

文章编号: 1006-6616 (2011) 03-0243-06

# 平衡剖面技术恢复云南兰坪—金顶地区 白垩纪地层缩短历史及其意义

刘礼洁, 郭福生, 姜勇彪, 朱志军  
(东华理工大学地球科学学院, 江西 抚州 344000)

**摘要:** 兰坪盆地为中生代陆内盆地, 地处欧亚板块与印度板块的拼合带, 其中兰坪金顶地区白垩系发育, 很好地记录了该区的区域构造运动特征。通过野外实测和室内资料整理, 在兰坪金顶地区选择一条北西—南东向地质剖面, 用平衡剖面技术恢复研究区白垩系因欧亚板块与印度板块碰撞而引起的北西—南东向地层缩短量, 揭示盆地的性质及变形历史, 检验其地质构造解释的正确合理性, 并进行数字化分析。研究表明, 白垩系景星组下段至南新组沉积期间地层总缩短量为 2.938 km, 在南新组构造活动最为强烈。

**关键词:** 兰坪金顶地区; 白垩系; 缩短量; 平衡剖面技术

**中图分类号:** P534.53

**文献标识码:** A

平衡剖面技术诞生于石油勘探实践, 从 Dahlstrom (1969) 提出此概念, 至今经历了 40 余年的时间<sup>[1-3]</sup>。在此期间, 平衡剖面技术不断得到完善, 已成为油气勘探中一项重要技术, 并广泛应用于区域构造运动特征分析, 成为一种重要的模型解释工具<sup>[4-8]</sup>。构造剖面分为不平衡剖面、不能复原剖面、可复原或可承认剖面、有价值平衡剖面 4 类。编制平衡剖面应遵循体积守恒、面积守恒、层长守恒、断距守恒的原则<sup>[9]</sup>。平衡剖面的制作有反演、正演和恢复 3 种方法<sup>[9]</sup>。本文在云南兰坪盆地兰坪金顶地区选择了一条有价值平衡剖面 (北西—南东向剖面), 用平衡剖面技术方法恢复该区中生代白垩系缩短历史, 揭示其区域构造意义。

## 1 研究区地质背景

云南兰坪盆地位于云南省西部, 地处欧亚板块与印度板块的拼合带, 是在海西褶皱带基础上发育起来的中新生代陆相裂谷沉积盆地, 西以澜沧江深大断裂与保山盆地分界, 东以哀牢山深大断裂与滇中盆地分界<sup>[10]</sup>。它是在澜沧江洋和金沙江洋消亡后发展起来的一个中生代陆内盆地<sup>[11]</sup>, 由此形成了兰坪金顶地区的“推覆—滑动”构造体系。

兰坪思茅盆地勘探开发研究工作起步早, 地层学研究比较完善, 目前地层命名已被广泛

收稿日期: 2011-03-14

基金项目: 东华理工大学研究生创新基金项目 (DYCA10005), 国家自然科学基金项目 (U0933605) 及中国地质调查局地质调查工作项目 (12120108180096) 联合资助。

作者简介: 刘礼洁 (1986-), 女, 硕士研究生, 专业方向沉积盆地分析, E-mail: llj102510251025@yahoo.com.cn

通讯作者: 郭福生, E-mail: fsguo@263.net

接受,白垩系按岩性、沉积旋回等特征由老到新划分为下白垩统景星组、上白垩统南新组及虎头寺组。兰坪金顶地区下白垩统景星组由砂岩和泥岩组成,砂岩多为白色、灰绿色石英砂岩;上白垩统南新组为砂岩、砂砾岩及泥岩组成,岩石主要呈紫红色,含灰质较高;上白垩统虎头寺组为一套单一的块状砂岩,一般含石英砂岩及长石石英砂岩,细粒为主,岩石常呈浅灰、黄灰或浅红色。

## 2 平衡剖面恢复

### 2.1 测线剖面选取

本文研究对象已建立了正确的地层柱状图模型,在一定的构造变形研究基础上,本次研究选取的剖面方向为北西西方向,与本区主构造运动方向夹角小于 $30^\circ$ ,途径兰坪老县城、金顶矿区一带,剖面全长约为20.494 km(见图1)并由此制作出综合剖面图(见图2)。依据平衡剖面编制复位的原理<sup>[12~13]</sup>,认为这条剖面是相对塑性变形较小的地段,各套地层均可以确认和对比,剖面上的主要构造样式清晰可辨,可以较好地兼顾盆地内的构造特征,是一条有价值平衡剖面。在剖面上选择各标志层面,分别为 $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ ,其中 $T_1$ 至 $T_2$ 是南新组, $T_2$ 至 $T_3$ 是景星组上段, $T_3$ 至 $T_4$ 是景星组下端。

### 2.2 平衡剖面恢复过程中参数的确定

**剥蚀补偿:**兰坪金顶地区乃至整个兰坪盆地经受过多期构造运动,白垩系景星组与侏罗系坝注路组之间,白垩系虎头寺组与古近系云龙组之间,地层存在着不整合面,需要对不整合面以下的地层进行剥蚀补偿。剥蚀量数据可以参考前人研究成果,但由于兰坪金顶地区缺乏可靠的剥蚀量数据,因此,主要采取厚度趋势法进行合理估算。

**断距消除:**在进行平衡恢复之前,需要进行断距消除,重建地层沉积时的水平状态。断距消除时,浅部地层采取“弯滑机制”处理,深部地层采取“垂直/弯滑机制”处理<sup>[13~14]</sup>。

**去压实:**当岩层厚度发生改变时,利用岩石的压实曲线进行去压实校正,但只是针对岩性均匀的岩层,对于岩性岩相横向变化大的陆相盆地则无法直接使用,需要根据岩性的变化把剖面分割成岩性相对一致的区段分别进行去压实校正,再把校正后的各段重新拼接完成剖面<sup>[15]</sup>。本研究区各组内岩性基本无变化,可认为此剖面是岩性均匀的地层。

## 3 缩短率与缩短速率分析

图3为兰坪盆地兰坪金顶地区北西西向平衡剖面恢复图。通过平衡剖面恢复可以得到各演化阶段剖面的构造形态和长度数据。自景星组沉积以来,兰坪金顶地区始终处于挤压变形状态,各组地层沉积变形过程中均有地层缩短变形,并且从景星组到虎头寺组,变形量逐渐增加。由图3可以看出,南新组沉积期间有一个快速缩短变形期,反映兰坪金顶地区在这个时期地层变形量较大,盆地处于相对活动期。

表1为本次平衡剖面的研究成果。本剖面现今长度约为20.494 km,景星组下段至南新组沉积期间地层总缩短量约为2.938 km。从缩短率的分配(见图4)上可以看出剖面反映的变形缩短过程明显呈现一个相对较快缩短期,并且地层由老到新,缩短量越来越大。景星组下段沉积期为一个相对较慢的缩短期,缩短量约为0.696 km,占整个研究区间缩短量的23.690%。景星组上段,缩短量约为0.932 km,占整个研究区间缩短量的31.722%。南新组沉积期为一个快速缩短期,缩短量约为1.310 km,占整个研究区间缩短量的44.588%。

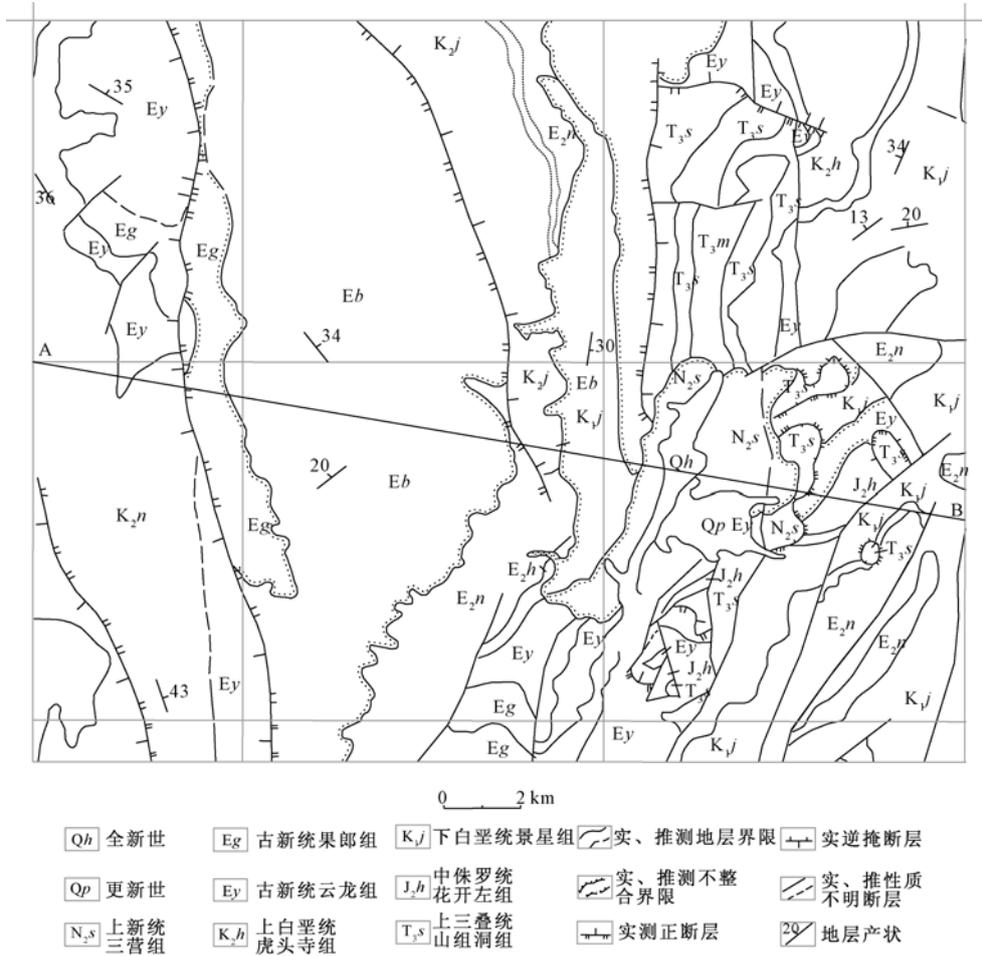


图1 研究区附近地质图

Fig. 1 Geological map of the studied area in Lanping-Jinding area

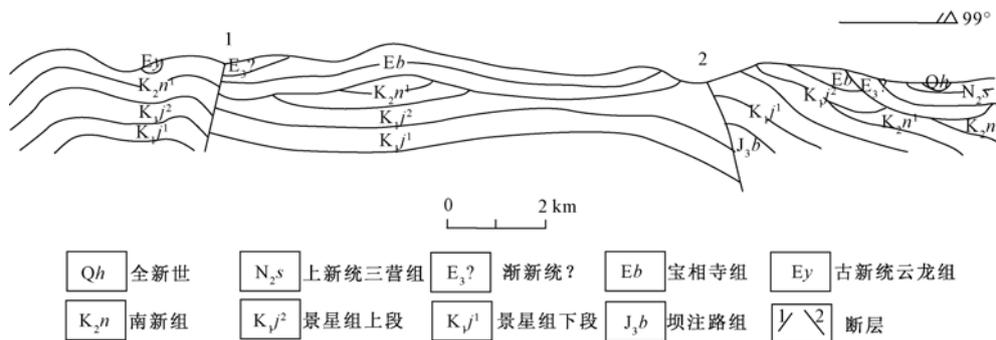


图2 综合地质剖面图

Fig. 2 Generalized geologic profile

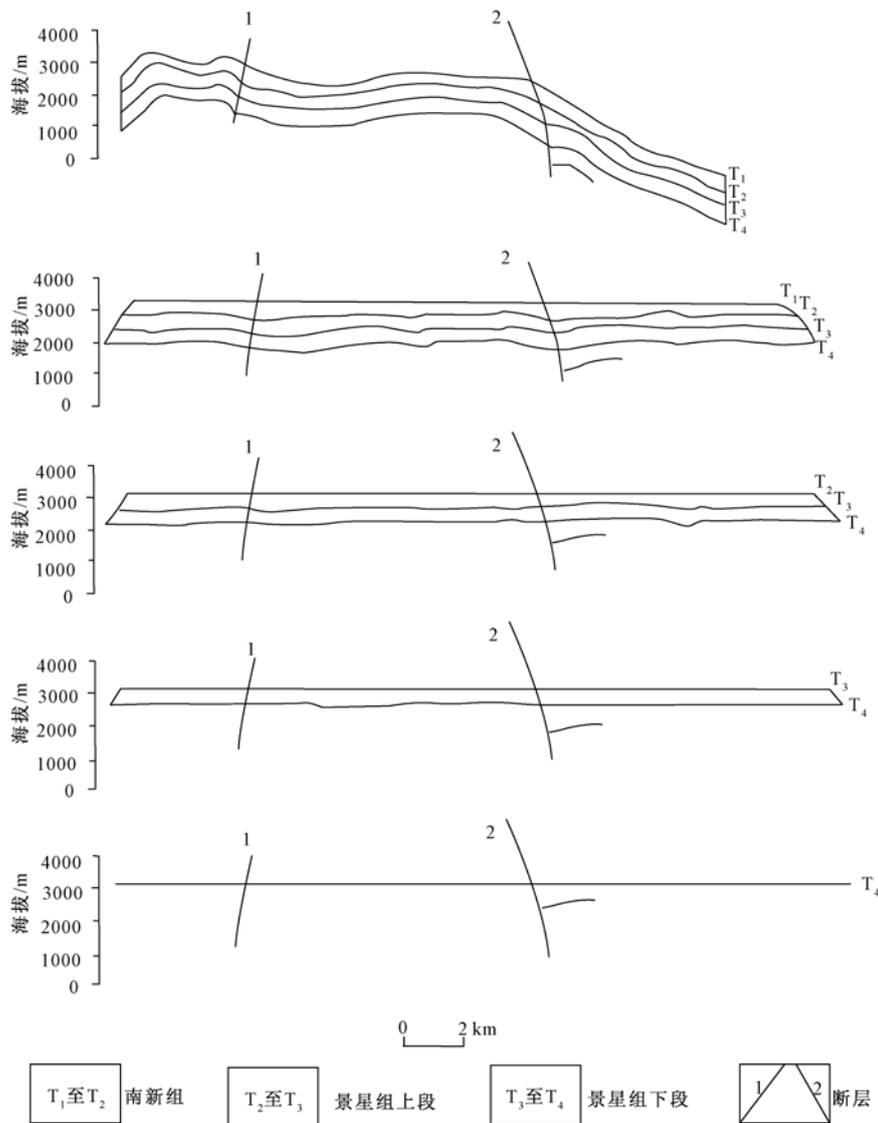


图3 兰坪金顶地区北西-南东向平衡剖面恢复图

Fig 3 NW-SE balanced section across the Lanping-Jinding area

表1 兰坪金顶地区北西-南东向平衡剖面白垩系地层缩短特征

Tab 1 The Cretaceous strata shortening character from a NW-SE profile in the Lanping-Jinding area

标志层	长度/km	地层年代	缩短量/km	缩短率/%	累计缩短率/%
T <sub>1</sub>	21.974				
T <sub>2</sub>	23.284	K <sub>2n</sub>	1.310	44.588	100.000
T <sub>3</sub>	24.216	K <sub>1J</sub> <sup>2</sup>	0.932	31.722	55.412
T <sub>4</sub>	24.912	K <sub>1J</sub> <sup>1</sup>	0.696	23.690	23.690
合计			2.938	100.000	

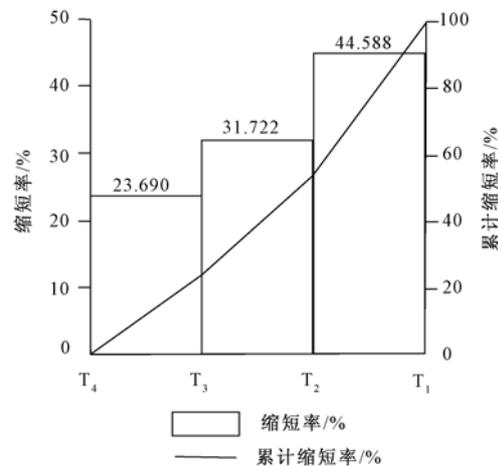


图4 缩短率 - 时间曲线图

Fig. 4 The shortening ratio - time curve diagram

## 4 讨论与结论

刘栋梁等<sup>[6]</sup>认为,印度板块自距今约 55 Ma 开始与亚欧板块碰撞;宋廷光<sup>[16]</sup>认为,受印度板块与欧亚板块碰撞影响,整个中国西部地区处于挤压缩短环境,出现许多同沉积逆冲断层;覃功炯等<sup>[17]</sup>认为,兰坪金顶地区的喜马拉雅构造是东西两边的对冲形式。本文用平衡剖面方法恢复兰坪金顶地区的一条北西西向剖面,得出该剖面在整个白垩纪期间地层均有缩短变形,表明兰坪盆地处于挤压应力场,白垩系处于长期缩短变形状态,与上述研究结果吻合。同时,可以清楚地揭示兰坪盆地属于同沉积挤压盆地。

白垩系景星组下段到南新组沉积期间地层总缩短量为 2.938 km,而且从老到新缩短率明显增加,表明白垩系挤压越来越强烈,尤其南新组表现的最为强烈。研究结果深化了对金顶矿床的成因认识,为青藏高原东—北缘新生代 Pb-Zn-Cu-Ag 成矿系统及发育体制研究提供了区域构造背景。

因此,平衡剖面技术既检测了前人对地质构造解释的合理性,又可以对构造变形进行数字化分析,为区域构造的认识和油气资源评价提供依据。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Dahlstrom C D A. Balanced cross section [J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1969, 36 (6): 743 ~ 759.
- [ 2 ] Elliott D. The construction of balanced cross section [J]. Journal of Structural Geology, 1983, 5 (2): 153 ~ 160.
- [ 3 ] 李乐, 王静. 平衡剖面技术在构造复杂地区地震资料解释的应用 [J]. 钻采工艺, 2010, 33: 76 ~ 82.  
Li Le, Wang Jing. Apply balanced section technology to elucidate seismic data of complex structures [J]. Drilling and Production Technology, 2010, 33: 76 ~ 82.
- [ 4 ] 施泽进, 曾庆, 苟量, 等. 库车前陆盆地构造特征及缩短量研究 [J]. 成都理工学院学报, 1999, 26 (4): 403 ~ 406.  
Shi Ze-jin, Zeng Qing, Guo Liang, et al. Study on structural characteristics and amount of cross-section shortening in Kuqa Foreland Basin [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1999, 26 (4): 403 ~ 406.

- [ 5 ] 余一欣, 汤良杰, 殷进垠, 等. 应用平衡剖面技术分析库车坳陷盐构造运动 [J]. 石油学报, 2008, 29 (3): 378~382.  
YU Yi-xin, TANG Liang-jie, YIN Jin-yin, et al. Analysis on kinematic characteristics of salt structures in Kuqa Depression by using balanced section technology [J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29 (3): 378~382.
- [ 6 ] 刘栋梁, 方小敏, 王亚东, 等. 平衡剖面方法恢复柴达木盆地新生代地层缩短及其意义 [J]. 地质科学, 2008, 43 (4): 637~647.  
LIU Dong-liang, FANG Xiao-min, WANG Ya-dong, et al. Cenozoic deformation history determined by restoration of the balanced section across the Qaidam Basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2008, 43 (4): 637~647.
- [ 7 ] 胡望水, 柴浩栋, 李瑞升, 等. 平衡剖面技术对东海西湖凹陷正反转构造及其成藏控制的研究 [J]. 特种油气藏, 2010, 17 (1): 5~19.  
HU Wang-shui, CHAI Hao-dong, LI Rui-sheng, et al. Application of balanced section technique to the study of positive in version structure and hydrocarbon accumulation control in Xihu Depression of East China Sea [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2010, 17 (1): 5~19.
- [ 8 ] NumA G. Structural restoration of seismic and geologic sections in extensional regimes [J]. AAPG Bulletin, 1991, 75 (2): 278~297.
- [ 9 ] 蒋录全, 刘光炎. 平衡剖面技术综述 [J]. 南方油气地质, 1995, 1 (3): 39~46.  
JIANG Lu-quan, LIU Guang-yan. Review of balanced cross section technique [J]. The Petroleum Geology in Southern China, 1995, 1 (3): 39~46.
- [ 10 ] 颜文, 欧阳自远, 李朝阳. 兰坪—思茅盆地脉状铜矿床黝铜矿的矿物化学 [J]. 矿物学报, 1994, 14 (4): 361~368.  
YAN Wen, OUYANG Zi-yuan, LI Chao-yang. Mineral chemistry of tetrahedrites from Lanping-Simao vein copper deposits, Yunnan province [J]. Acta Mineralogica Sinica, 1994, 14 (4): 361~368.
- [ 11 ] 朱创业, 夏文杰, 伊海生, 等. 兰坪—思茅中生代盆地性质及构造演化 [J]. 成都理工学院学报, 1997, 24 (4): 23~30.  
ZHU Chuang-ye, XIA Wen-jie, YI Hai-sheng, et al. The tectonic nature and evolution of Mesozoic Lanping-Simao Basin [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1997, 24 (4): 23~30.
- [ 12 ] 梁慧社, 张建珍, 夏义平. 平衡剖面技术及其在油气勘探中的应用 [M]. 北京: 地质出版社, 2002: 1~114.  
LIANG Hui-she, ZHANG Jian-zhen, XIA Yi-ping. Balanced cross section technique and its application in the oil and gas exploration [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 1~114.
- [ 13 ] 张向鹏, 杨晓薇. 平衡剖面技术的研究现状及进展 [J]. 煤田地质与勘探, 2007, 35 (2): 78~80.  
ZHANG Xiang-peng, YANG Xiao-wei. Research present situation and progress about balanced-section technique [J]. Coal Geology and Exploration, 2007, 35 (2): 78~80.
- [ 14 ] 张荣强, 吴时国, 周雁, 等. 平衡剖面技术及其在济阳坳陷桩海地区的应用 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28 (6): 135~142.  
ZHANG Rong-qiang, WU Shi-guo, ZHOU Yan, et al. Tectonic evolution of the Zhuanghai area, Bohai Bay Basin, East China; The application of balanced cross sections [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2008, 28 (6): 135~142.
- [ 15 ] 周建勋. 同沉积挤压盆地构造演化恢复的平衡剖面方法及其应用 [J]. 地球学报, 2005, 26 (2): 151~156.  
ZHOU Jian-xun. The balanced cross-section method for restoration of structural evolution in compressional basins with synkinematic sedimentation and its application [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2005, 26 (2): 151~156.
- [ 16 ] 宋廷光. 同沉积逆断层的发育特点及油气聚集条件分析 [J]. 青海地质, 1997, (2): 6~13.  
SONG Ting-guang. Properties of synsedimentary reverse faults and petroleum accumulation [J]. Qinghai Geological, 1997, (2): 6~13.
- [ 17 ] 覃功炯, 彭斯震. 兰坪金顶地区推覆—滑动构造及其平衡剖面 [J]. 现代地质, 1994, 8 (2): 177~185.  
QIN Gong-jiong, PENG Si-zhen. Nappe-sliding structure and balanced cross-section of the Lanping-Jinding region, Yunnan, China [J]. Geosciences, 1994, 8 (2): 177~185.

(下转第 261 页)

## IN-SITU STRESS MEASUREMENT BY DIFFERENTIAL STRAIN ANALYSIS METHOD IN WFS-1

PENG Hua<sup>1,2</sup>, MA Xiu-min<sup>1,2</sup>, JIANG Jing-jie<sup>1,2</sup>

- (1. *Key Lab of Neotectonic Movement and Geohazards, Ministry of Land and Resources, Beijing 100081, China;*  
2. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China*)

**Abstract:** Core differential strain analysis method is one of the primary means of in-situ stress measurement in WFS-1. Through the pressure vessel, the experimental samples taken from different depths are pressured. And it is observed that the produced cracks are re-closed due to the previously loss stratum stress. The technology is that the size and direction of principal stress are determined by differential strain analysis in the process of crack closure. This article describes the principle and data processing method of in-situ stress measurement by differential strain analysis (DSA) in WFS-1. And the stress profile is established with depth in the hole. Test results show that the stress states of the upper and lower plate in the Yingxiu-Beichuan fault are significant differences. Regional in-situ stress not only increases with depth, but also concerns with the geological structure, rock physical properties and other factors.

**Key words:** Wenchuan Fault Scientific Drilling (WFS-1); Yingxiu-Beichuan fault; differential strain analysis; in-situ stress measurement; sliding criterion

(上接第248页)

## CRETACEOUS DEFORMATION HISTORY DETERMINED BY RESTORATION OF THE BALANCED SECTION ACROSS THE LANPING-JINDING REGION, YUNNAN, CHINA

LIU Li-jie, GUO Fu-sheng, JIANG Yong-biao, ZHU Zhi-jun  
(*East China Institute of Technology, Fuzhou, Jiangxi 344000, China*)

**Abstract:** The Nanping Basin, located between the India and Eurasian plates, was a large Mesozoic-Cenozoic basin and deposited huge thick continuous Cretaceous strata, which recorded well the regional tectonic movement characteristics. Based on field survey and indoor data sorting, a technique of balanced section across the Lanping-Jinding region was applied to a NW-SN geological profile to reconstruct the crust shortening history from Cretaceous and to understand the nature of the basin and to check up its geological structure explained correctly and to make a digital analysis. The results showed that the total length about the Cretaceous crust shortening was 2.938 km from the under section of Jingxing Formation to Nanxin Formation, and Nanxin Formation had the most strongest tectonic movement.

**Key words:** Lanping-Jinding region; Cretaceous; shortening length; technique of balanced section