褶皱组合.

References

- Atkinson, P. K., Wallace, W. K., 2003. Competent unit thickness variation in detachment folds in the Northeastern Brooks Range, Alaska: Geometric analysis and a conceptual model. *Journal of Structural Geology*, 25 (10): 1751—1771.
- Ding, D. G., Liu, G. X., 2007. Progressive deformation in Yangtze plate—Series 2 of the southern structure studies. *Petroleum Geology & Experiment*, 29 (3): 238—246, 252 (in Chinese with English abstract).
- Erslev, E. A., Mayborn, K. R., 1997. Multiple geometries and modes of fault-propagation folding in the Canadian thrust belt. *Journal of Structural Geology*, 19(3—4): 321—335.
- Guizhou Bureau of Geology and Mineral Resources, 1987. Regional geology of Guizhou Province. Geological Publishing House, Beijing, China, 608—616 (in Chinese).
- Hanks, C. L., Parris, T. M., Wallace, W. K., 2006. Fracture paragenesis and microthermometry in Lisburne Group detachment folds: Implications for the thermal and structural evolution of the northeastern Brooks Range, Alaska. *AAPG Bulletin*, 90(1): 1—20.
- Li, L., Wang, Y. M., Zhang, L. M., et al., 2008. Sedimentary patterns and structural control across toe thrust belts, Niger delta. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 33(5): 643—650 (in Chinese with English abstract).
- Li, X. J., 1988. The duplexes in Kaili area, Guizhou Province. *Geology of Guizhou*, 14(5): 78—81 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y. F., Qu, G. S., Zhang, J., 2007. Developments in research of arcuate structure. *Advances in Earth Science*, 22(7): 708—715 (in Chinese with English abstract).
- Liu, H. L., 1990. Cogniton of nappe tectonics in southeastern Guizhou. *Geology of Guizhou*, 24(3): 271—279 (in Chinese with English abstract).
- Mitra, S., 2003. A unified kinematic model for the evolution of detachment folds. *Journal of Structural Geology*, 25 (10): 1659—1673.
- Qiu, Y. X., Zhang, Y. C., Ma, W. P., 1999. The tectonic nature and evolution of Xuefeng Mountains: One model of formation and evolution of intra-continental orogenic belt. Geological Publishing House, Beijing, 49—133 (in Chinese).
- Ramsay, J. G., Huber, M. I., 1987. The techniques of modern structural geology: Fold and fracture. Vol. 2. Academic Press, San Diego, 347—363.
- Tang, L. J., Guo, T. L., Tian, H. Q., et al., 2008. Poly-cycle tectonic evolution, differential deformation and hydrocarbon reservation of Central Guizhou and adjacent region. *Acta Geologica Sinica*, 82(3): 298—307 (in Chinese with English abstract).
- Tang, L. J., Guo, T. L., Yu, Y. X., et al., 2007. Salt-related structures in the foreland fold-thrust belt of the northeastern Sichuan basin, South China. *Acta Geologica Sinica*, 81 (8): 1048—1056 (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 overthrust system within the Yangtze block (South China). *Tectonophysics* 361(3—4): 239—254.
- Zhao, J., Peng, W., Li, J. F., et al., 2005. In-situ stress logging responding characteristics of piedmont thrust belt and its influence on hydrocarbon distribution. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30(4): 467—472 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, Z. C., 1983. On jura-type fold (S. China) and its mechanism. *Earth Science—Journal of Wuhan College of Geosciences*, 22(3): 43—51 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 丁道桂, 刘光祥, 2007. 扬子板内递进变形——南方构造问题之二. 石油实验地质, 29(3): 238—246, 252.
- 贵州省地质矿产局, 1987. 贵州省区域地质志. 北京: 地质出版社, 608—616.
- 李磊, 王英民, 张莲美, 等, 2008. 尼日尔三角洲坡脚逆冲带沉积样式及构造控制. 地球科学——中国地质大学学报, 33(5): 643—650.
- 李学军, 1988. 凯里地区的两个双层构造. 贵州地质, 14(5): 78—81.
- 李岩峰, 曲国胜, 张进, 2007. 弧形构造研究进展. 地球科学进展, 22(7): 708—715.
- 刘洪磊, 1990. 黔东南推覆构造之认识. 贵州地质, 24(3): 271—279.
- 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, 49—133.
- 汤良杰, 郭彤楼, 田海芹, 等, 2008. 黔中地区多期构造演化、差异变形与油气保存条件. 地质学报, 82(3): 298—307.
- 汤良杰, 郭彤楼, 余一欣, 等, 2007. 四川盆地东北部前陆褶皱—冲断带盐相关构造. 地质学报, 81(8): 1048—1056.
- 赵军, 彭文, 李进福, 等, 2005. 前陆冲断构造带地应力响应特征及其对油气分布的影响. 地球科学——中国地质大学学报, 30(4): 467—472.
- 朱志澄, 1983. 中国南方侏罗山式褶皱及其形成机制. 地球科学——武汉地质学院学报, 22(3): 43—51.