

# 层间滑动褶皱新见

易顺华<sup>1</sup>, 张先进<sup>1</sup>, 朱章显<sup>2</sup>, 余君鹏<sup>1</sup>, 李华亮<sup>1</sup>

1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074  
2. 中科院宜昌地质矿产研究所, 湖北宜昌 443003

**摘要:** 本文报道的是出现在许多沉积岩区, 发育在厚薄相间岩层之中, 并由于层间滑动作用形成的 AB 复合或过度型褶皱。它具有不止一个方位褶皱枢纽, 表征非共轴叠加褶皱形态, 经历了早期 B 形和晚期 A 形褶皱演化过程, 最终形成迄今鲜有报道, 但却实际广泛存在。文中首先介绍了这一褶皱在西藏、湖北黄石、湖北秭归、四川西昌等地区的野外产出状态, 继而从横剖面、纵剖面、平面以及立体空间角度描述了它的全方位几何形态特征, 进而从变形介质结构和剪应变值( $\gamma$ )的物性特征方面分析了它的变形控制条件, 最后以“滑移褶皱极限”理论并部分借鉴鞘褶皱的形成机理探讨了它的形成演化过程。

**关键词:** 层间滑动作用; AB 复合或过度型褶皱; 变形条件; 形成机理。

中图分类号: P542

文章编号: 1000-2383(2007)05-0722-05

收稿日期: 2007-07-28

## New Ideas about Slip Folds between Layers

YI Shun hua<sup>1</sup>, ZHANG Xian jin<sup>1</sup>, ZHU Zhang xian<sup>2</sup>, YU Jun peng<sup>1</sup>, LI Hua liang<sup>1</sup>

1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Institute of Geology and Mineral Resources of Yichang, Chinese Academy of Science, Yichang 443003, China

**Abstract:** The AB compound type or transitional type fold appears in many sedimentary areas, between thick and thin layers, made by slipping between layers. The fold has more than one hinges, which is the result of uncoaxial superimposed fold underwent B type fold in early time and A type fold in late time. There is little report about this fold, however it is ubiquitous. In this paper, the author introduced the output state on field of this fold in Tibet, Hubei Wuhan, Sichuan Xichang firstly, then described the geometry shape characters in all trend of this fold, analyzed the deformation control condition of this fold, finally discussed the form and evolvement mechanisms of this fold based on Slump Fold Limit and reference of the form mechanism of sheath fold.

**Key words:** slipping between layers; AB compound type or transitional type fold; deformation condition; form mechanism.

## 0 引言

层间滑动褶皱, 又名层间牵引、层间拖曳褶皱。自毕令斯(1942)和狄塞特尔(1956)提出之后至今已有半个世纪的研究历史。此间, 国内外教科书中均有介绍(Robert, 1995; 朱志澄和宋鸿林, 1999), 但是却极少见有专门文章予以讨论。其中获取的主要认识是, 该类褶皱属 B 型褶皱, 其轴向与高级褶皱平行, 轴面具倒伏特征, 剖面形态为两翼长度不同且倾

角大小有异的斜歪褶皱, 上下层系的剪切滑动为褶皱形成的应力作用方式, 褶皱倒伏方向为运动指向判别的根本依据; 主要发育在高级褶皱两翼部位, 其形成机理受弯滑褶皱作用控制(George and Stephn, 1996; Ruud, 1997)。

然而, 笔者研究却发现, 上述已有认识仅系局部或片面见解, 未能窥见层间滑动褶皱实际具有的复杂形态及全方位特征, 更没有实质性地阐明和揭示该类褶皱的形成机理和变形条件。

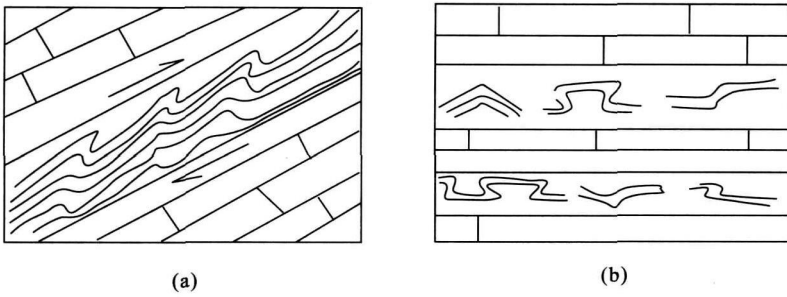


图 1 层间滑动褶皱在横剖面 (a) 及纵剖面 (b) 上具有的形态特征

Fig. 1 Shape characters sketch map of slip fold between layers at cross section(a) and profile(b)

### 1 层间滑动褶皱全方位几何形态特征

笔者近年在西藏南部的定结县, 湖北省黄石市的秀山、黄荆山, 以及湖北省西部秭归县的泗溪和四川省西昌的白鹤滩等多个地区开展野外地质调查工作时均发现: 层间滑动褶皱实际具有多个方位的褶皱枢纽和比较复杂的几何形态。

在垂直于高级褶皱的枢纽方位横剖面上, 主要发育两翼长短不等、倾角陡缓有异、甚至一翼为倒转的不对称褶皱。具体包括斜歪倒伏褶皱及同斜褶皱。这类枢纽产状与高级褶皱主体呈大致平行关系, 按线理分类属 B 型褶皱(图 1a)。

在平行于高级褶皱枢纽的纵剖面上, 主要发育两翼长短一致、倾角陡缓相同的对称褶皱。具体包括开阔褶皱、箱状褶皱、共轭褶皱, 其次为膝折褶皱。这些褶皱的枢纽产状与高级褶皱呈垂直关系, 按线理分类属 A 型褶皱(图 1b)。

在水平剖面, 可见两个方向的褶皱枢纽; 如(图 2a)所示呈现的是叠加褶皱的干涉图像, 表征的是非共轴褶皱叠加形式。按兰姆赛(1967)所谓平面干涉

样式论, 具体型式有两种: 其一为“偏 I 型”, 其二为 II<sub>A</sub> 型(朱志澄和宋鸿林, 1999)。

这里所谓“偏 I 型”是介于兰姆赛 I 型和 II 型之间的新类型。早期斜歪、晚期直立褶皱的非共轴叠加, 是这一褶皱叠加作用发生的过程; 新月形穹隆及新月形盆地, 是这一褶皱叠加作用的平面图像表征(图 2b)。这里所谓的 II<sub>A</sub> 型是指兰姆赛 II 型的第一种情况, 即褶皱叠加作用包含的是早期等斜、晚期直立褶皱作用过程; 新月形和蘑菇形, 是这一褶皱叠加作用的平面图像表征。

若将上述三维剖面合而为一, 获得的立体空间形体为非标准或非典型的“准鞘形”褶皱以及沙丘状褶皱。

### 2 层间滑动褶皱发育的变形介质条件

厚薄或软硬岩层相间的岩层组合, 是层间滑动褶皱发育的大环境; 夹持在其间的软岩层或薄层, 是层间褶皱发育的具体场所。

笔者近期工作注意到, 在湖北西部及湖北东部

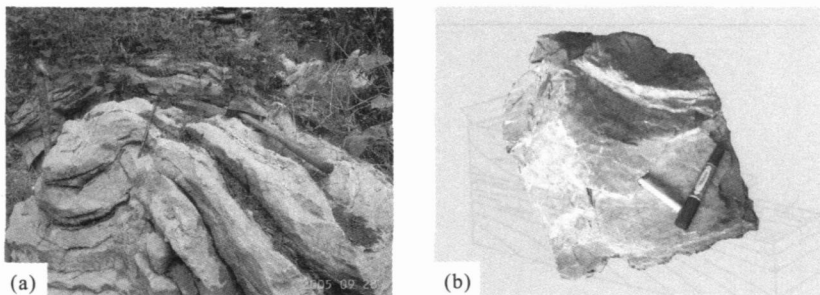


图 2 具有两个方向褶皱枢纽及叠加褶皱特点的层间滑动褶皱 (a) 和偏 I 型层间滑动褶皱的水平剖面特征及沙丘状空间形态 (b)

Fig. 2 Slip fold between layers which has two hinges and superimposed fold characteristic(a) and the horizontal section characteristic and dune spatial shape of slip fold between layers which is close to I type(b)

广大地区的沉积岩中,至少存在 4 个发育层间褶皱的层位.其一,为下三叠统大冶组第四段( $T_1d^4$ )的微薄层状石灰岩;其二,为下三叠统大冶组第二段( $T_1d^2$ )中被夹持发育的微薄层状含泥质灰岩;其三,为震旦系灯影组( $Z_2dy$ )中被夹持发育的微薄层状白云岩;其四,为下寒武统水井沱组( $C_1s$ )的含碳质页岩.

笔者近期工作还注意到,上述 4 个层位的岩层除具有顶底均为中厚层状或厚层-块状的总体结合特征外,并且还具有顶底分隔界面及层间界面均显示结合不牢或易于滑动特点.

由此可见,顶底为厚层、中间为薄-微薄层或软弱层的层系结构,以及层间界面具有易于滑动特点的物性特征,是层间滑动褶皱得以产生的两大关键因素.

### 3 层间滑动褶皱的变形机理

众所周知,控制层间滑动褶皱产生的应力作用方式是顶底岩系的相对剪切作用.但是,目前极少有人注意到这一剪切剖面在空间存在具体状态.实际上,这一剪切剖面应该是垂直于高级褶皱的横剖面,而不是纵剖面.因为笔者研究发现,能反映剪切作用结果的一不对称斜歪倒伏褶皱主要出现在垂直于高级褶皱的横剖面,而不是在纵剖面上.

初步研究认识到,层间滑动褶皱在空间具有的多个褶皱枢纽和“准鞘形”、沙丘状的立体形态,以及在水平剖面上呈现的“偏 I 型”和 II<sub>A</sub>型叠加褶皱干涉图像,实际上可化解为一个问题来进行分析讨论,那就是形成机理问题.

研究过程认识到,目前公认的关于韧性剪切带

和鞘褶皱的形成机理(校培喜等,1996;吴玉门,2003;汪雄武等,2004;杨晓勇,2005),就可以较好地解释层间滑动褶皱的形成机理;而 Mattauer 提出的关于鞘褶皱的形成机理的图解(朱志澄和宋鸿林,1999),即可为层间滑动褶皱的形成过程给予借鉴(图 3).但是,二者又具有一定差别.

对鞘褶皱而言,由于变形介质一般由变质岩或未完全冷却的岩浆岩组成,其粘性较低,“滑移褶皱极限”(指在剪切滑移运动过程中出现褶皱到产生断裂的临界值)较高,允许出现较大剪应变值( $\gamma$ )的物性特征,导致了它可在长程滑移过程中跨过初期 B 型褶皱阶段,而直接形成枢纽与运动方向平行的 A 型鞘褶皱(图 3d).

对于层间滑动褶皱来说,由于变形介质主要由沉积成因的岩石组成,因此粘性较高,“滑移褶皱极限”较低,不允许出现较大剪应变值( $\gamma$ )的物性特征,控制了它只能在近程及中远程滑移过程中形成同时具有 B 型和 A 型特征的 BA 复合型褶皱(图 3c).

借鉴 Mattauer 提出的关于鞘褶皱形成机理及形成过程示意图,来分析层间滑动褶皱还可窥见:

(1)平面表征“偏 I 型”叠加褶皱干涉图像,空间呈现“沙丘状”的层间滑动褶皱,实际雷同图 3b 中的褶皱,应是短程滑移运动的结果;平面表征 II<sub>A</sub>型叠加褶皱干涉图像,空间呈现“准鞘形”立体形态的层间滑动褶皱,实际雷同图 3c 中的褶皱,是较长距离滑移运动的结果.

上述认识与野外观察到的实际构造现象具有极大吻合性.例如,变形程度较弱的“沙丘状”层间滑动褶皱,多出现在靠近褶皱核部的俩翼构造部位,变形程度较强的“准鞘形”层间滑动褶皱,主要出现在靠近褶皱拐点构造部位.

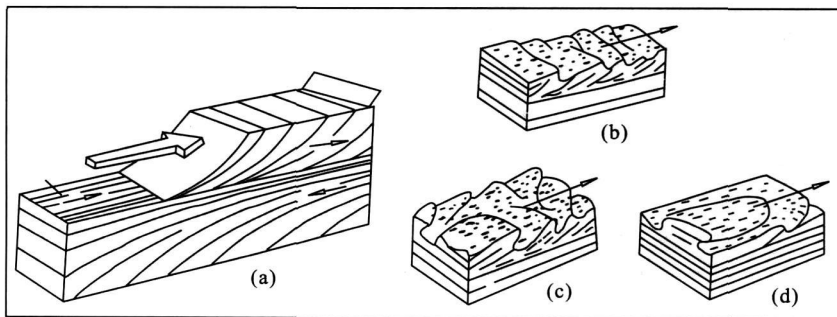


图 3 韧性剪切带中鞘褶皱形成过程示意图

Fig. 3 The sketch map of shearth fold form process in tenacity shear zone

(a). 韧性剪切带变形条件与受力方式; (b). 初期 B 型褶皱; (c). 中期 BA 复合褶皱; (d). 晚期 A 型鞘褶皱

(2)层间滑动褶皱在垂直于高级褶皱的横剖面上,主要发育不对称斜歪倒伏褶皱及同斜褶皱,在平行于高级褶皱的纵剖面上,主要发育对称褶皱的原因,在这里可找到答案.例如,图3b和图3c中的褶皱,在不同剖面上就分别具有对称与不对称褶皱形态.

不对称斜歪倒伏褶皱主要出现在垂直于高级褶皱横剖面上的特征表明,控制层间滑动褶皱产生的应力作用方式不仅是顶底岩系的相对剪切作用,而且,其剪切作用的剖面还应该是垂直于高级褶皱的横剖面,而不是纵剖面.

(3)同样,层间滑动褶皱发育有多个褶皱枢纽的原因,在这里也可找到答案.例如,图3b和图3c中的褶皱,显然均存在多个方位的枢纽.

(4)必须强调指出的是,图3c中的褶皱,是一种发生在剪切作用环境中的非共轴递进变形叠加褶皱,它经历了早期B型褶皱枢纽发生弯曲变形,进而发展为A型褶皱的演化过程,实质上是一种BA复合型褶皱;这种褶皱在变质岩区的层间及韧性剪切带环境内可大量发育(吉垒,1995;王家生等,1996;索书田等,2004;吴新国等,2005;刘德良等,2006),在沉积岩区的某些条件下,也同样可以普遍存在.

由上所述可见,层间滑动褶皱是发生在剪切作用环境中的非共轴递进变形叠加褶皱,并且是一种迄今尚未引起地学界充分重视的BA复合型褶皱.

## 4 结语

经历了半个多世纪研究历史的层间滑动褶皱,自毕令斯(1942)首次提出并进行了有关论述以来,迄今少见专门文章予以讨论,长期停留在20世纪40年代的研究水平上;获取的有关认识仅限在垂直于高级褶皱枢纽的横剖面上所见.因此,前人的研究未能窥见该类褶皱的全貌及整体形态,也没有完善阐明该类褶皱的形成机理和控制条件.本文从全方位、多地域角度出发进行了观测研究,全面揭晓了发生在沉积岩区,发育在厚薄相间岩层之中,由于层间滑动作用形成的,层间滑动褶皱的横剖面、纵剖面、以及三维空间立体形态;获取了层间滑动褶皱实际具有多个褶皱枢纽,表征有叠加褶皱特点,可归属BA复合型褶皱.其形成原因与“滑移褶皱极限”有关,可借鉴“鞘褶皱”机理等若干更新见解.

上述更新见解整体刷新了旧有认识,拓宽了对该类褶皱的研究视野,其理论意义不容置否.本文的实际意义是,文中指出的“沙丘状”叠加褶皱若有较大规模,可构成油、气圈闭构造.本文关于层间滑动褶皱变形条件、形成机理的探讨尚属初步阶段,还不完善,为此欢迎批评指正.

## References

- Billings, M. P., 1942. Structural geology. Translated by Zhang B. X.. Geological Publishing House, Beijing, 61, 96-100 (in Chinese).
- De Sittes L. U., 1956. Structural geology. Translated by Zhang W. Y.. Science Press, Beijing, 153-155 (in Chinese).
- George, H. D., Stephn, J. R., 1996. Structural geology of rocks and regions. John Wiley and Sons INC, 373-401.
- Ji, L., 1995. The microstructure character of large tenacity shear zone in the eastern of Wugong mountain, Jiangxi Province. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30(1): 95-105 (in Chinese with English abstract).
- Jiao, P. X., Zhao, P. J., Wang, H. L., 1996. The geological significance of two types tenacity shear zones in deep metamorphic rock area in Long County, Shaanxi Province. *Shaanxi Geology*, 14(2): 13-21 (in Chinese with English abstract).
- Liu, D. L., Yang, Q., Wu, X. Q., et al., 2006. The original study of the tenacity shear zone's formed time in Fucha mountain, Anhui Province, Tanlu fault. *Scientia Geological Sinica*, 41(2): 333-343 (in Chinese with English abstract).
- Ramsay, J. G., 1967. Foldin and fracturin of rocks. Translated by Shan, W. L., Song, H. L.. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Robert D. H. J., 1995. Structural geology: Principles, concepts and problems second edition. By prentice Hall, Inc. A simon and Schuster company Englewood cliffs. New Jersrey 0763, 273-325.
- Ruud, W., 1997. Structural geology and map interpretation. Alboran Science Publishing, U. S. A., 532-550.
- Suo, S. T., Zhong, Z. Q., Zhou, H. W., et al., 2004. The structure evolvement of Dabie Sulu ultra high pressure and high pressure metamorphic belt. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 71-81 (in Chinese with English abstract).

- Wang, J. S., Yan, W. X., Wei, Q., 1996. The solid state rheological structure community and its effect to turquoise deposit. *Hubei Geology*, 10(2): 62 - 97 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X. W., Yuan, Z. X., Wang, X. D., 2004. The tenacity shear in the fault fragmentation silicified zone in Gan nan Nankang area. *Journal of Chengdu University of Technology(Sci and Technol Edition)*, 31(4): 352 - 358 (in Chinese with English abstract).
- Wu, X. G., Sun, L. X., Guo, J. C., et al., 2005. The Geology character and significance of tenacity shear zone in the suture zone of Brahmaputra. *Geotectonica et Metallogenia*, 29(2): 198 - 203 (in Chinese with English abstract).
- Wu, Y. M., 2003. The microstructure and kinematics character of Weizhuang tenacity shear zone. *Xinjiang Geology*, 21(2): 243 - 244 (in Chinese with English abstract).
- Yang, X. Y., 2005. The study of tenacity shear zone and its geological significance. *Advances of Earth Science*, 20(7): 765 - 771 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, Z. C., Song, H. L., 1999. Structural geology. China University of Geosciences Press Wuhan, 81 - 111 (in Chinese).
- 狄塞特尔, 1956. 构造地质学. 张文佑译. 北京: 科学出版社, 153 - 155.
- 吉垒, 1995. 江西武功山东区大型韧性剪切带的显微构造特征. *地球科学——中国地质大学学报*, 30(1): 95 - 105.
- 校培喜, 赵平甲, 王洪亮, 1996. 陕西陇县深变质岩区两类韧性剪切带的确定及地质意义. *陕西地质*, 14(2): 13 - 21.
- 兰姆赛, 1985. 单文琅, 宋鸿林译. 岩石的褶皱作用和断裂作用. 北京: 地质出版社.
- 刘德良, 杨强, 吴小奇, 等, 2006. 郟庐断裂安徽段桴槎山韧性剪切带的形成时限初探. *地质科学*, 41(2): 333 - 343.
- 索书田, 钟增球, 周汉文, 等, 2004. 大别—苏鲁超高压和高压变质带构造演化. *地学前缘*, 11(3): 71 - 81.
- 王家生, 颜慰宣, 魏清, 1996. 鄂西云盖寺地区固态流变构造群落及其对绿松石矿的控制作用. *湖北地质*, 10(2): 62 - 97.
- 汪雄武, 袁正新, 王晓地, 2004. 论赣南大余—南康地区断层破碎硅化带的韧性剪切作用. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 31(4): 352 - 358.
- 吴新国, 孙立新, 郭金城, 等, 2005. 雅鲁藏布江缝合带内韧性剪切带的地质特征及其意义. *大地构造与成矿学*, 29(2): 198 - 203.
- 吴玉门, 2003. 卫庄韧性剪切带显微构造解析及运动学特征. *新疆地质*, 21(2): 243 - 244.
- 杨晓勇, 2005. 论韧性剪切带研究及其地质意义. *地球科学进展*, 20(7): 765 - 771.
- 朱志澄, 宋鸿林, 1999. 构造地质学. 武汉: 中国地质大学出版社, 81 - 111.

#### 附中文参考文献

- 毕令斯, 1942. 构造地质学. 张炳熹译. 北京: 地质出版社, 61, 96 - 100.