

刘浪,李致伟,邵俊琦,等.滇东北会泽地区叠加褶皱特征及构造演化[J].地球科学与环境学报,2018,40(5):595-611.

LIU Lang, LI Zhi-wei, SHAO Jun-qi, et al. Superimposed Fold Characteristics and Tectonic Evolution in Huize Area of Northeastern Yunnan, China[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2018, 40(5): 595-611.

## 滇东北会泽地区叠加褶皱特征及构造演化

刘浪<sup>1,2</sup>, 李致伟<sup>3</sup>, 邵俊琦<sup>1</sup>, 黄锦山<sup>1</sup>, 刘德民<sup>1\*</sup>, 吕晓春<sup>3</sup>

(1. 中国地质大学(武汉)地球科学学院, 湖北 武汉 430074; 2. 广东核力工程勘察院, 广东 广州 510800;

3. 中国人民武装警察部队黄金第十支队, 云南 昆明 650001)

**摘要:**滇东北会泽地区位于扬子板块西南缘,发育小米落叠加褶皱。褶皱发育在小江断裂、会泽断裂、雨碌断裂所围限的三角区内,呈“弓”字形展布。小米落叠加褶皱野外特征反映小米落向斜经历了由轴迹近SN向至弯曲变形呈“弓”字形演化的过程。对会泽断裂及雨碌断裂进行详细野外解析,发现会泽断裂经历了由压性至右行压扭性再发展为左行压扭性的演化过程;雨碌断裂经历了由压性至右行压扭性转变的过程。应力场特征反映在区域应力作用下,受断层调整作用的影响,会泽地区依次受到近EW向、近NW向、和NE向挤压应力作用。通过对会泽及周缘地层接触关系进行分析,结合会泽地区新生代沉积盆地电子自旋共振(ESR)的年代学特征,确定了叠加褶皱形成时代为始新世晚期(25~38 Ma),于渐新世晚期((17.8±1.7)Ma)和更新世(0.75~1.05 Ma)被叠加改造。

**关键词:**叠加褶皱;构造演化;断层调整;构造解析;应力场;扬子板块;云南

**中图分类号:**P542<sup>+</sup>.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-6561(2018)05-0595-17

## Superimposed Fold Characteristics and Tectonic Evolution in Huize Area of Northeastern Yunnan, China

LIU Lang<sup>1,2</sup>, LI Zhi-wei<sup>3</sup>, SHAO Jun-qi<sup>1</sup>, HUANG Jin-shan<sup>1</sup>, LIU De-min<sup>1\*</sup>, LYU Xiao-chun<sup>3</sup>

(1. School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 2. Guangdong Nuclear Force Institute of Engineering Investigation, Guangzhou 510800, Guangdong, China; 3. No. 10 Gold Geological Party of Chinese People's Armed Police Force, Kunming 650001, Yunnan, China)

**Abstract:** Huize area in northeastern Yunnan is located on the southwest of Yangtze block, and outcrops Xiaomiluo superimposed fold. The fold is developed in the triangle area confined by Xiaojiang, Huize and Yulu faults, showing a “bow” shaped distribution. The stress field indicates that the syncline experiences a modification from a nearly SN-trending axis to a complex “bow” shape. Based on the detailed field analysis of Huize and Yulu faults, it is found that Huize fault undergoes transformations from compression to dextral transpression and then to sinistral transpression, while Yulu fault experiences an evolution from compression to dextral transpression. The characteristics of stress field show that faults adjust in response to the regional stress field, and Huize area undergoes compression in near EW-, NW-, and NE-trending directions successively. The strata contact relationship between Huize and surrounding areas along with the ESR chronological characteristics of Cenozoic sedimentary basin, determines that

收稿日期:2018-01-06;修回日期:2018-06-13 投稿网址: <http://jese.chd.edu.cn/>

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(12120115041601)

作者简介:刘浪(1992-),男,湖北潜江人,中国地质大学(武汉)理学硕士研究生, E-mail: 237295093@qq.com。

\* 通讯作者:刘德民(1975-),男,湖北洪湖人,副教授,理学博士, E-mail: gouzao613@cug.edu.cn。

the superimposed fold occurs in Late Eocene(25-38 Ma), and is superposed in Late Oligocene ( $17.8 \pm 1.7$ ) Ma) and Pleistocene (0.75-1.05 Ma), respectively.

**Key words:** superimposed fold; tectonic evolution; fault adjustment; structural analysis; stress field; Yangtze block; Yunnan

## 0 引言

滇东北会泽地区位于扬子板块西南缘,是特提斯构造域和环太平洋构造域的结合部位,发育复杂的构造样式。韩润生等研究认为,震旦纪—三叠纪为扬子板块西南部的稳定盖层沉积时期,海西晚期滇东北地区整体表现为伸展环境,印支期表现为挤压环境,构造体制发生明显转换,为会泽地区铅锌矿的形成提供了良好的条件<sup>[1-4]</sup>。受燕山运动的影响,滇东北部分地区形成白垩系与古近系地层的角度不整合。新生代,受印度洋板块和欧亚板块汇聚及川滇菱形块体向东挤出作用的影响,红河断裂从渐新世以来经历了由左行向右行的转化及小江断裂强烈的左行走滑运动<sup>[5-7]</sup>。另外,受东部太平洋板块向西俯冲作用的影响,两大构造域的叠加导致滇东北地区构造体系先后存在EW向、NE向、NW向的转化,印支期之后滇东北地区经过多次构造运动,形成了丰富的叠加变形系统<sup>[8-12]</sup>。通过对这些叠加构造的研究,能很好地确定多期构造变形和构造运动期次,探讨构造演化史以及对内、外生矿产和变质矿床的控制<sup>[13]</sup>。另外,通过对叠加褶皱的研究来拟定某一地区的构造演化及重要造山事件是一个有效方法<sup>[14-34]</sup>。

喜山期是滇东北会泽地区重要的变形期,对滇东北地区构造演化具有重要意义,因此,对滇东北地区叠加构造的研究显得尤为重要。然而,前人对滇东北会泽地区的研究多集中在找矿和成矿模式上,对该地区新生代复杂变形及叠加褶皱的研究较为薄弱。本文基于前人有关滇东北地区控矿构造等研究成果,通过对小米落叠加褶皱进行解析,探讨褶皱形成过程和演化历史及滇东北会泽地区区域构造演化过程,为滇东北地区构造变形及构造演化研究提供资料。

## 1 地质背景

滇东北会泽地区处于地质演化复杂、多期构造叠加的重要构造结合部位。区域上由SN向小江断层、NE向师宗—弥勒断层和NW向亚都—水城断层形成了该地区的构造格架,控制着滇东北地区褶皱、次级断层的分布(图1)。同时,区域上的大型断裂控制着该地区岩浆作用及矿产的分布。二叠纪峨

眉山玄武岩和滇东北地区铅锌矿床的分布受断裂控制明显。这些断层经历多期活动,其构造性质发生多期变化,会泽地区构造形迹复杂多样,呈现出SN向、NE向和NW向构造形迹发育并相互影响以及多期叠加的特点<sup>[1-2,35]</sup>。喜山运动过程中,受印度洋板块和欧亚板块的汇聚及川滇菱形块体挤出的影响,滇东北地区区域应力场特征发生变化,同时造就了该地区复杂的构造形迹。

滇东北会泽地区地层发育,除奥陶系、志留系、下泥盆统、上三叠统及白垩系缺失外,自中元古界至第四系各层位的地层均有出露,尤以震旦系、泥盆系和三叠系分布最为广泛。会泽地区构造特征整体上呈现NE向向斜和背斜相间排列,构成区域上侏罗山式褶皱形式。会泽断裂、雨碌断裂、待补断裂和鲁纳断裂均显示多期活动特征。会泽断裂、雨碌断裂和小江断裂将小米落褶皱围限在一个三角区内,使得三角区内部构造变形特征与周围构造形迹产生明显差异(图2)。在新生代,小江断裂发生多次活动,形成滇东北地区重要的地震带。震源机制解特征反映小江断裂新生代主要表现为左行走滑。

## 2 叠加褶皱野外特征

在会泽断裂、雨碌断裂、小江断裂所围限的三角区内,小米落向斜呈“弓”字形展布。北部毛家村—卡郎—新街一带呈“Z”形连续分布,两翼地层为上二叠统峨眉山组( $P_2e$ )—中侏罗统沙溪庙组( $J_2s$ ),核部地层为上侏罗统遂宁组( $J_3s$ )、上侏罗统蓬莱镇组( $J_3p$ )。褶皱枢纽呈波状起伏,卷入褶皱的地层为二叠系—上侏罗统遂宁组。西北侧地层倾向南、南东,产状较陡,倾角 $40^\circ \sim 85^\circ$ ,局部地层发生倒转,多发育次级逆断层。东南侧地层倾向北、北西,倾角较缓,产状为 $330^\circ \angle (12^\circ \sim 20^\circ)$ ,核部地层变形较为强烈,发育一系列“M”形次级褶皱,劈理较为发育。褶皱整体为一轴面弯曲的不对称褶皱(图3)。在高家村一带,小米落叠加褶皱轴面发生弯曲变形(图4),在中侏罗统沙溪庙组砂岩中发育次级紧闭褶皱,变形强烈(图5)。

南部毛家村一台子上一白杨沟一带褶皱呈云朵状,两翼地层为上二叠统峨眉山组—下三叠统嘉陵

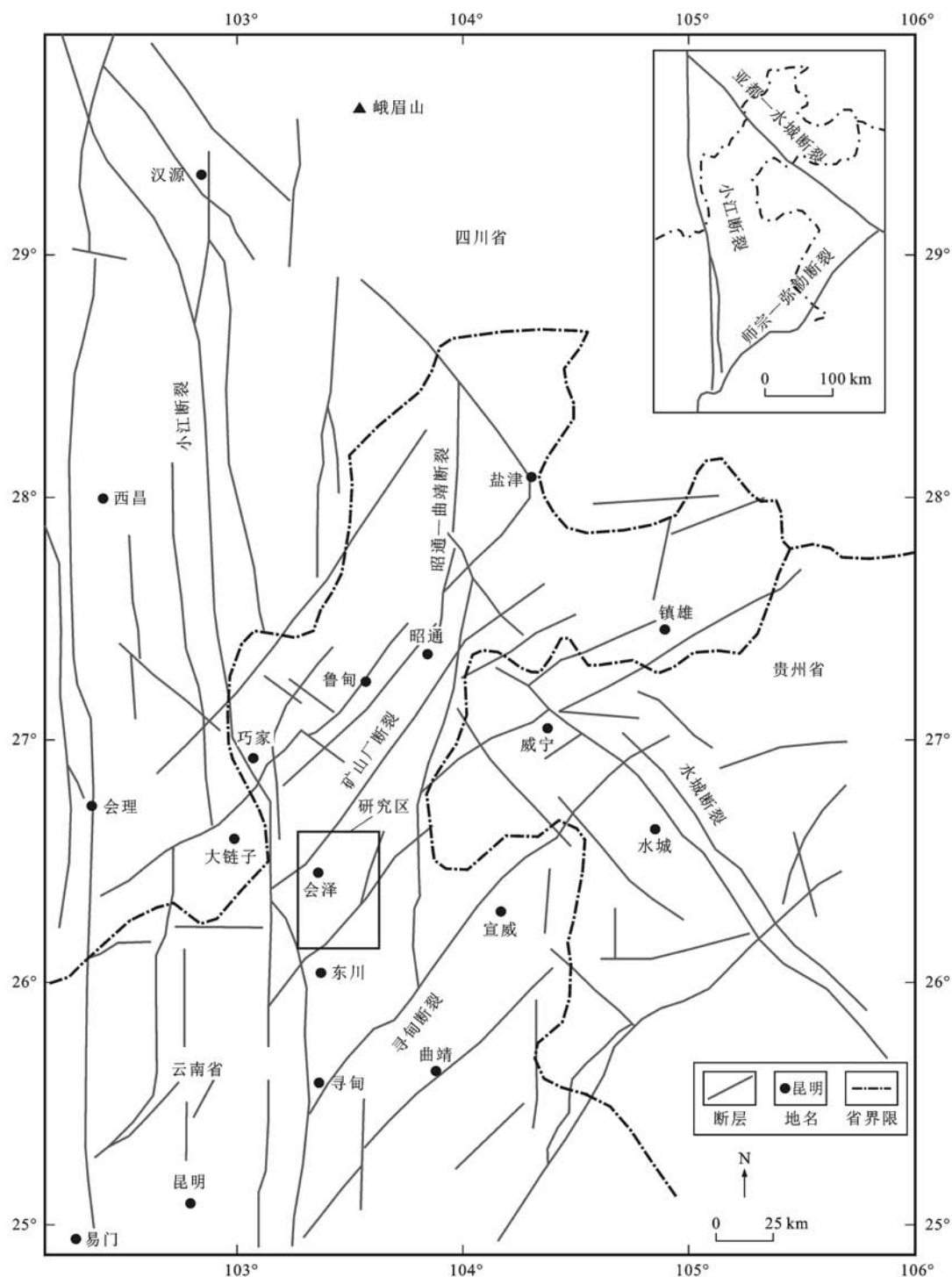


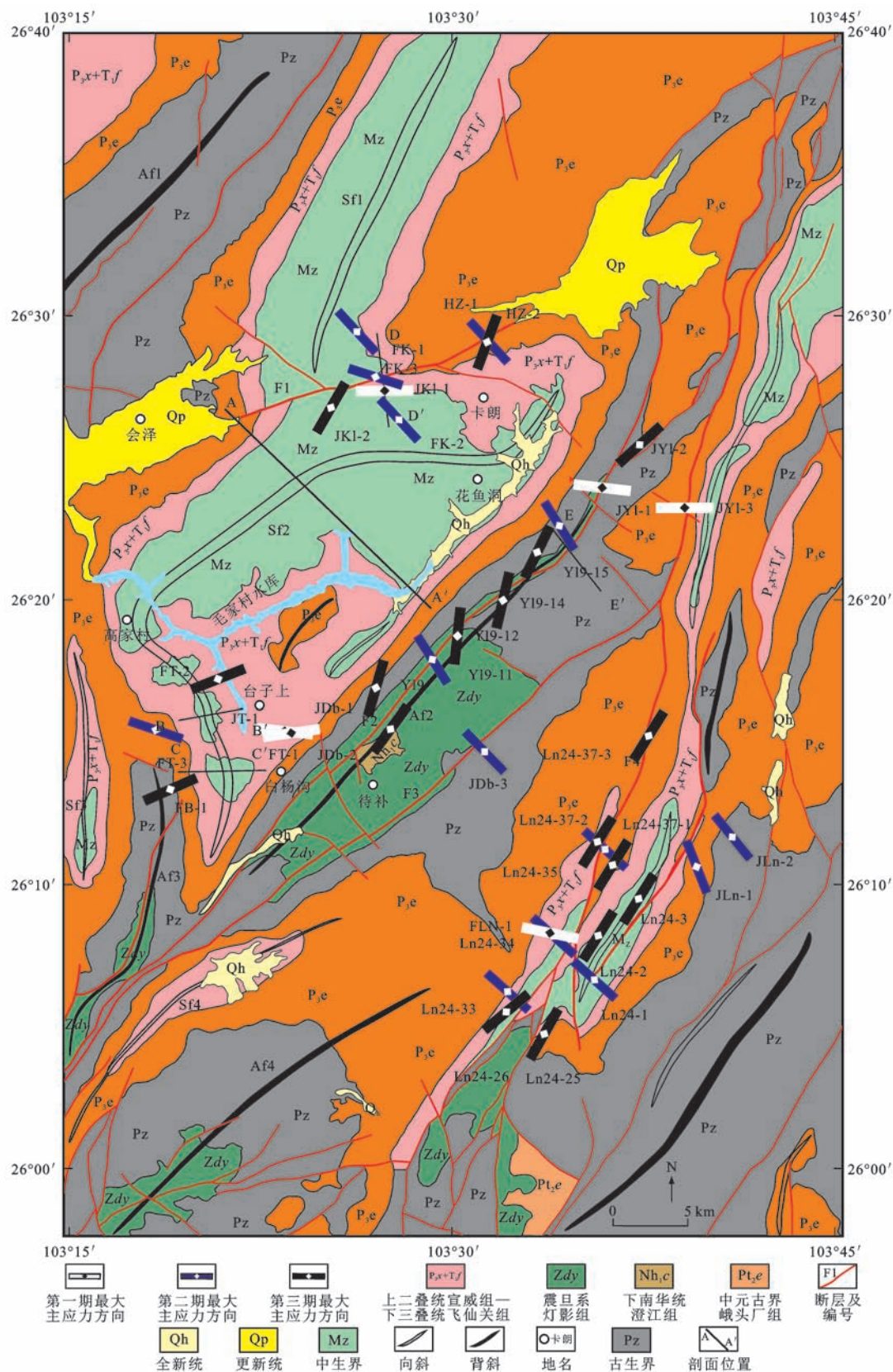
图 1 扬子板块西南缘区域构造格架

**Fig. 1 Regional Tectonic Map of the Southwestern Yangtze Block**

江组( $T_{1j}$ ),核部地层为中三叠统关岭组( $T_{2gl}$ )。台子上地区褶皱两翼优势产状分别为 $147^{\circ}\angle 6^{\circ}$ 和 $339^{\circ}\angle 24^{\circ}$ ,枢纽产状为 $189^{\circ}\angle 4^{\circ}$ (图6)。褶皱西翼飞仙关组地层中发育小型斜歪背斜,两翼产状分别为 $70^{\circ}\angle 58^{\circ}$ 和 $260^{\circ}\angle 37^{\circ}$ ,枢纽产状为 $343^{\circ}\angle 5^{\circ}$ ,次级褶皱枢纽与小米落褶皱枢纽夹角为 $16^{\circ}$ (图7)。在毛家村水库一大石岩一带向斜核部发育中三叠统

关岭组地层,两翼为上二叠统峨眉山组一下三叠统嘉陵江组地层,褶皱形态呈云朵状分布,褶皱形迹由北向南呈 NW→NNW→NNE 向变化。大石岩地区两翼优势产状分别为  $339^{\circ}\angle 24^{\circ}$  和  $82^{\circ}\angle 33^{\circ}$ , 枢纽优选产状为  $22^{\circ}\angle 19^{\circ}$ , 该褶皱为近 SN 向直立褶皱(图 8)。褶皱东翼发育小型倒转背斜,其两翼产状分别为  $30^{\circ}\angle 30^{\circ}$  和  $25^{\circ}\angle 68^{\circ}$ , 枢纽产状为  $113^{\circ}\angle 5^{\circ}$ , 次





Af1 为五星背斜; Af2 为舍居河背斜; Af3 为坪箐背斜; Af4 为驾车背斜; Sf1 为乐业向斜; Sf2 为小米落向斜; Sf3 为水槽子向斜; Sf4 为水塘子向斜; F1 为会泽断裂; F2 为雨碌断裂; F3 为待补断裂; F4 为鲁纳断裂

图 2 扬子板块西南缘会泽地区构造概况

Fig. 2 Geological Map of Huize Area of the Southwestern Yangtze Block



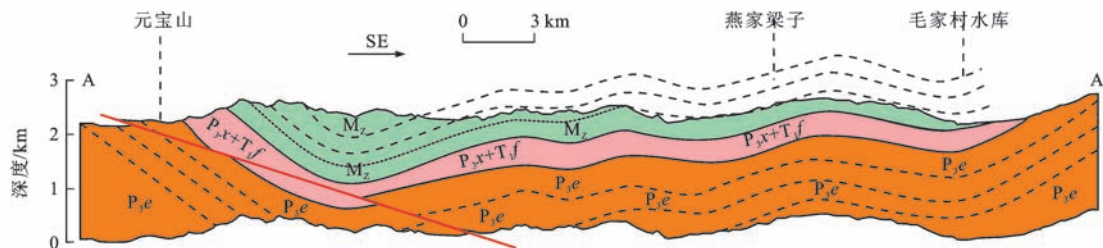
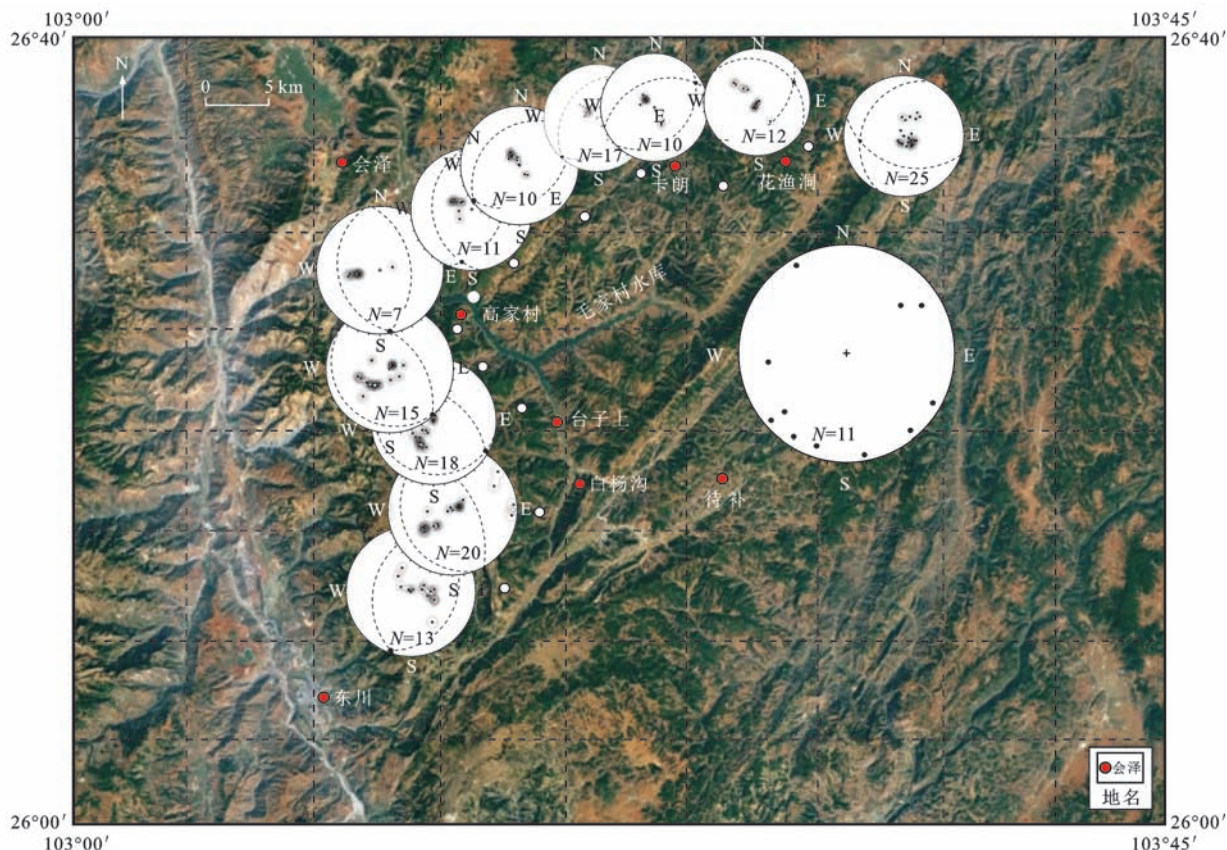


图3 扬子板块西南缘小米落褶皱剖面

Fig. 3 Section of Xiaomiluo Fold of the Southwestern Yangtze Block



N 为产状数量

图4 小米落叠加褶皱几何特征

Fig. 4 Geometrical Characteristics of Xiaomiluo Superimposed Fold

级褶皱枢纽与小米落褶皱枢纽夹角为  $91^\circ$  (图9)。

北部乐业向斜呈 NE 向展布,长约 26 km,两翼地层为上二叠统峨眉山组—中侏罗统沙溪庙组,核部地层为上侏罗统遂宁组、上侏罗统蓬莱镇组。西北翼产状为  $(75^\circ \sim 145^\circ) \angle (20^\circ \sim 65^\circ)$ ,平均产状为  $117^\circ \angle 42^\circ$ ;东南翼产状为  $(280^\circ \sim 355^\circ) \angle (20^\circ \sim 50^\circ)$ ,平均产状为  $289^\circ \angle 26^\circ$ ,枢纽产状为  $207^\circ \angle 4^\circ$ 。由此可见,北部乐业向斜为一西北翼较陡、东南翼较缓、NE 向扬起的不对称向斜。该向斜在物质组成上与三角区内的小米落向斜北部存在物质上的一致性(图2、4)。

综上所述,小米落褶皱被会泽断层切割,并与会

泽断层呈斜交关系,造成了小米落向斜与乐业向斜构造样式的不一致。在褶皱东北缘,小米落向斜被卡郎断层切割破坏,致使向斜核部发生右行平移。

### 3 断层及应力场特征

#### 3.1 断层特征

叠加褶皱发育地区如果发育区域性大型断层,在不同方向的区域应力场作用下及地质体的不均一,就会在不同区块内形成更为复杂的叠加褶皱与构造组合。杨坤光等在研究武陵复杂断褶带时,提出武陵复杂断褶带为早期形成近 SN 向褶皱构造,之后受晚期 NE—SW 向应力场的斜跨叠加,早期形

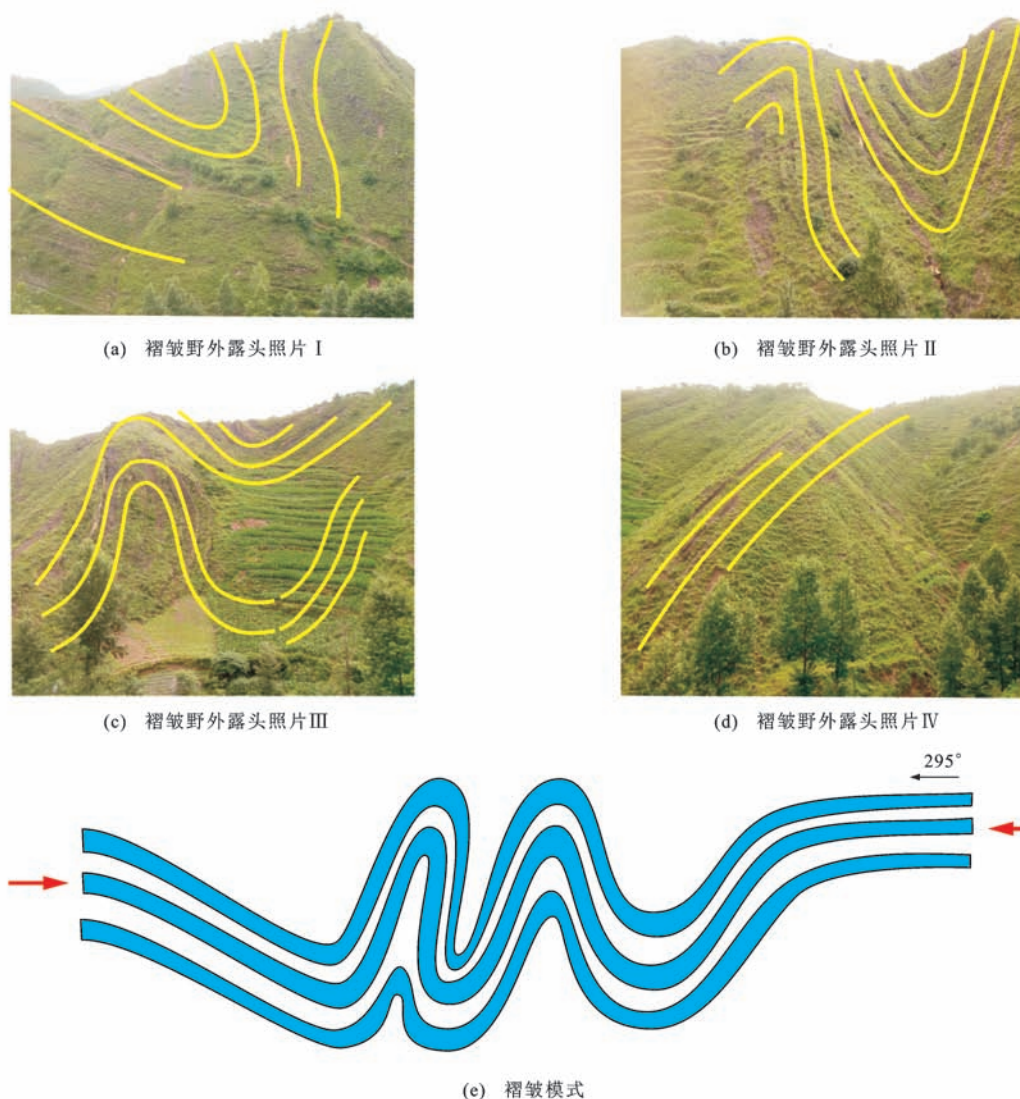


图 5 高家村小米落褶皱特征

Fig. 5 Characteristics of Xiaomiluo Fold in Gaojiacun

成的 NE—SW 向断裂将该区域近 SN 向褶皱左行剪切或错断,致使其呈“S”形展布<sup>[33]</sup>。

三角区内部应力变化主要受小江断裂、会泽断裂和雨碌断裂的影响,使得其构造变形复杂多样。由于小江断裂、会泽断裂和雨碌断裂存在多期活动,使得三角区内部出现多期构造叠加现象进而形成叠加褶皱。

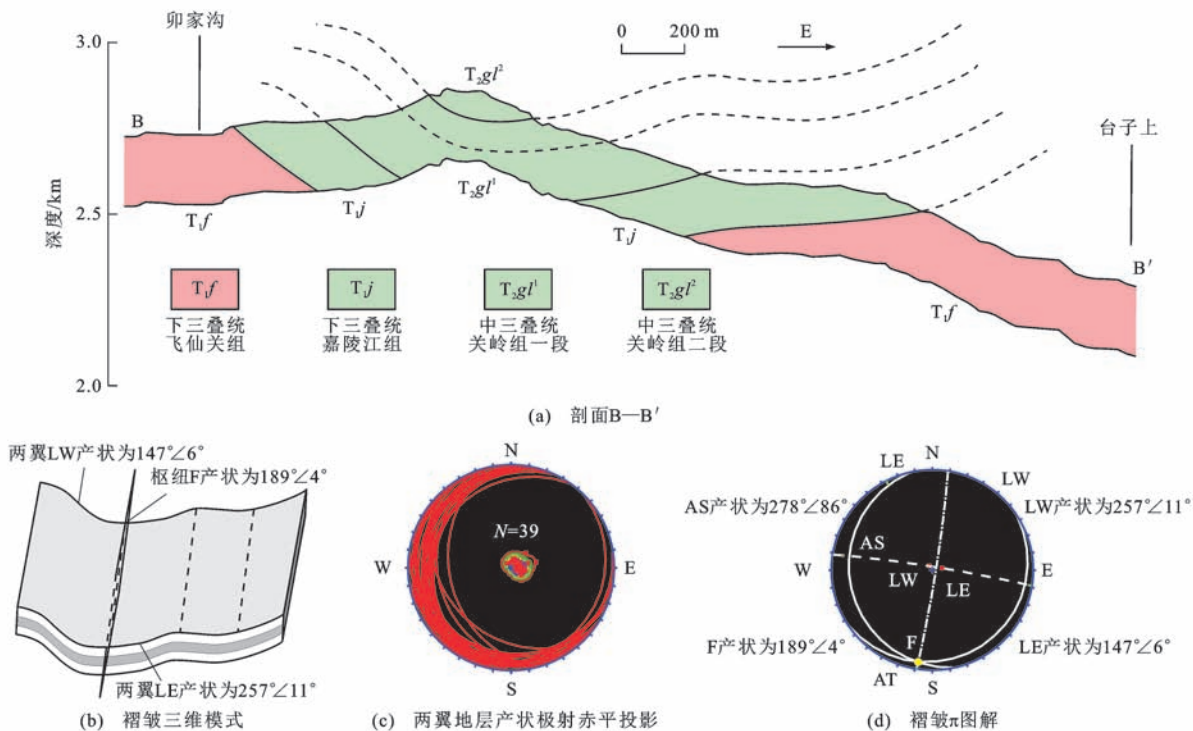
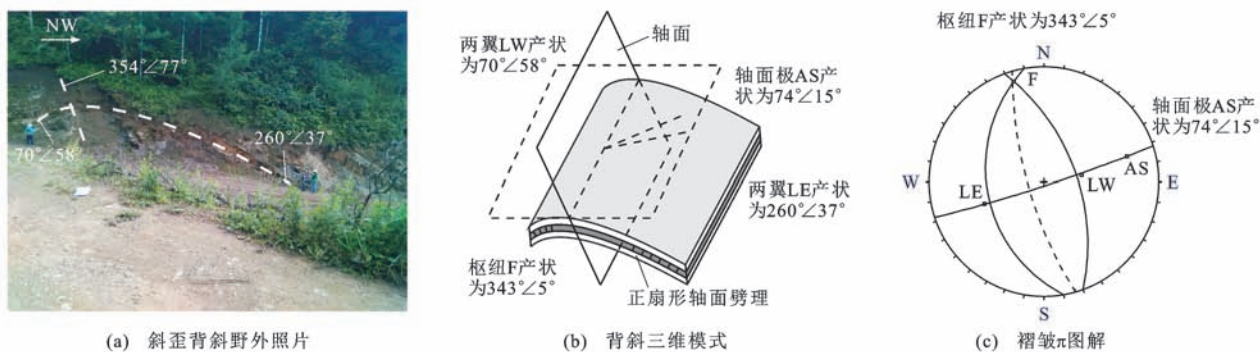
选取会泽地区颜家店一带(图 10)对会泽断裂进行详细实测解析。该地区由一系列向南倾斜的叠瓦状逆断层组成,产状为  $(134^{\circ} \sim 163^{\circ}) \angle (31^{\circ} \sim 79^{\circ})$ ,倾角由北至南逐渐减小,断层带宽约 100 m,下盘为下三叠统飞仙关组一段,上盘主要为上二叠统峨眉山组四段、上二叠统宣威组、下三叠统飞仙关组二段(图 10)。

在断层带前缘,断层下盘靠近断层带处受断层

影响产生地层倒转现象,并发育次级牵引褶皱、碎裂岩化带及劈理化带;断层上盘发育构造角砾岩、碎裂岩、碎裂岩化泥岩,构造角砾岩可见被断层后期活动改造而发育的擦痕;断层带内发现老地层上二叠统宣威组压盖在新地层下三叠统飞仙关组之上,上二叠统峨眉山组四段压盖于宣威组之上(图 10)。

在断层带的后缘,断层下盘为上二叠统峨眉山组四段,断层上盘为上二叠统宣威组,断层由断层泥、构造透镜体、碎裂岩组成,宽 3~5 m,在近平行于断层走向的平面内发育透镜体,长约 1.50 m,宽约 0.75 m,长轴产状为  $165^{\circ} \angle 64^{\circ}$ ,透镜体指示对盘向左运动,透镜体上发育窗棱构造,线理产状为  $112^{\circ} \angle 50^{\circ}$ 。在近垂直断层的平面内发育指示断层上盘向上运动的透镜体,透镜体长 5~20 cm,宽 3~10 cm,长轴产状为  $155^{\circ} \angle 55^{\circ}$ (图 11)。



图6 台子上地区小米落褶皱三维模式、极射赤平投影及褶皱 $\pi$ 图解Fig. 6 3D Model, Stereographic Projection and Fold  $\pi$  Diagram of Xiaomiluo Fold in Taizishang Area图7 小米落向斜西翼背斜三维模式及褶皱 $\pi$ 图解Fig. 7 3D Model and Fold  $\pi$  Diagram of Anticline in the West Limb of Xiaomiluo Syncline

会泽断层表现出两期平移特征。早期表现为右行平移特征,切割了早期小米落向斜,形成断层北部乐业向斜和南部小米落向斜。随后,会泽断层表现出左行平移特征,致使乐业向斜产生左行牵引变形,进而在局部形成“S”形变形,同时还形成了会泽“Z”形拉分盆地及者海断陷盆地。

雨碌断裂整体呈 NNE 向展布,延伸方向约为  $35^\circ$ ,在剖面上整体呈现叠瓦状特征(图 12)。选取雨碌地区进行实测构造剖面调查,断层在剖面上表现强烈破碎,破碎带宽度为 750 m。断层破碎带中发育已固结的断层角砾岩被后期断层压碎,说明雨碌断裂具有多期活动的特征[图 13(a)、(b)]。断层带内构造透镜体指示断层上盘向上运动,且发育明

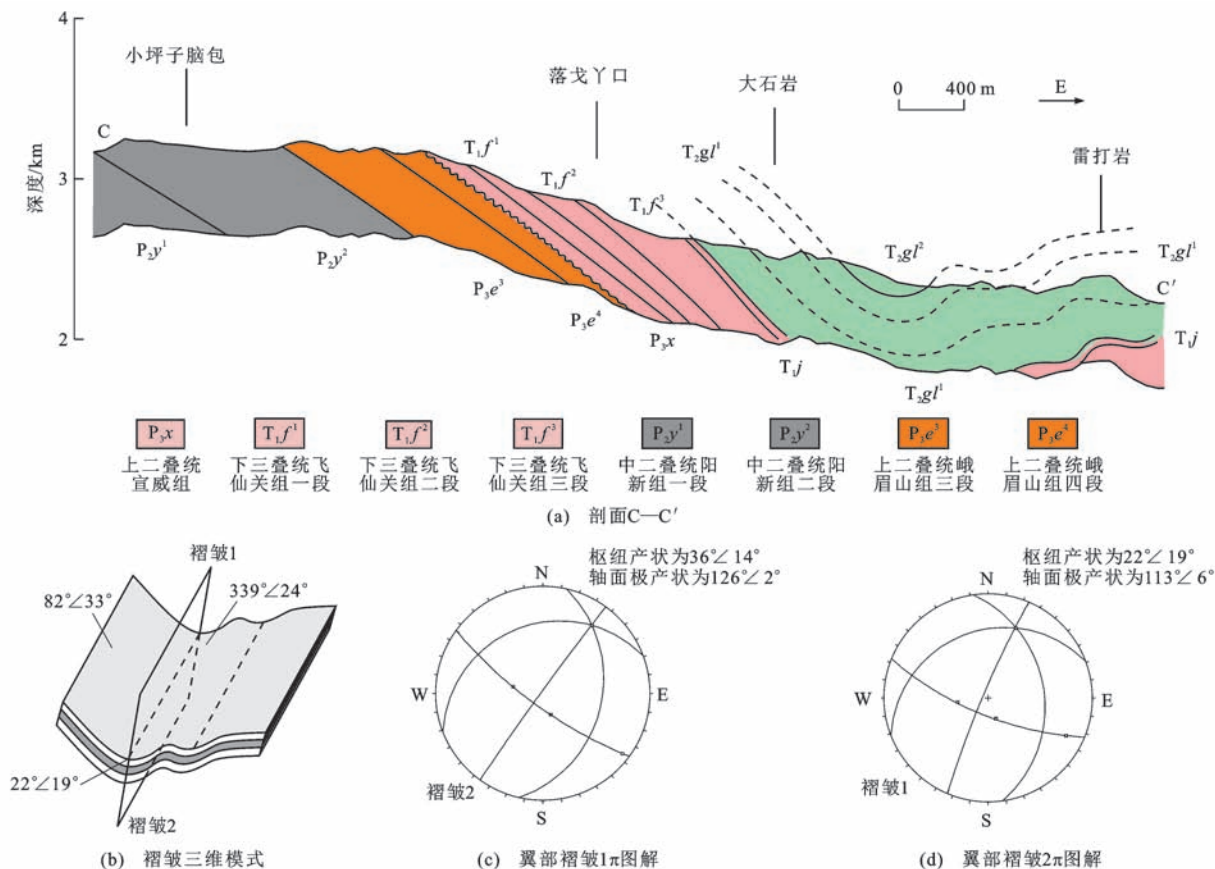
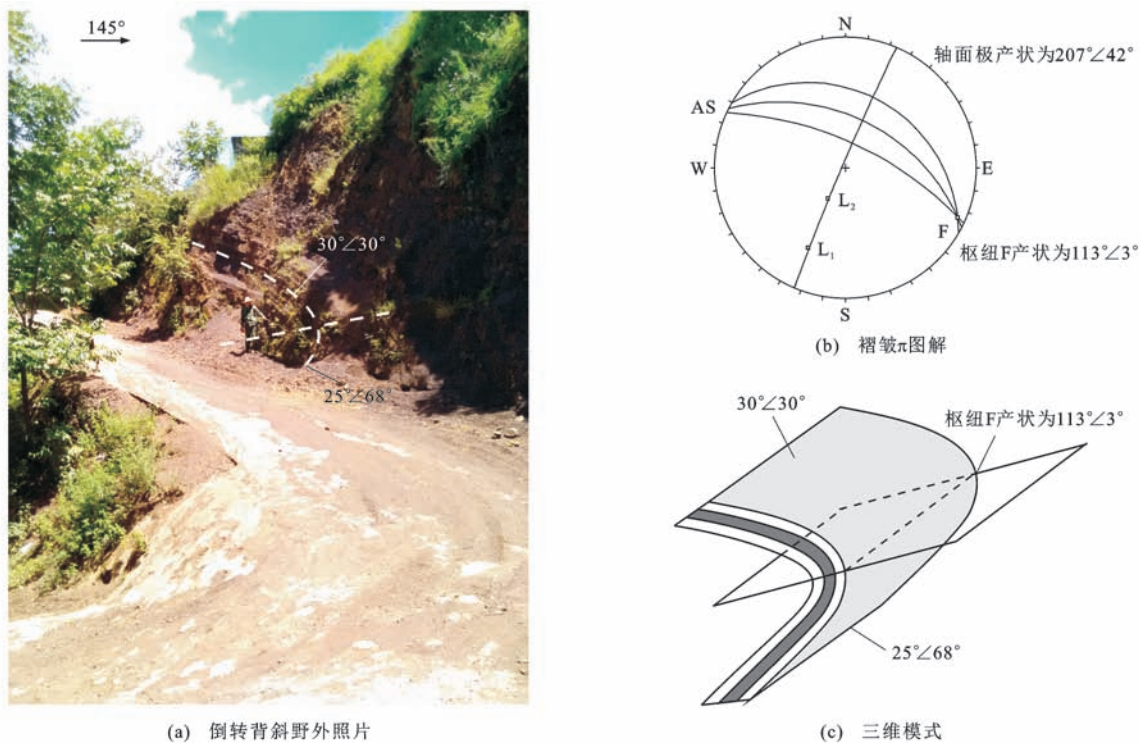
显碳化现象[图 13(c)],表明雨碌断层具有强烈的压性特征。

在白马场地区的构造观察点上,可见在断层面附近地层发生牵引变形。从地层牵引褶皱可以判断出雨碌断层具有明显的右行走滑特征[图 13(d)],因此,该断层具有强烈的右行平移特征。

综上所述,会泽断层为一压扭性断层,早期以右行逆断为主,晚期以左行逆断为主;雨碌断层是一条多期活动、以右行逆断性质为主的压扭性断层。

### 3.2 应力场特征

为了探讨会泽地区应力特征及动力来源,对野外共轭“X”形节理、断层擦痕、褶皱露头构造进行详细的应力分析。

图 8 大石岩地区小米落向斜剖面褶皱三维模式及褶皱 1 $\pi$ 、2 $\pi$  图解Fig. 8 3D Fold Model, Fold 1 $\pi$  and 2 $\pi$  Diagrams of Xiaomiluo Syncline in Dashiyan Area图 9 小米落向斜东翼倒转背斜三维模式及褶皱  $\pi$  图解Fig. 9 3D Model and Fold  $\pi$  Diagram of Inverted Anticline in the East Limb of Xiaomiluo Syncline



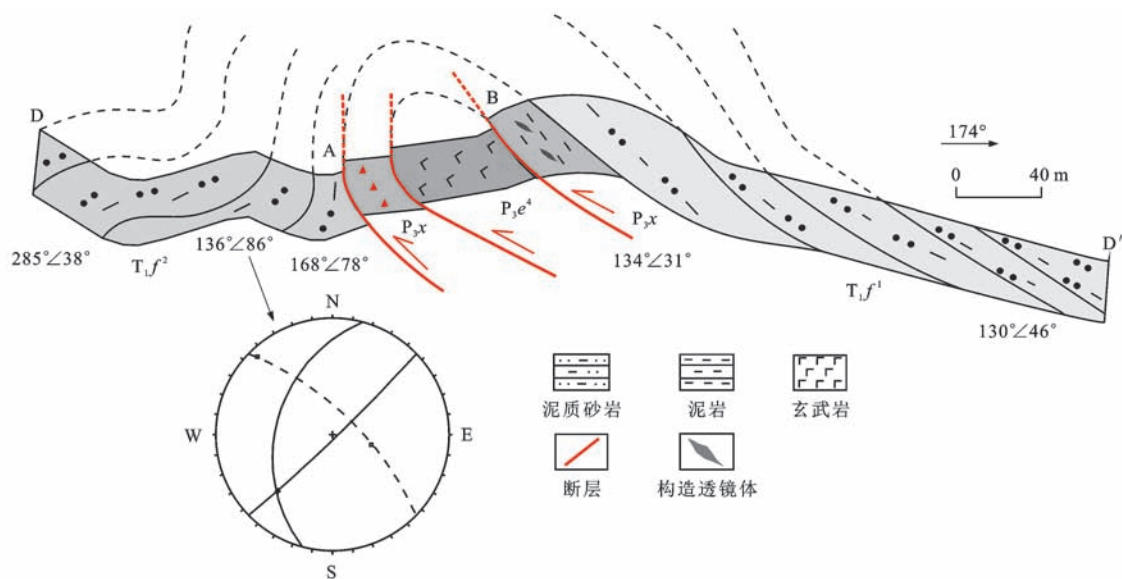


图 10 会泽断裂剖面

Fig. 10 Section of Huize Fault

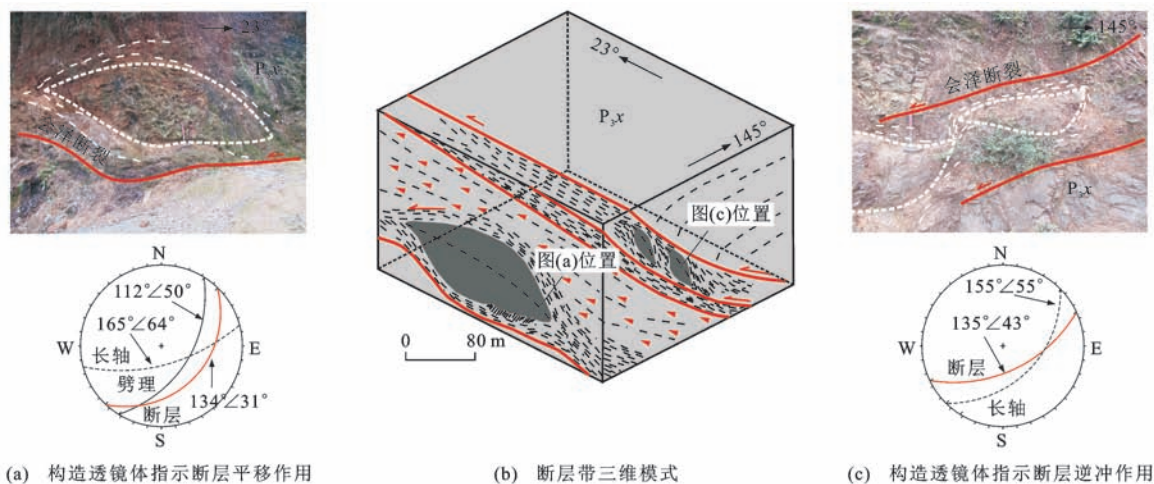


图 11 会泽断裂带中构造透镜体野外特征

Fig. 11 Field Characteristics of Structural Lenses in Huize Fault Zone

对会泽地区雨碌断裂、会泽断裂、待补断裂、鲁纳断裂进行擦痕数据统计分析,将会泽地区不同部位应力状况投影在构造纲要图上,应力特征反映滇东北会泽地区整体受近 EW 向、近 NW 向、近 NE 向 3 期挤压应力作用(图 14)。其中在小米夏地区,鲁纳断裂擦痕应力显示,该地区受近 NW 向挤压应力和近 NE 向挤压应力作用,表明鲁纳断裂经历了多期活动。结合野外特征,可将两期应力分为早期近 NW 向挤压和晚期近 NE 向挤压(图 2)。

会泽地区野外共轭“X”形节理显示,在毛家村水库南部台子上地区最大主应力( $\sigma_1$ )方向为近 EW 向,与小米落向斜轴面近垂直[图 15(a)]。卡郎地区会泽断裂带中,共轭剪节理指示最大主应力方向为 NE 向[图 15(g)],与会泽断裂走向近一致,反映

在区域挤压应力作用下,由于会泽断裂发生走滑运动,对会泽断裂周围应力场产生扰动,使得最大主应力方向沿着会泽断裂走向。在雨碌断裂与会泽断裂相交部位,最大主应力方向为 NE 向,与雨碌断裂走向近于平行[图 15(d)]。在雨碌断裂南部待补镇附近,最大主应力方向发生偏转,为 NW 向和近 EW 向[图 15(b)、(c)]。在鲁纳断裂南部小米夏地区,最大主应力方向为近 EW 向[图 15(j)]。

褶皱是地层中反映岩石受力变形的重要现象,可利用褶皱恢复岩石变形时所受的应力状态。通过对会泽地区小型褶皱的解析,反映在小米落褶皱南部毛家村水库地区褶皱两翼最大主应力存在 NWW 向[图 15(h)]、近 NE 向[图 16(d)]和近 EW 向[图 16(a)]3 个方向。卡郎地区最大主应力方向为

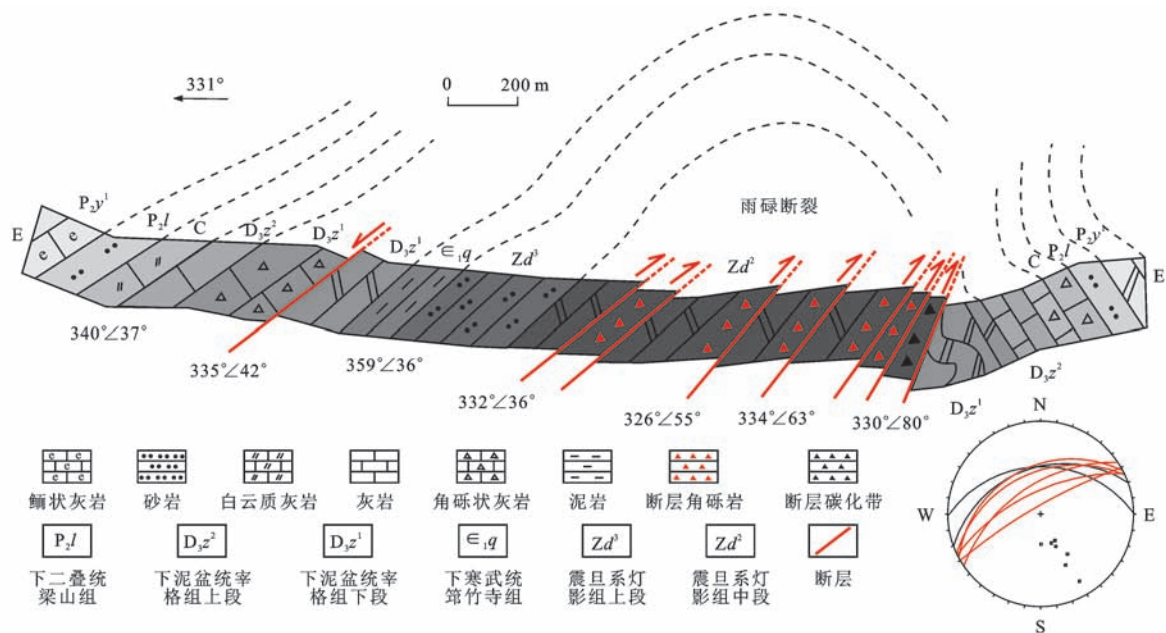


图 12 雨碌断裂剖面

Fig. 12 Section of Yulu Fault

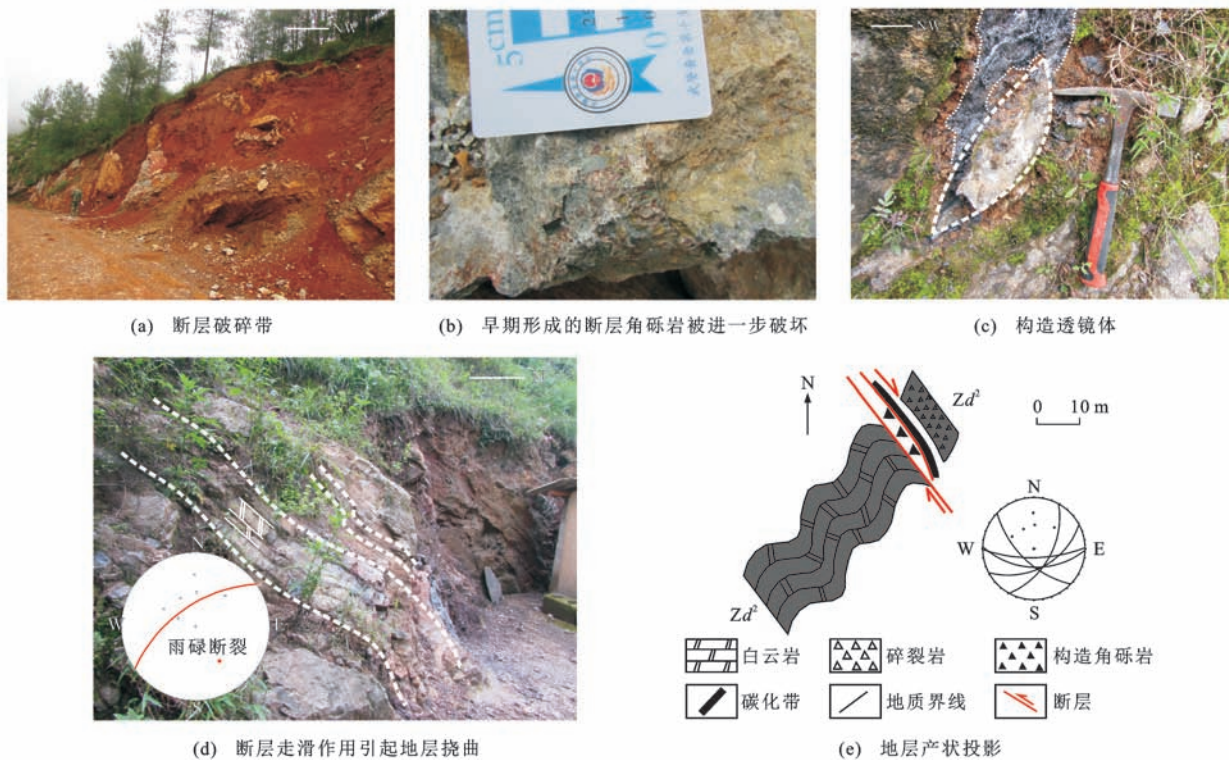


图 13 雨碌断裂野外特征

Fig. 13 Field Characteristics of Yulu Fault

近 NW 向[图 16(e)]. 在会泽地区东南部小米夏地区,最大主应力方向为 EW 向[图 16(g)].

将会泽地区最大主应力产状投影在极射赤平图上(图 17),极点集中区域反映滇东北会泽地区主要存在近 EW 向、近 NW 向和近 NE 向 3 个最大主应力方向,结合野外断层切割关系和野外节理特征,将

3 期最大主应力从早至晚依次划分为近 EW 向、近 NW 向和近 NE 向。

## 4 讨论

### 4.1 叠加褶皱变形时代

综合会泽地区主要断层运动特征、小米落褶皱特



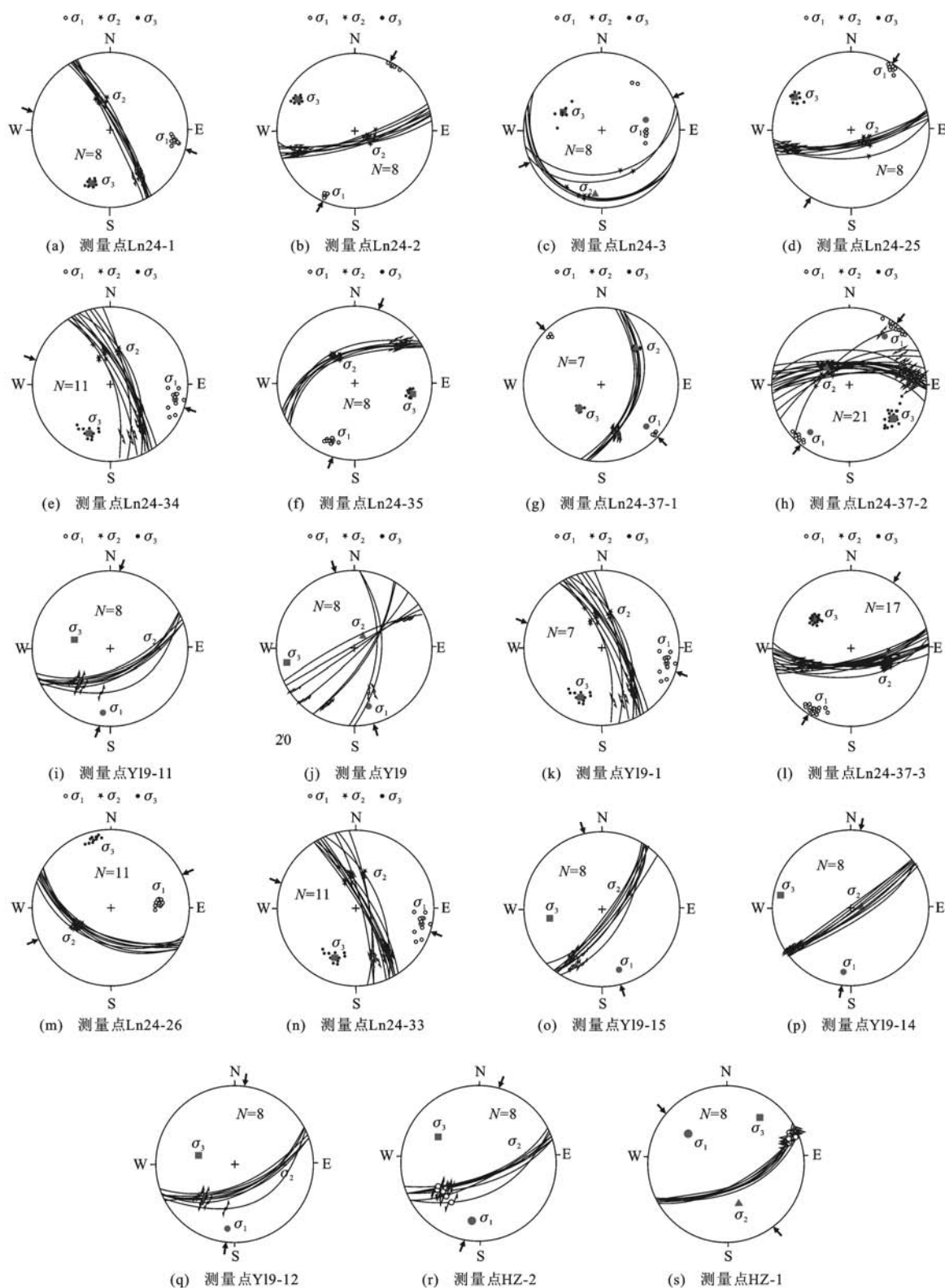


图 14 断层擦痕反演古应力

Fig. 14 Paleostress Inversions of Fault Striation

征、应力场特征等信息,小米落向斜经历了早期形成和之后两期改造,共 3 个演化阶段。本文通过对会泽地区地层接触关系进行研究,对比扬子板块西南缘地

层接触关系,确定了小米落向斜形成和改造时代。

小米落向斜卷入最晚地层为晚侏罗世地层。会泽地区地层接触关系显示,晚古生代—晚侏罗世地

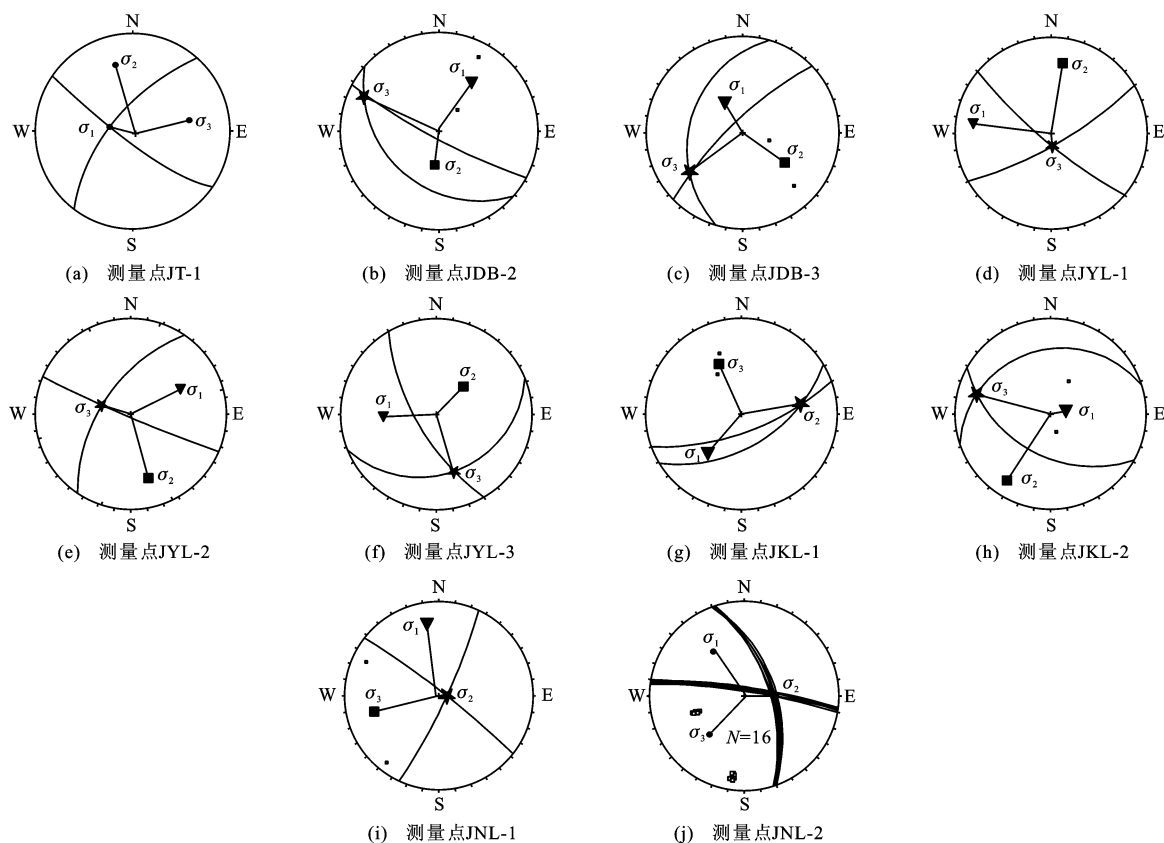


图 15 共轭剪节理反演古应力

Fig. 15 Paleostress Inversions of Conjugate Shear Joint

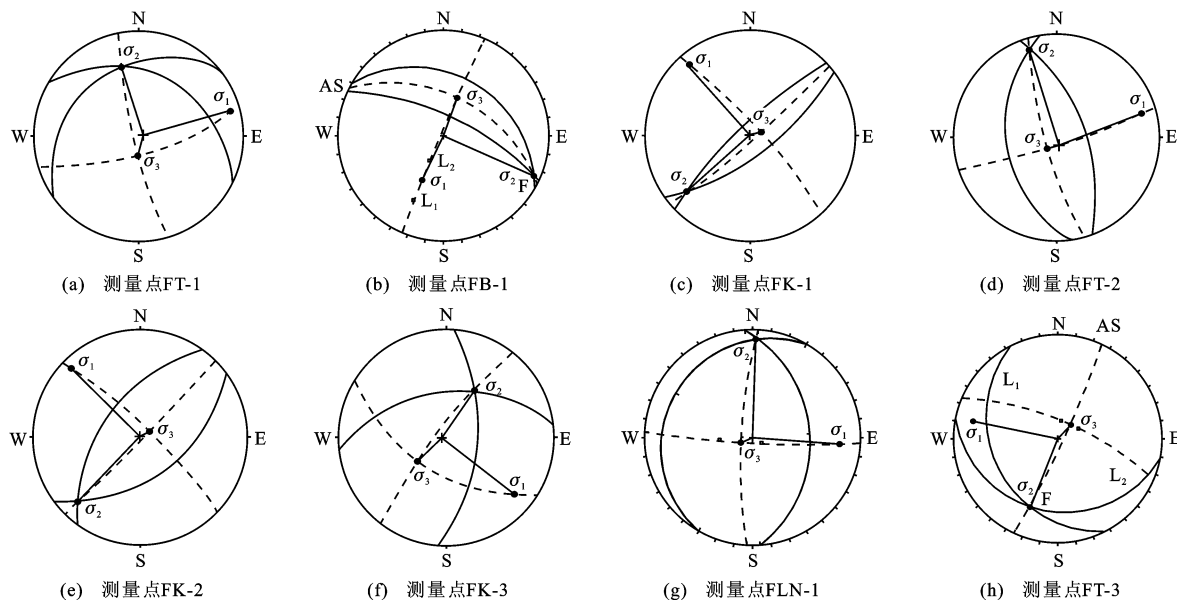


图 16 褶皱反演古应力

Fig. 16 Paleostress Inversions of Fold

层均为整合接触和平行不整合接触,缺失白垩纪和第三纪地层,表明晚古生代—晚侏罗世会泽地区相对稳定,构造运动以垂直运动为主,没有区域上的挤压造山作用,即小米落向斜形成于晚侏罗世之后。

扬子板块西南缘区域地层柱状图[图 18(a)]显

示,区域上印支运动和燕山运动对滇东北地区影响均不明显,三叠系与侏罗系地层及白垩系地层与古近系地层整体呈整合接触。在始新世中晚期和渐新世晚期,会泽地区地层界面存在角度不整合接触[图 18(b)],表明滇东北会泽地区在始新世中晚期



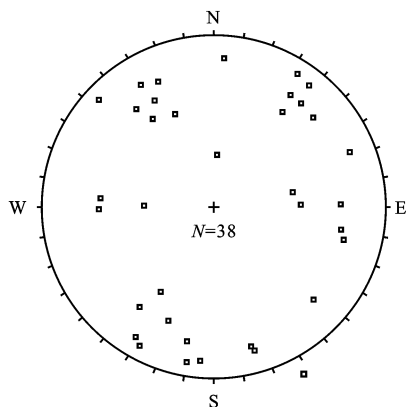
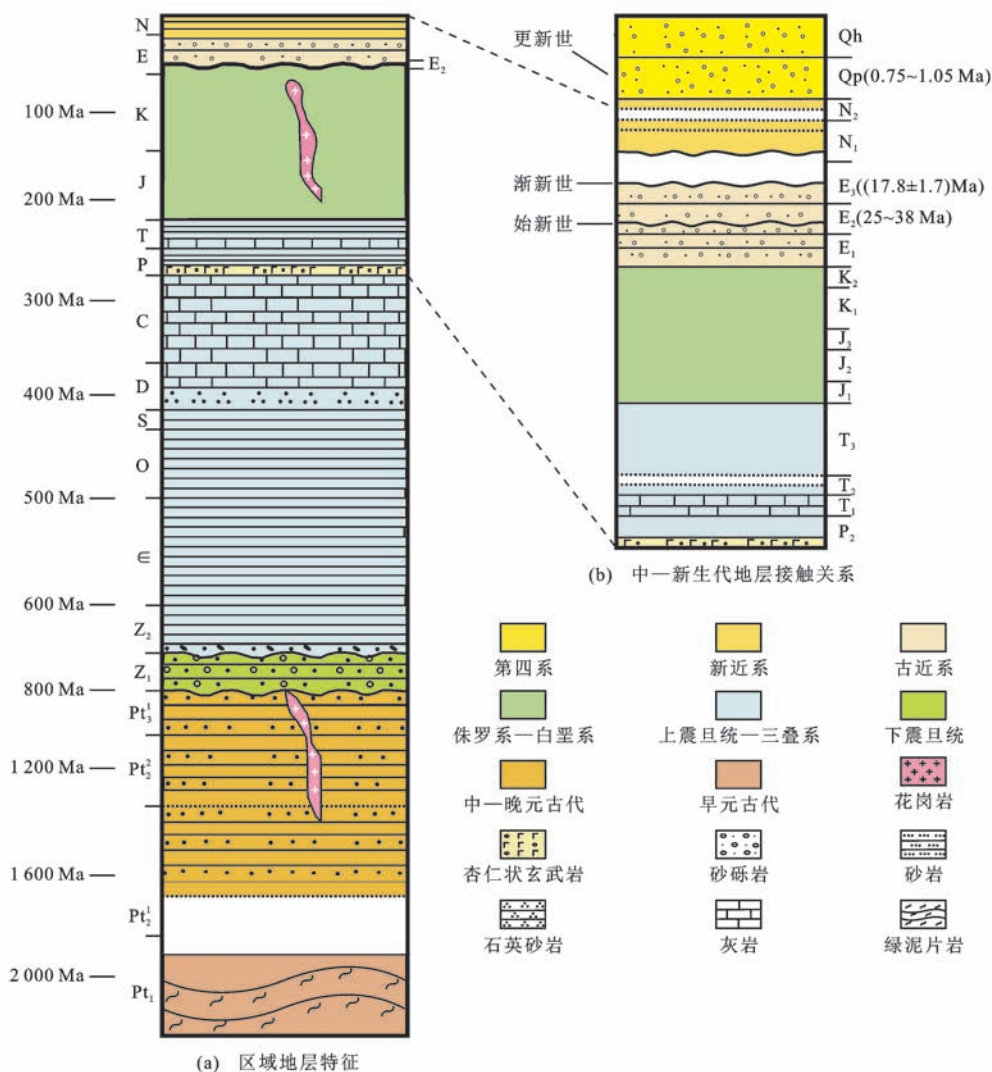


图 17 最大主应力投影图

Fig. 17 Projection of Maximum Principal Stress

和渐新世晚期受区域构造运动影响明显,为该地区构造变形和改造的主要时期。

在会泽断裂及雨碌断裂控制的第四系盆地中,10 件松散砂砾层样品石英电子自旋共振(ESR)年龄为  $(17.8 \pm 1.7) \text{ Ma}$ ,显示中新世两断裂活动引起局部沉降作用;新生代盆地中 5 件松散粗砂砾层样品石英电子自旋共振年龄为  $0.75 \sim 1.05 \text{ Ma}$ ,指示了喜马拉雅构造运动晚期会泽地区又一次盆地沉降周边山体快速隆升。综合年代学数据,将滇东北会泽地区构造事件的时间和小米落向斜确定为始新世晚期( $25 \sim 38 \text{ Ma}$ )、渐新世晚期( $(17.8 \pm 1.7) \text{ Ma}$ )和更新世( $0.75 \sim 1.05 \text{ Ma}$ )。



图件引自文献[36]

图 18 会泽地区及周围地层特征

Fig. 18 Stratigraphic Characteristics of Huize Area and Its Peripheral

#### 4.2 叠加褶皱演化过程

结合区域动力背景认为,会泽地区主要经历了 3 期构造演化,对应会泽地区 3 期构造变形。

第一期变形发生在始新世晚期( $25 \sim 38 \text{ Ma}$ ),受喜山运动影响形成近 SN 向宽缓褶皱。其动力来源于印度板块向北运动,川滇菱形块体被右旋式挤

出<sup>[37-38]</sup>。受小江断裂压性兼具左行走滑和师宗—弥勒断裂右行走滑运动的影响,滇东北地区表现为近 NWW 向<sup>[39]</sup>。会泽地区局部应力调整为近 EW 向挤压作用(图 11),形成了轴向 SN 向背向斜系统。这一阶段,小米落向斜基本形成,并与乐业向斜相互连接,物质建造相同。整个滇东北会泽地区在压缩为主导的构造背景下发生强烈褶皱造山运动,使得下伏地层发生变形形成侏罗山式褶皱,奠定了会泽地区的基本构造格架[图 19(a)]。

第二期变形发生在渐新世晚期( $(17.8 \pm 1.7)$

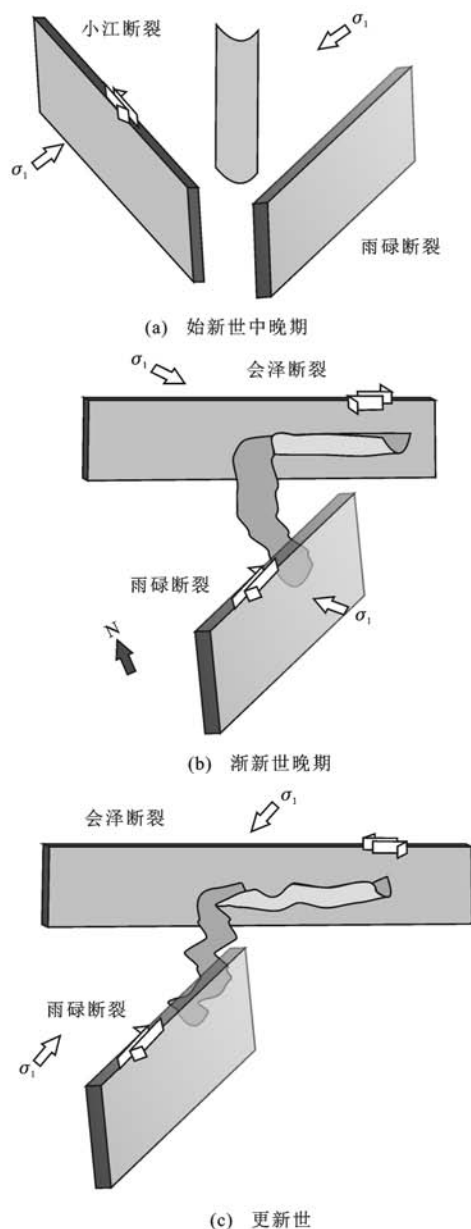


图 19 始新世中晚期、渐新世晚期和更新世叠加褶皱构造演化

Fig. 19 Tectonic Evolution of Superimposed Fold in Middle-Late Eocene, Late Oligocene and Pleistocene

Ma),会泽地区主要表现为差异性的升降运动及轻度褶皱、较强烈的断裂活动。其动力来源于印度板块与欧亚板块汇聚挤压,川滇菱形块体向 SE 旋转运动<sup>[37-38]</sup>。侯宇光等认为在区域应力作用下,师宗—弥勒断裂带和宣威断裂带发生挤压兼右行走滑活动,导致滇东北曲靖盆地最大主应力方向为近 NW 向,同时使得盆地内部 NE 向断裂发生右行走滑活动<sup>[39]</sup>。此时,会泽地区同样表现为近 NW 向挤压作用(图 11)。

虽然在会泽地区这一幕运动强度相对较低,但其在已形成的构造格架基础上对会泽地区早期形成的构造进行了改造,这一期活动使很多已稳定的断裂再次激活产生运动,并且发挥断层的协调作用。NE 向会泽断裂以及雨碌断裂的右行平移逆断作用明显,受到这两条断裂平移作用产生高应力局部集中,先期形成的小米落褶皱发生递进变形,导致小米落褶皱轴面连续变形及褶皱轴线发生弯曲、偏转迁移[图 19(b)]。

第三期变形发生在更新世(0.75~1.05 Ma),会泽地区主要表现为差异性的升降运动、较强烈的断裂活动和轻微的褶皱作用。其动力来源于印度板块与欧亚板块汇聚挤压,川滇菱形块体向南运动。滇东北地区表现为 NNW 向挤压作用<sup>[40]</sup>。此时,会泽断裂表现出强烈的左行平移,而雨碌断裂以逆冲为主,在会泽地区形成了以 NE 向为主的局部应力(图 11),小米落褶皱轴迹进一步偏转迁移,形成了平面上呈“弓”字形的褶皱[图 19(c)];同时,形成的近 NW 向断裂切割了会泽断裂、雨碌断裂和小米落向斜。至此,会泽地区如今的构造格局、现代地貌最终定型。

## 5 结 语

(1) 滇东北会泽地区在始新世晚期(25~38 Ma)、渐新世晚期( $(17.8 \pm 1.7)$  Ma)和更新世(0.75~1.05 Ma)经历了 3 期重要的构造变形作用。

(2) 小米落叠加褶皱是由会泽断裂、雨碌断裂和小江断裂在新生代多期构造活动相互协调形成的。

(3) 滇东北地区受新生代构造运动影响明显,受喜山运动作用可在沉积岩分布区形成复杂叠加褶皱。

## 参考文献:

## References:

- [1] 韩润生,王 峰,胡煜昭,等. 会泽型(HZT)富锗银铅锌矿床成矿构造动力学研究及年代学约束[J]. 大地



- 构造与成矿学,2014,38(4):758-771.
- HAN Run-sheng, WANG Feng, HU Yu-zhao, et al. Metallogenic Tectonic Dynamics and Chronology Constrains on the Huize-type(HZT) Germanium-rich Silver-zinc-lead Deposits[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2014, 38(4): 758-771.
- [2] 韩润生, 胡煜昭, 王学琨, 等. 滇东北富锗银铅锌多金属矿集区矿床模型[J]. *地质学报*, 2012, 86(2): 280-294.
- HAN Run-sheng, HU Yu-zhao, WANG Xue-kun, et al. Mineralization Model of Rich Ge-Ag-bearing Zn-Pb Polymetallic Deposit Concentrated District in Northeastern Yunnan, China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2012, 86(2): 280-294.
- [3] 韩润生, 刘从强, 黄智龙, 等. 论云南会泽富铅锌矿床成矿模式[J]. *矿物学报*, 2001, 21(4): 674-680.
- HAN Run-sheng, LIU Cong-qiang, HUANG Zhi-long, et al. Genesis Modeling of Huize Lead-zinc Ore Deposit in Yunnan [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2001, 21(4): 674-680.
- [4] HAN R S, CHEN J, WANG F, et al. Analysis of Metal-element Association Halos Within Fault Zones for the Exploration of Concealed Ore-bodies: A Case Study of the Qilinchang Zn-Pb-(Ag-Ge) Deposit in the Huize Mine District, Northeastern Yunnan, China [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2015, 159(11): 62-78.
- [5] XUAN S B, SHEN C Y, SHEN W B, et al. Crustal Structure of the Southeastern Tibetan Plateau from Gravity Data: New Evidence for Clockwise Movement of the Chuan-Dian Rhombic Block [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2018, 159: 98-108.
- [6] LI Y J, LIU S F, CHEN L W, et al. Mechanism of Crustal Deformation in the Sichuan-Yunnan Region, Southeastern Tibetan Plateau: Insights from Numerical Modeling [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2017, 146: 142-151.
- [7] XIONG J G, LI Y L, ZHONG Y Z, et al. Paleomagnetism of the Jianshui Basin in Yunnan, SW China, and Geomorphological Evolution of the Yunnan Plateau Since the Neogene [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2016, 123: 67-77.
- [8] 白光顺. 云南会泽矿山厂—待补构造带断裂构造解析及构造应力场分析[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2011.
- BAI Guang-shun. Faults and Tectonic Stress Field Analysis of Kuangshanchang-Daibu Structural Belt in Huize Yunnan Province [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2011.
- [9] 张燕飞. 云南省会泽县金红地区构造解析[M]. 昆明: 昆明理工大学, 2012.
- ZHANG Yan-fei. Structural Analysis of Jinzhong Area in Huize County, Yunnan Province [M]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2012.
- [10] 张琳. 川西南—滇东北地区多重褶皱构造遥感解译[D]. 西安: 西北大学, 2011.
- ZHANG Lin. The Multiple Tectonic of Folds in Southeast Sichuan-Northeast Yunnan: Interpretation of Remote Sensing [D]. Xi'an: Northwest University, 2011.
- [11] 韩阳光. 驾车穹窿构造特征、地层层序及其 Pb、Zn、Ag、As、Sb 丰度异常与赋存状态研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2016.
- HAN Yang-guang. Structural Characteristics, Stratigraphic Sequence, and Abundance Anomalies and Occurrence of Pb, Zn, Ag, As, Sb of Jiache Dome [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2016.
- [12] 韩阳光, 颜丹平, 穆丹, 等. 滇东北驾车穹窿结构及其 Pb、Zn、Ag、As、Sb 元素异常特征[J]. *地学前缘*, 2018, 25(1): 65-79.
- HAN Yang-guang, YAN Dan-ping, MU Dan, et al. Structural and Background Anomaly Characteristics of Pb, Zn, Ag, As, Sb of the Jiache Dome, Northeast Yunnan Province [J]. *Earth Science Frontiers*, 2018, 25(1): 65-79.
- [13] 田作基. 沉积岩区叠加褶皱及其成因机制[J]. *西北地质*, 1994, 15(1): 5-10.
- TIAN Zuo-ji. The Superimposed Folds in Sedimentary Rock Area and Its Genetic Mechanism [J]. *Northwestern Geology*, 1994, 15(1): 5-10.
- [14] RAMSAY J G. Interference Patterns Produced by the Superposition of Folds of Similar Type [J]. *The Journal of Geology*, 1962, 70(4): 466-481.
- [15] O'DRISCOLL E S. Fold Interference Patterns in Model Experiments [J]. *Nature*, 1962, 193: 115-117.
- [16] GHOSH S K. Strain Distribution in Superposed Buckling Folds and the Problem of Reorientation of Early Lineations [J]. *Tectonophysics*, 1974, 21(3): 249-272.
- [17] 杜思清. 纵湾褶皱叠加的褶移现象和移褶叠加褶皱[J]. *地质论评*, 1986, 32(4): 47-54.
- DU Si-qing. The Fold Shift Phenomenon and Shift Folds Produced by Superposition of Flexural Folds [J]. *Geological Review*, 1986, 32(4): 47-54.
- [18] 黄继钧. 叠加褶皱的类型及变形图像[J]. *成都地质学院学报*, 1988, 18(4): 43-50.
- HUANG Ji-jun. Types and Deformation Patterns of Superimposed Folds [J]. *Journal of Chengdu College of Geology*, 1988, 18(4): 43-50.

- [19] 杜思清,魏显贵,刘援朝. 广义纵弯褶皱叠加机制、类型及其应用[J]. 矿物岩石, 1998, 18(增1): 56-60.  
DU Si-qing, WEI Xian-gui, LIU Yuan-chao. The Generalized Mechanisms and Types of Superposed Buckle Fold and Its Application[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1998, 18(S1): 56-60.
- [20] SIMON J L. Superposed Buckle Folding in the Eastern Iberian Chain, Spain[J]. Journal of Structural Geology, 2004, 26(8): 1447-1464.
- [21] 黄继钧. 纵弯叠加褶皱地区应力场研究: 以川东北地区为例[J]. 地质科学, 2000, 35(2): 140-150.  
HUANG Ji-jun. Research on the Stress Fields in Superposed Fold Area: An Example from Northeastern Sichuan[J]. Scientia Geologica Sinica, 2000, 35(2): 140-150.
- [22] 黄继钧. 纵弯叠加褶皱地区岩石有限应变特征: 以川东北地区典型叠加褶皱为例[J]. 地质论评, 2000, 46(2): 178-185.  
HUANG Ji-jun. The Features of Finite Strain of Rocks in the Superimposition Fold Area Under Buckling in Northeast Sichuan Province[J]. Geological Review, 2000, 46(2): 178-185.
- [23] 董树文,胡健民,施 炜,等. 大巴山侏罗纪叠加褶皱与侏罗纪前陆[J]. 地球学报, 2006, 27(5): 403-410.  
DONG Shu-wen, HU Jian-min, SHI Wei, et al. Jurassic Superposed Folding and Jurassic Foreland in the Daba Mountain, Central China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2006, 27(5): 403-410.
- [24] 施 炜,董树文,胡健民,等. 大巴山前陆西段叠加构造变形分析及其构造应力场特征[J]. 地质学报, 2007, 81(10): 1314-1327.  
SHI Wei, DONG Shu-wen, HU Jian-min, et al. An Analysis of Superposed Deformation and Tectonic Stress Fields of the Western Segment of Daba Mountains Foreland[J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(10): 1314-1327.
- [25] 郭秀峰. 燕山期南大巴山前陆褶皱带西缘叠加构造特征[D]. 西安: 西北大学, 2009.  
GUO Xiu-feng. Yanshanian Superposed Structure Characteristics of West Margin of Foreland Fold Belt of South Dabashan [D]. Xi'an: Northwest University, 2009.
- [26] 武红岭,施 炜,董树文,等. 大巴山前陆叠加构造力学特征的模拟研究[J]. 地学前缘, 2009, 16(3): 190-196.  
WU Hong-ling, SHI Wei, DONG Shu-wen, et al. A Numerical Simulation Study of Mechanical Characteristic of Superposed Deformation in Daba Mountain Foreland[J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16(3): 190-196.
- [27] 张忠义,董树文. 大巴山西北缘叠加褶皱研究[J]. 地质学报, 2009, 83(7): 923-936.  
ZHANG Zhong-yi, DONG Shu-wen. Superposed Buckle Folding in the Northwestern Daba Mountain, Central China[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(7): 923-936.
- [28] 张忠义,董树文,张岳桥,等. 大巴山前陆北西向褶皱的厘定及其意义[J]. 地质论评, 2009, 55(1): 10-24.  
ZHANG Zhong-yi, DONG Shu-wen, ZHANG Yue-qiao, et al. NW Folding Distinguished in the Northwestern Daba Mountains, Central China, and Its Tectonic Significances[J]. Geological Review, 2009, 55(1): 10-24.
- [29] 武国利,陈 虹,田 密,等. 大巴山弧形构造带中段渔渡地区侏罗纪叠加变形研究[J]. 地球科学与环境学报, 2010, 32(2): 130-136.  
WU Guo-li, CHEN Hong, TIAN Mi, et al. Study on Jurassic Superposed Deformation in Yudu Area Located in the Middle of Dabashan Tectonic Belt[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2010, 32(2): 130-136.
- [30] SHI W, LI J H, TIAN M, et al. Tectonic Evolution of the Dabashan Orocline, Central China: Insights from the Superposed Folds in the Eastern Dabashan Foreland[J]. Geoscience Frontiers, 2013, 4(6): 729-741.
- [31] SHI W, DONG S W, ZHANG Y Q, et al. The Typical Large-scale Superposed Folds in the Central South China: Implications for Mesozoic Intracontinental Deformation of the South China Block[J]. Tectonophysics, 2015, 664: 50-66.
- [32] LI Y, DONG S W, ZHANG Y Q, et al. Episodic Mesozoic Constructional Events of Central South China: Constraints from Lines of Evidence of Superimposed Folds, Fault Kinematic Analysis, and Magma Geochronology[J]. International Geology Review, 2016, 58(9): 1076-1107.
- [33] 杨坤光,李学刚,戴传固,等. 断层调整与控制作用下的叠加构造变形: 以贵州地区燕山期构造为例[J]. 地质科技情报, 2012, 31(5): 50-56.  
YANG Kun-guang, LI Xue-gang, DAI Chuan-gu, et al. Superimposition Deformation Controlled and Adjusted by Faults: An Example from Yanshanian Structural Deformation in Guizhou Province[J]. Geological Science and Technology Information, 2012, 31(5): 50-56.
- [34] 王 建. 雪峰山构造系统褶皱复合-联合叠加样式及动力机制[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.  
WANG Jian. Characteristic of Compounding-combine



- Fold Superpositin and Dynamics of the Xuefengshan Tectonic[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010.
- [35] 张长青. 中国川滇黔交界地区密西西比型(MVT)铅锌矿床成矿模型[D]. 北京:中国地质科学院, 2008.  
ZHANG Chang-qing. Metallogenic Model of the Mississippi(MVT) Lead and Zinc Deposition in the Crust of Sichuan-Yunnan-Guizhou, China[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2008.
- [36] 云南省地质矿产局. 云南省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1990.  
Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources. Yunnan Regional Geology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990.
- [37] 刘和甫,汪泽成,熊保贤,等. 中国中西部中、新生代前陆盆地与挤压造山带耦合分析[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 55-72.  
LIU He-fu, WANG Ze-cheng, XIONG Bao-xian, et al. Coupling Analysis of Mesozoic-Cenozoic Foreland Basin and Mountain System in Central and Western China[J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(3): 55-72.
- [38] 向宏发,韩竹军,虢顺民,等. 红河断裂带大型右旋走滑运动定量研究的若干问题[J]. 地球科学进展, 2004, 19(增1): 64-67.  
XIANG Hong-fa, HAN Zhu-jun, GUO Shun-min, et al. Processing About Quantitative Study of Large-scale Strike-slip Movement on Red River Fault Zone[J]. Advance in Earth Sciences, 2004, 19(S1): 64-67.
- [39] 侯宇光,何生,唐大卿. 滇东北新生代盆地构造反转与生物气藏的形成[J]. 中南大学学报:自然科学版, 2012, 43(6): 2238-2246.  
HOU Yu-guang, HE Sheng, TANG Da-qing. Tectonic Reverse of Cenozoic Basins and Its Relationship with the Biogas Accumulation in Northeast of Yunnan Province[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2012, 43(6): 2238-2246.
- [40] 骆佳骥,崔效锋,胡幸平,等. 川滇地区活动块体划分与现代构造应力场分区研究综述[J]. 地震研究, 2012, 35(3): 309-317.  
LUO Jia-ji, CUI Xiao-feng, HU Xing-ping, et al. Research Review of the Division of Active Blocks and Zoning of Recent Tectonic Stress Field in Sichuan-Yunnan Region[J]. Journal of Seismological Research, 2012, 35(3): 309-317.

## 《地球科学与环境学报》2019 年度约稿函

尊敬的各位专家学者:

《地球科学与环境学报》(以下简称《学报》)自 1979 年创刊以来,得到了各位专家学者的大力支持,使期刊得到了快速发展。《学报》系地学综合性权威学术期刊,刊登的主要内容有基础地质与矿产地质、水资源与环境、工程地质、应用地球物理和地球信息科学等。为了不断提升《学报》的学术质量和影响力,特向各位专家学者约稿,诚盼各位专家学者能鼎力支持《学报》的发展。

《学报》目前的优势包括:

1. 《中文核心期刊要目总览》收录期刊(中文核心期刊);
2. 中国科技论文与引文数据库(CSTPCD)收录期刊(中国科技核心期刊);
3. 特约稿不收取版面费,并且刊出后向作者支付一定稿酬;
4. 发表周期短,从来稿到发表平均三四个月即可完成,优秀稿件甚至一两个月即可发表,最慢也很少有超过半年的;
5. 对学术质量高、有重大基金项目支持的论文优先发表;
6. 刊登综述类论文;
7. 可同期刊登同一主题的系列成果。

联系地址:西安市南二环路中段长安大学杂志社《地球科学与环境学报》编辑部

邮政编码:710064

电话:029-82334686

E-mail:dkyhxb@chd.edu.cn;jesechd@163.com

投稿网址: <http://jese.chd.edu.cn/>

《地球科学与环境学报》编辑部