

黔西南烂泥沟金矿田构造变形及演化分析

郑爽^{1,3)}, 胡煜昭^{1,2)}, 管申进^{1,2)}, 刘晓震¹⁾

1) 昆明理工大学国土资源工程学院, 昆明, 650093;

2) 云南省矿产资源预测评价工程实验室, 昆明, 650093; 3) 山东正维勘察测绘有限公司, 济南, 250000

内容提要: 烂泥沟金矿是滇黔桂“金三角”内的大型金矿床, 具有重要的经济价值。其矿体产出严格受断层控制, 构造控矿特征明显。本文通过对烂泥沟金矿及其邻区主要断层之次级构造现象进行详细的野外观察和力学性质鉴定, 继而进行几何学、运动学分析, 认为研究区构造变形特征分为伸展和挤压两类。其中, 晚古生代—中三叠世安尼期早期为伸展阶段, 而在安尼期中期及以后为挤压阶段, 构造反转时间应为 248 Ma 或 246 Ma 稍后。根据作者地震解释剖面, 烂泥沟—尾怀断层和隐伏的巧洛断层向下已经延伸到南盘江盆地变质基底, 可能为成矿流体提供运移通道, 且烂泥沟—尾怀断层南部有较好的地球化学异常和矿化显示, 说明烂泥沟金矿深部及外围具有较好的找矿前景。

关键词: 构造变形; 构造演化; 烂泥沟金矿; 黔西南

黔西南烂泥沟金矿位于滇黔桂“金三角”, 是我国南盘江盆地三叠统复理石建造中一个重要的卡林型金矿床。其大地构造位置处于扬子地块西南缘, 南盘江盆地北侧(广西壮族自治区地质矿产局, 1985; 贵州省地质矿产局, 1987; 王砚耕等, 1994)。烂泥沟金矿分布于 NNE 向赖子山背斜、NW 向板昌断层及 EW 向册亨构造带所围限的三角区内(罗孝桓, 1993)。现已探明 Au 储量约 109 t, 平均品位 3.83×10^{-6} , 达到超大型规模, 具有重要的经济价值和研究意义(Su Wenchao et al., 2018)。

愈来愈多学者研究发现, 不论是美国内华达地区卡林型金矿床还是我国的卡林型金矿, 构造因素(古隆起、不整合面、冲断—褶皱构造等)与成矿有着密不可分的关系(Yigit et al., 2003; 陈衍景等, 2004; Peters, 2004; 徐耀鉴和吴铁平, 2008; Cline et al., 2013; 毛铁等, 2014; Hu Yuzhao et al., 2017; 叶春和杜定全, 2018)。陈懋弘等(2007b, 2012)对烂泥沟金矿进行构造解析及成矿作用分析, 认为 NW 向构造控制了矿区的构造格架, 成矿构造环境为由挤压向拉张转变的过渡阶段; 罗孝桓(1993, 1997)通过对烂泥沟金矿区控矿断裂特征及构造成矿机理进行探讨, 表明矿体产状与断裂带一致, 且金的品位

与构造应变强度呈正相关; 徐大富(2000)认为金矿受逆冲断层控制; 张贞翔等(2014)、罗建均(2018)、王继斌等(2018)对金矿控矿构造特征进行研究并确定了下一步找矿选区; 胡煜昭等(2011, 2012)、Hu Yuzhao 等(2017)通过区域重力资料解释认为: 包括烂泥沟在内的黔西南卡林型金矿床均分布于南盘江盆地基底古隆起上; 陈懋弘等(2012)、刘寅等(2015)认为南盘江盆地构造演化对金矿形成起控制作用。

尽管烂泥沟金矿及其邻区构造方面的研究取得了不少进展, 然而也存在一些问题需要解决, 如控矿构造在烂泥沟金矿外围和深部延伸如何, 盆地尺度构造变形特征如何, 等等。本文对研究区内断层进行了野外构造现象观察和力学性质鉴定, 确定了主要构造变形特征, 并进一步探讨构造演化特征及其对成矿的影响。

1 区域地质背景

烂泥沟金矿位于贵州省黔西南布依族苗族自治州中部, 地处册亨—望谟—贞丰三县交界, 地理坐标范围: $105^{\circ}50'00'' \sim 105^{\circ}58'00''E$, $25^{\circ}02'43'' \sim 25^{\circ}09'23''N$ 。西及西北以 NNE 向赖子山背斜为界, 东至

注: 本文为国家自然科学基金资助项目(批准号: 41672073)的成果。

收稿日期: 2019-11-20; 改回日期: 2020-07-06; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2020.05.024

作者简介: 郑爽, 女, 1994 年生, 硕士研究生, 地质工程专业; Email: 2919119889@qq.com。通讯作者: 胡煜昭, 男, 1964 年生, 教授级高级工程师, 博士生导师, 主要从事沉积盆地矿产教学、研究与勘查; Email: yuzhaohu@kust.edu.cn。

NW 向板昌断层,南为 EW 向小那井断层,包括烂泥沟金矿及其南部地区,面积约为 120 km²(图 1)。区域构造以冲断—褶皱构造为主,主体构造线走向为 NE 向及 NW 向,个别为近 EW 向。

研究区出露地层由老到新依次为:上石炭统马平组(C_2m)、中二叠统栖霞组(P_2q)、中二叠统茅口组(P_2m)、上二叠统吴家坪组(P_3w)、下三叠统罗楼组(T_1lx)、中三叠统许满组二段(T_2xm^2)、中三叠统许满组三段(T_2xm^3)、中三叠统许满组四段

(T_2xm^4)、中三叠统尼罗组(T_2nl)和中三叠统边阳组下段(T_2by^1),边阳组上段及上三叠统被全部剥蚀(图 1b)。研究区范围内岩浆活动较弱,仅在许满组二段有一层厚度约 17 m 的辉绿岩。

2 构造变形特征分析

烂泥沟金矿区构造作用强烈,褶皱—冲断构造发育,构造变形复杂。其中包括多条主要断层,如 F_1 及洛帆断层、巧洛隐伏断层、烂泥沟—尾怀断层、

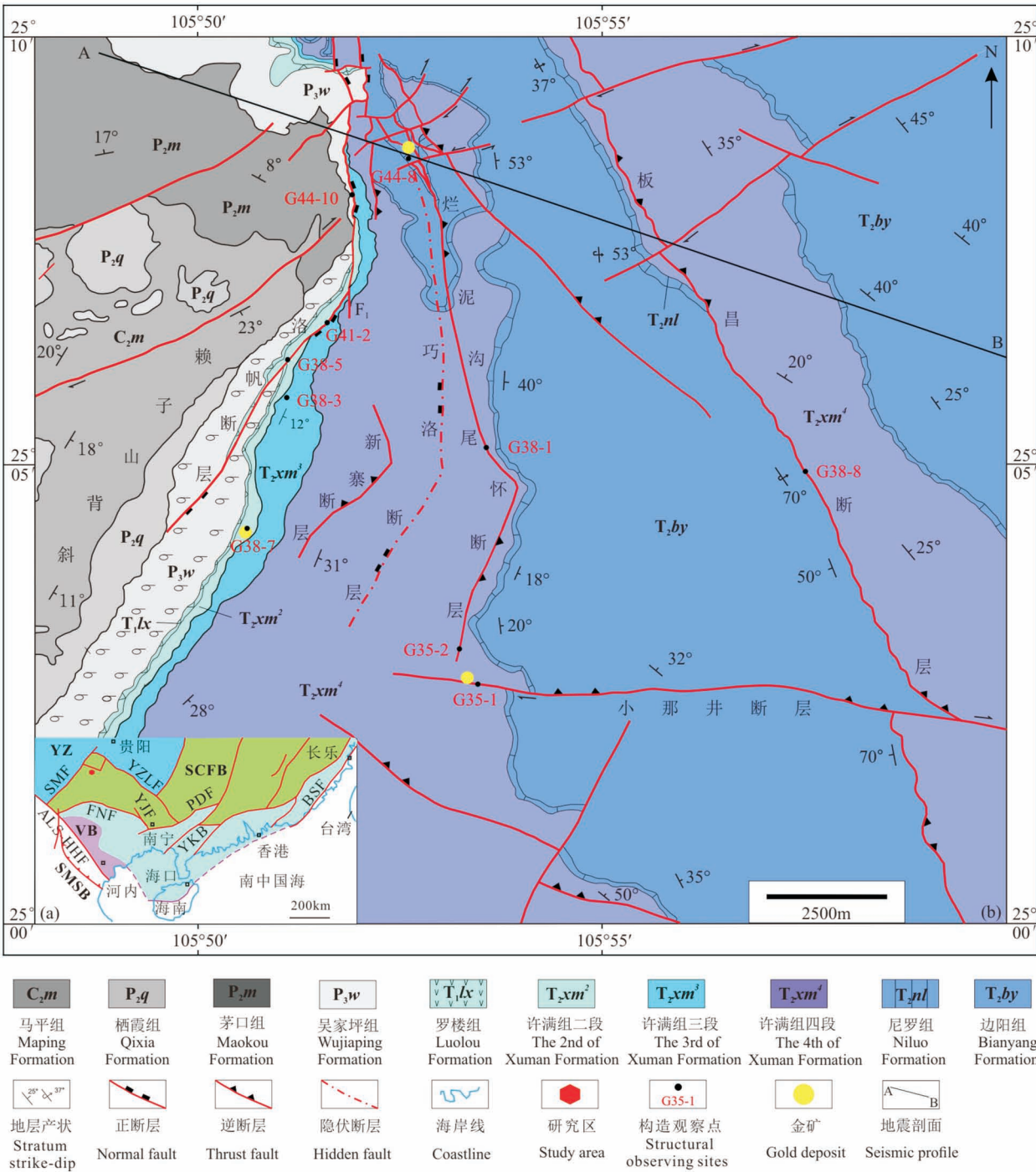


图 1 黔西南烂泥沟金矿及其邻区地质构造图及对应构造观察点

Fig. 1 Geological—structural map of the Lannigou gold deposit and adjacent area, south western Guizhou and the corresponding structural observing sites

图(a)据 Hu Yuzhao et al. , 2017 和 Qiu Liang et al. , 2017 修改;图(b)据贵州省地质矿产局 1:50000 洛帆幅(1988)和 Hu Yuzhao et al. , 2017 地震资料解译编制而成,其中巧洛隐伏断层、新寨断层和烂泥沟—尾怀断层大部分为地震资料解译发现

图(a):VB—越北地块;YZ—扬子地块;SCFB—华南褶皱带;YJF—右江断裂;PDF—凭祥—东门断裂;YZDF—埡都—紫云—罗甸断裂;ALS—HHF—哀牢山—红河断裂;SMSB—Song Ma 缝合带;BSF—白沙断裂;FNF—富宁—那坡断裂;SMF—师宗—弥勒断裂;YKB—云开地块

Fig. (a) modified from Hu Yuzhao et al. , 2017 and Qiu Liang et al. , 2017;Fig. (b) compiled from the 1:50000 Regional Geological Map of Luofan area (by Guizhou Bureau of Geology and Mineral Resources,1988) and the seismic data of Hu Yuzhao et al. , 2017, of them, the Qiaoluo hidden fault, Xinzhai fault and most part of Lannigou—Weihuai fault are found by interpretation of seismic data

In Fig. (a) : VB—Vietbac Block; YZ—Yangtze Block; SCFB—South China fold belt; YJF—Youjiang fault; PDF—Pingxiang—Dongmen fault; YZDF—Yadu—Ziyun—Luodian fault; ALS—HHF—Ailaoshan—Honghe fault; SMSB—Song Ma suture band; BSF—Baisha fault; FNF—Funing—Napo fault; SMF—Shizong—Mile fault; YKB—Yunkai Block

新寨断层、板昌断层和小那井断层等。本次对区内出露的 4 条重要断层进行构造观察、力学性质鉴定以及几何学和运动学解析,以确定研究区的构造变形特征。

2.1 F₁ 断层及洛帆断层

F₁ 断层和洛帆断层位于矿区西部,赖子山背斜东翼,两条断层在研究区总长度约为 15 km,从烂泥沟金矿西侧延至尾若金矿点北侧(图 1b)。北部的

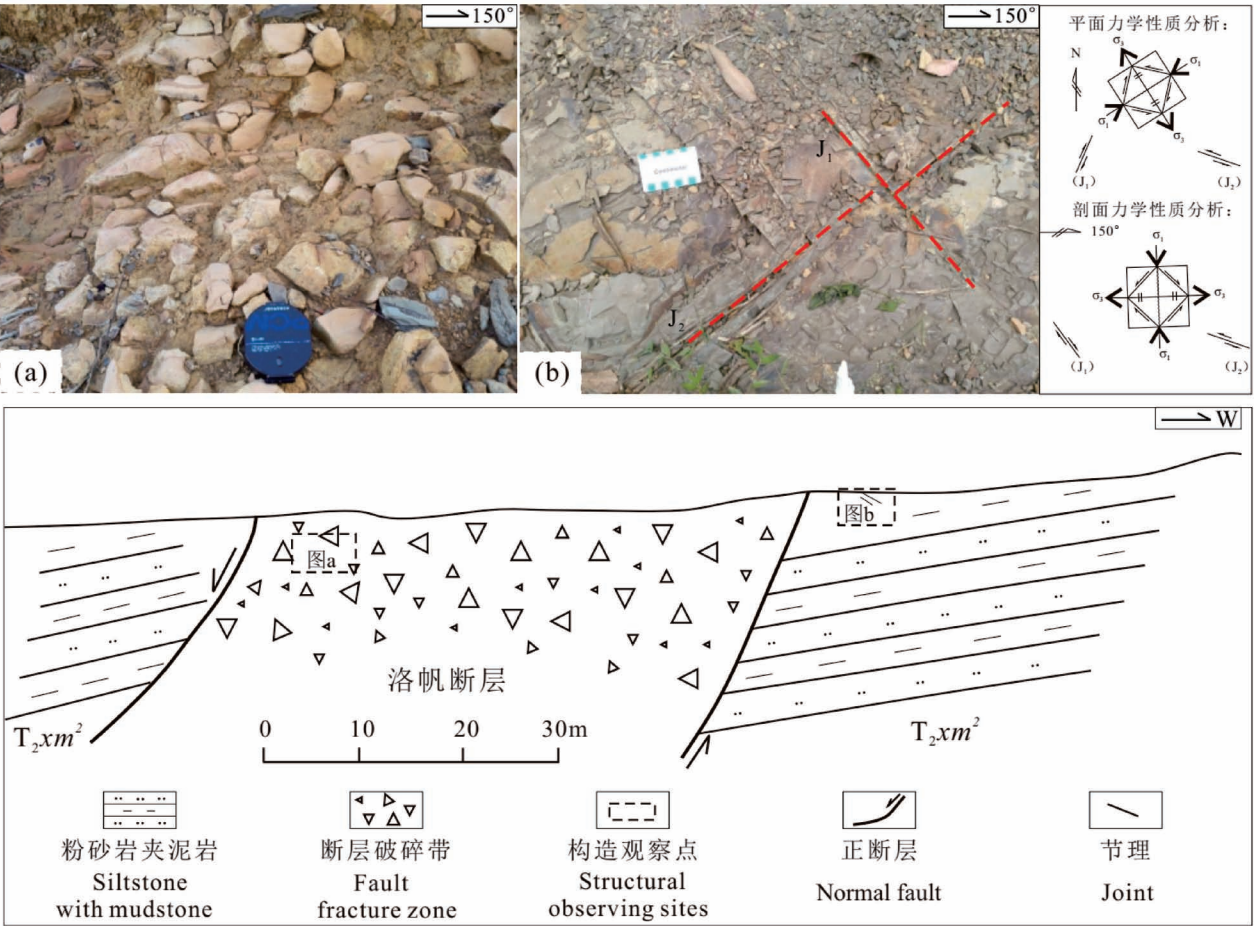


图 2 烂泥沟金矿田洛帆断层中的构造角砾岩和断层旁侧的节理(G38-5 观察点)

Fig. 2 Structural breccia and joints in and nearby the Luofan Fault in the Lannigou orefield (photoed in site G38-5)

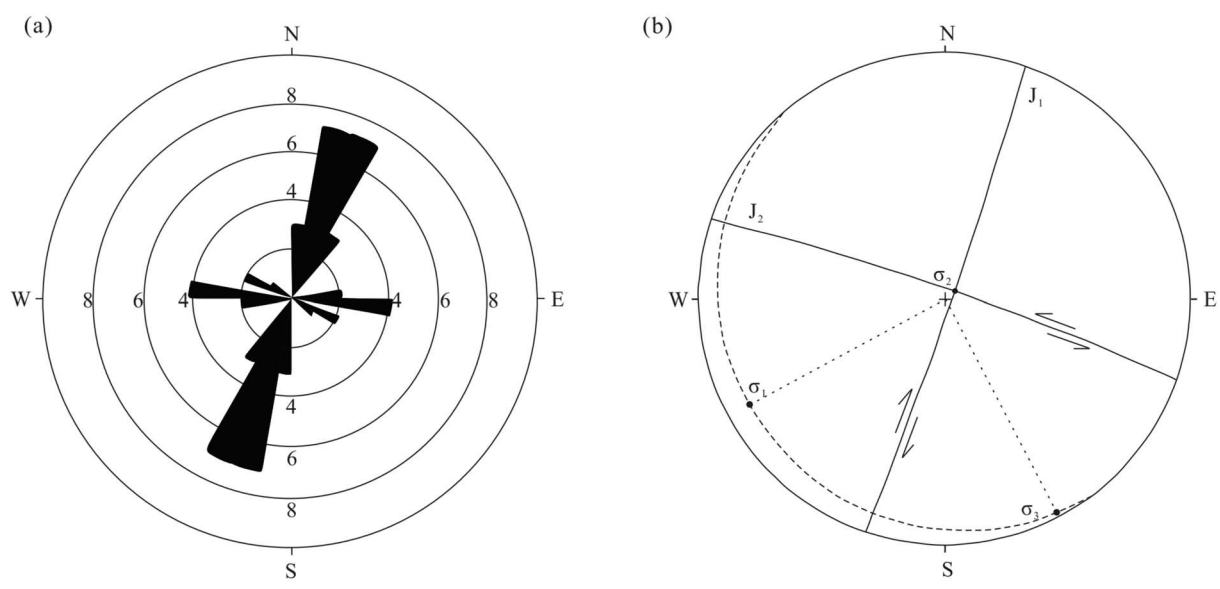


图 3 烂泥沟金矿田 G38-5 观察点节理玫瑰花图(a)及共轭节理吴氏网下半球投影图(b)
Fig. 3 Rose diagram (a) and lower hemisphere Wulff projection (b) of joints at G38-5 in the Lannigou orefield

F_1 断层走向近 SN,倾向 E,倾角 $80^{\circ}\sim 85^{\circ}$;南部的洛帆断层走向 $N40^{\circ}E$,倾向 SE,倾角 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。它们既是 D— P_3 与 T 地层在地表大体的分界线,也是 D—P 碳酸盐台地和斜坡相—盆地相的分界线。

2.1.1 伸展构造变形特征

观察点 G38-5 位于挂榜村西侧,在许满组二段地层中可见洛帆断层表现为正断层现象。在断层带中可见构造角砾岩,断层下盘发育共轭节理(图 2)。构造角砾大小一般为 $5\sim 10\text{ cm}$,分选性较差,棱角明显,其间被砂泥质充填,充填较为疏松。共轭节理走向主要为 NNE 向,其次为 NW 向和近 EW 向(图 3a),其中 NNE 向节理密集发育,约为 $7\sim 8$ 条/m。节理宽约 $0.5\sim 1.5\text{ cm}$,节理缝中充填铁质。 J_1 ($109^{\circ}\angle 85^{\circ}$)、 J_2 ($19^{\circ}\angle 87^{\circ}$) 为一组共轭剪节理,且后者被前者错断。通过吴氏网下半球投影(图 3b)得出其形成的主应力 σ_1 产状为 $243^{\circ}\angle 10^{\circ}$,揭示洛帆断层曾经受了 NW—SE 向伸展作用。

在洛帆村—烂泥沟金矿公路旁观察点 G44-10,可见正断层性质的 F_1 分布于二叠系和三叠系之间,走向近 SN、倾向 E。断层破碎带宽约 25 m ,以破碎的砂岩和泥岩为主,砂岩角砾呈棱角状,大小一般为 $5\sim 30\text{ cm}$ (图 4)。

2.1.2 挤压构造变形特征

F_1 及洛帆断层除表现出上述的正断层性质外,



图 4 烂泥沟金矿田 F_1 正断层野外露头证据
Fig. 4 Normal fault field outcrops recording of the F_1 in the Lannigou orefield

在多处还表现有逆断层的性质,显示出较为复杂的构造变形特征。

观察点 G41-2 位于洛帆断层上盘,地理位置为洛帆村以东,洛帆河南岸。该处地层为许满组三段灰岩夹泥岩,可见多种类型的褶皱(图 5)。其中,尖棱褶皱南东翼较缓,从南东到北西倾角变化 $5^{\circ}\longrightarrow 38^{\circ}\longrightarrow 70^{\circ}$;北西翼较陡,产状为: $236^{\circ}\angle 63^{\circ}$,枢纽走向 NE,倾角较陡。洛帆断层表现为走向 $N30^{\circ}E$,倾向 SE 的逆断层。经赤平投影解析,反映出大致近 NW—SE 向挤压作用。断层上盘岩石劈理发育,

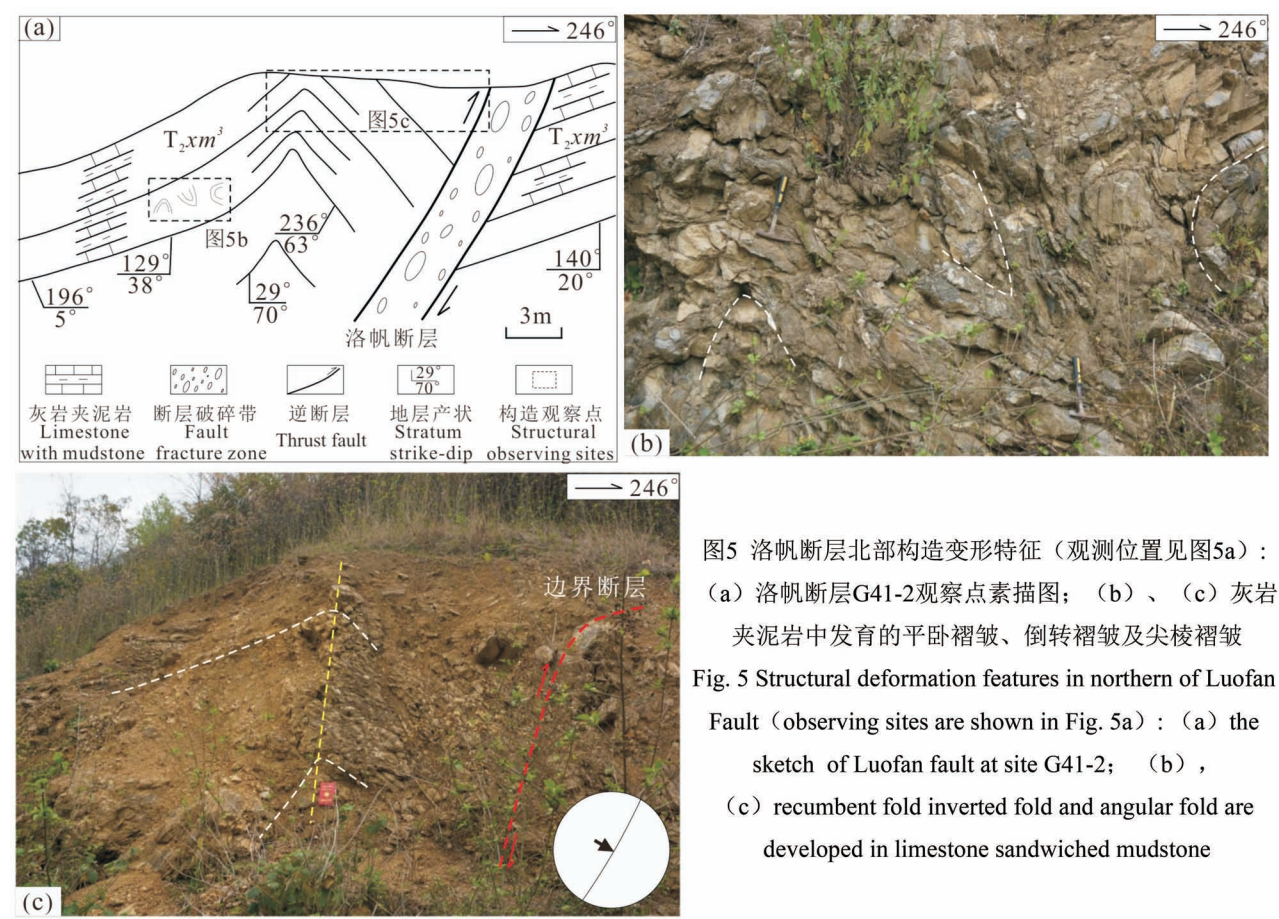


图5 洛帆断层北部构造变形特征(观测位置见图5a):
(a) 洛帆断层G41-2观察点素描图;(b)、(c) 灰岩
夹泥岩中发育的平卧褶皱、倒转褶皱及尖棱褶皱
Fig. 5 Structural deformation features in northern of Luofan
Fault (observing sites are shown in Fig. 5a): (a) the
sketch of Luofan fault at site G41-2; (b),
(c) recumbent fold inverted fold and angular fold are
developed in limestone sandwiched mudstone

而断层下盘地层产状稳定,为向南东倾斜的泥岩夹粉砂岩。

在洛帆断层以东,可见一些洛帆断层的次级断层,它们也反映了该断层的应力状态。观察点 G38-

3 位于挂榜村北部,岩性为许满组三段灰色薄层状灰岩、钙质泥岩与钙质粉砂岩互层。该处整体发生了强烈的挤压变形,主要表现为逆冲断层和多种不同类型的褶皱,如:斜歪褶皱、尖棱褶皱、倒转背斜和

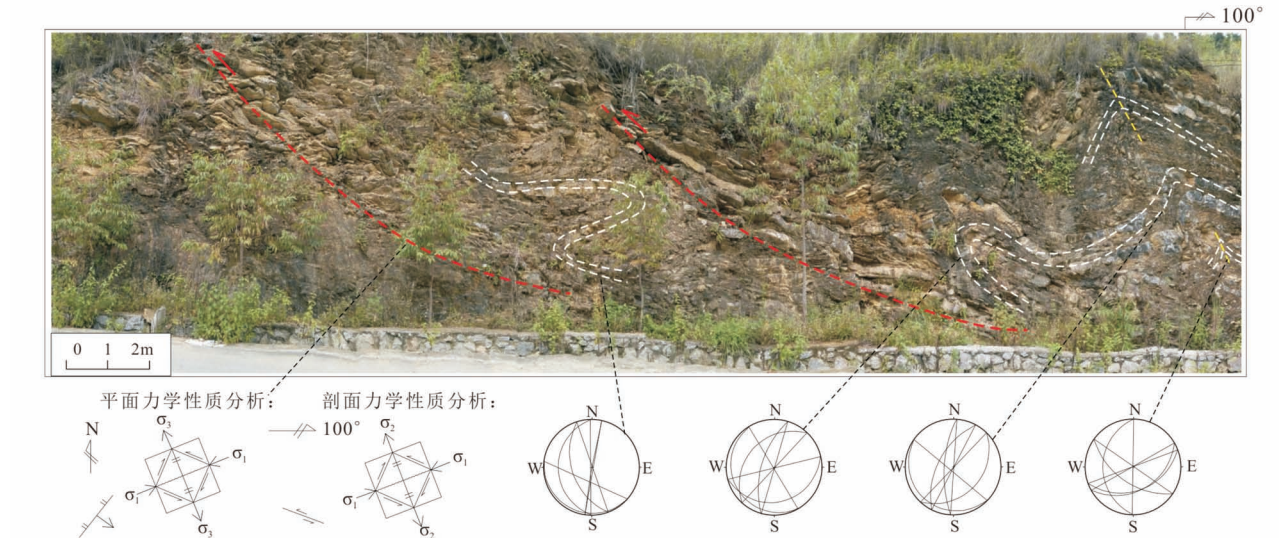


图 6 烂泥沟金矿田 G38-3 点典型构造变形观测及解析
Fig. 6 Typical structural deformation observing and analyzing photoed at site G38-3 in the Lannigou orefield

平卧褶皱等(图 6)。逆冲断层倾向 SE,倾角较缓,两小型逆冲断层之间可见平卧褶皱,其形成与低角度逆冲作用有关。东侧小断层上盘的倒转背斜—斜歪向斜—斜歪背斜在地表组成“M”型,褶皱在靠近逆冲断层方向产状较陡甚至倒转,远离逆冲断层方向产状则比较缓。经赤平投影构造解析所表现出来的构造特征表明该点主要与 NW—SE 向挤压环境相关。

观察点 G38-7 位于一个走向 NE、倾向 SE 的次级小断层下盘,紧邻烂泥沟金矿区外围的小型金矿床——尾若金矿,所处地层为许满组二段灰绿色中层状粉砂岩、泥质粉砂岩夹深灰色泥岩。节理走向主要为 NW 向,其次为 NE 向和近 EW 向(图 8a),其中 NW 向节理密集发育,约为 58~60 条/m。节理产状稳定,节理面倾角以高角度为主。从形态上分析,节理以剪性破裂为主,少见张性破裂面。 J_1 ($93^\circ \angle 89^\circ$) 为张(扭)性节理,节理缝宽约 1~2.5 cm,其内充填石膏; J_2 ($218^\circ \angle 75^\circ$)、 J_3 ($161^\circ \angle 70^\circ$) 为一组共轭节理(图 7),通过吴氏网下半球投影(图 8b)得出 σ_1 产状为 $98^\circ \angle 12^\circ$,说明挤压方向大致为 NWW—SEE 向。尾若金矿由一走向为 NE—SW,倾向 SE 的小型逆断层控制(丁俊等,2014),与 G38-7 观察点节理均反映了 NW—SE 向的挤压应力,可能都受控于洛帆断层的挤压。

2.2 烂泥沟—尾怀断层

烂泥沟—尾怀断层(LWF)为一级断层,最初在矿床勘探时仅发现于烂泥沟矿床,称为 F_3 断层,是烂泥沟金矿最为重要的赋矿断层。 F_3 总体走向为 $N55^\circ W$,倾向 NE,倾角 $55^\circ \sim 80^\circ$ (陈懋弘等,2012),其总长度约为 1.2 km,可分为磺厂沟矿段和冗半矿段两部分。该断层以脆性破裂为主,断层破碎带宽度为 5~10 m,主要的断层岩包括碎裂岩、构造角砾岩和断层泥,具有典型的逆冲性质。之前对于 F_3 是否向东南方向延伸情况不清,本次地震剖面解释并结合野外验证发现,该断层还可向 SE 和 SSW 方向延伸 9 km,而 F_3 只是烂泥沟—尾怀断层北端的一部分。地震资料发现,随着向 SE 延伸,断层走向由 NW 变化为 NNE(Hu Yuzhao et al., 待发表资料),断层变形带宽度可达 250 m,且在断层上下盘发育斜歪褶皱、尖棱褶皱、平卧褶皱和翻卷褶皱等以及小型逆断层,片理化带也较为发育。

观察点 G44-8 位于磺厂沟向斜核部,烂泥沟金矿采坑南壁。该处可见 F_3 两盘发育尼罗组浅灰色薄层状瘤状灰岩,标志层中可见瘤状灰岩被逆冲、错断现象(图 9a)。断层带较为破碎,岩石破裂化较为严重,泥岩中局部可见片理化。综合判断该断层具有逆断层性质。该点以东可见褶曲(图 9b),其枢纽倾角较大,应为两次构造作用形成的叠加褶皱,经赤

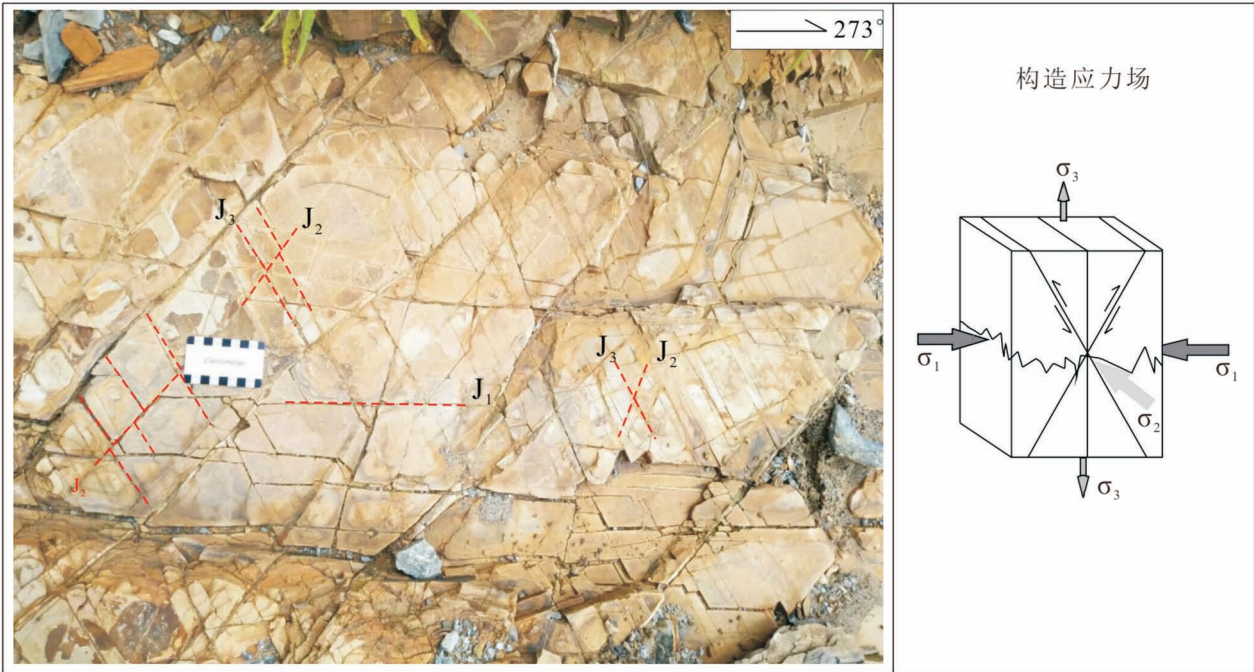


图 7 烂泥沟金矿田尾若金矿东北侧 G38-7 观察点共轭节理(图中标尺长度 9 cm)
Fig. 7 Joints at G38-7 in the northeast of Weiruo gold deposit, the Lannigou orefield(the ruler in the figure is 9 cm)

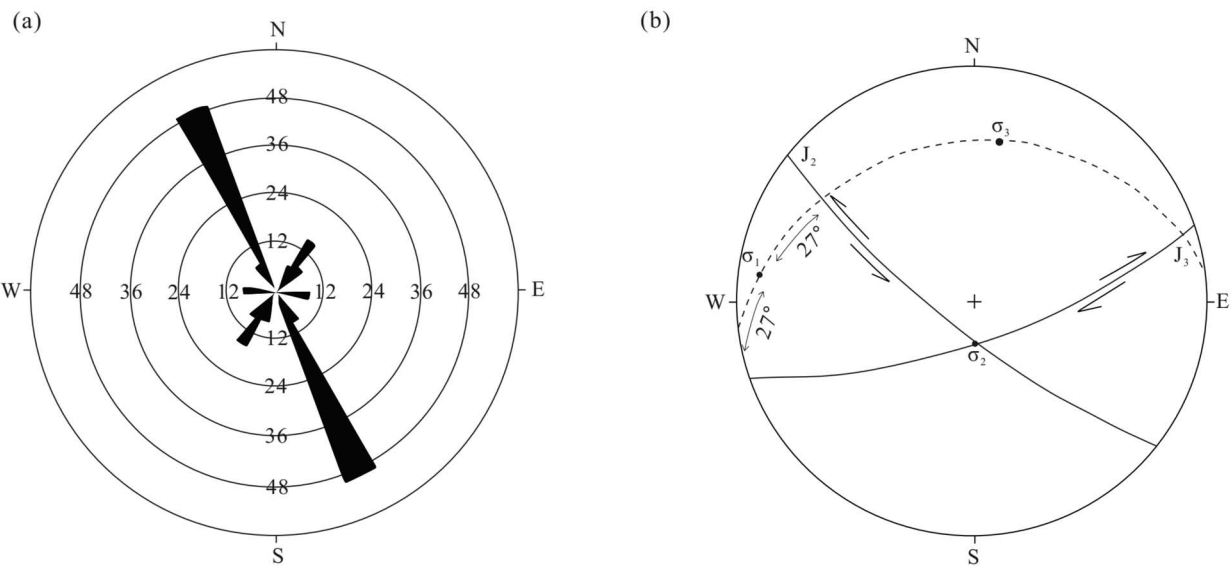


图 8 烂泥沟金矿田 G38-7 点节理玫瑰花图(a)及共轭节理吴氏网下半球投影图(b)

Fig. 8 Rose diagram (a) and lower hemisphere Wulff projection (b) of joints at G38-7 in the Lannigou orefield

平投影反映出 NE—SW 挤压方向。

观察点 G38-1 位于下洛王村西的山间公路旁,烂泥沟—尾怀断层上盘。在许满组四段灰绿色薄层状泥岩夹灰绿色中层状粉砂岩中发育倒转褶皱、平卧褶皱和小型逆断层,且变形宽度大,约为 200~300 m(图 10)。该处可见烂泥沟—尾怀断层近 EW 向展布,其上盘密集发育倒转背斜(图 10a),对该断层进行剖面力学性质分析,该点受 NE—SW 向挤压应

力。该点旁侧发育的平卧褶皱(图 10b)、倒转向斜(图 10c、d)及层间褶皱等(图 10e),赤平投影图也反映出受到 NE—SW 向挤压作用。

烂泥沟—尾怀断层南部观察点 G35-2 位于尾怀村西北约 1 km,该处岩性为许满组四段碎裂化泥质粉砂岩,另可见风化的细粒黄铁矿。断层带宽度可达 300 多米,岩石碎裂化发育,可见少量片理化。断层带中可见发育有尖棱背斜(图 11a)及翻卷褶皱

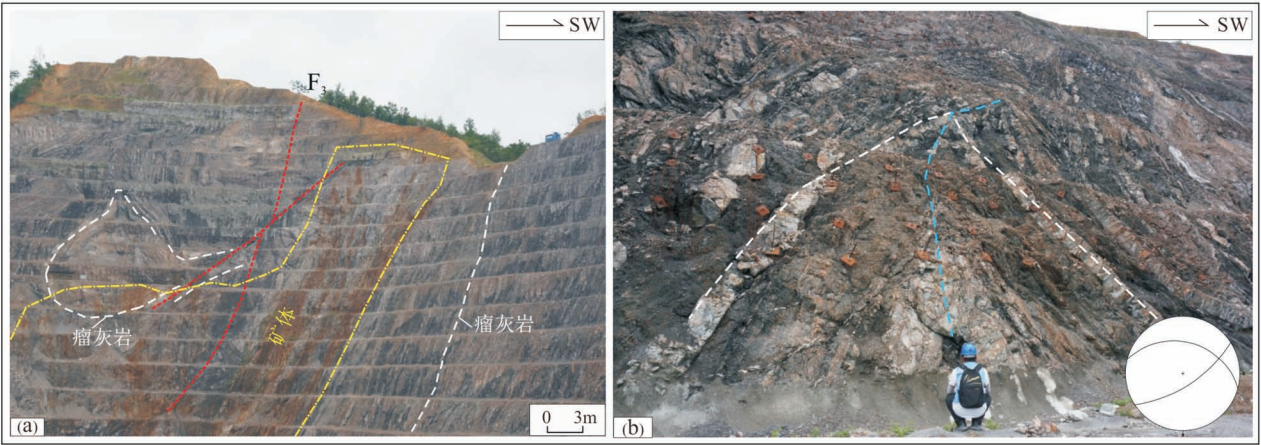


图 9 烂泥沟金矿采坑南壁 G44-8 点构造变形特征: (a)烂泥沟—尾怀断层北端下盘出露矿体,上盘可见翻卷褶皱; (b)断层上盘的尖棱褶曲指示挤压方向为 NE—SW 向

Fig. 9 Structural deformation features at G44-8 in south mining pit of Lannigou gold deposit: (a) ore bodies were exposed at the heading side of the northern of LWF, and develops a rollover fold on its hanging side; (b) the angular fold developed in the hanging side indicates that the compression direction is NE—SW

(图 11b)。翻卷褶皱是在前期侧向挤压形成的倒转褶皱或平卧褶皱基础上,后期由于上下岩层之间的变形作用差异在能干性较差的泥岩中产生滑脱而形成

成,反映出该区域受到强烈的挤压应力的影响。赤平投影解析反映出大致为近 SN 挤压。

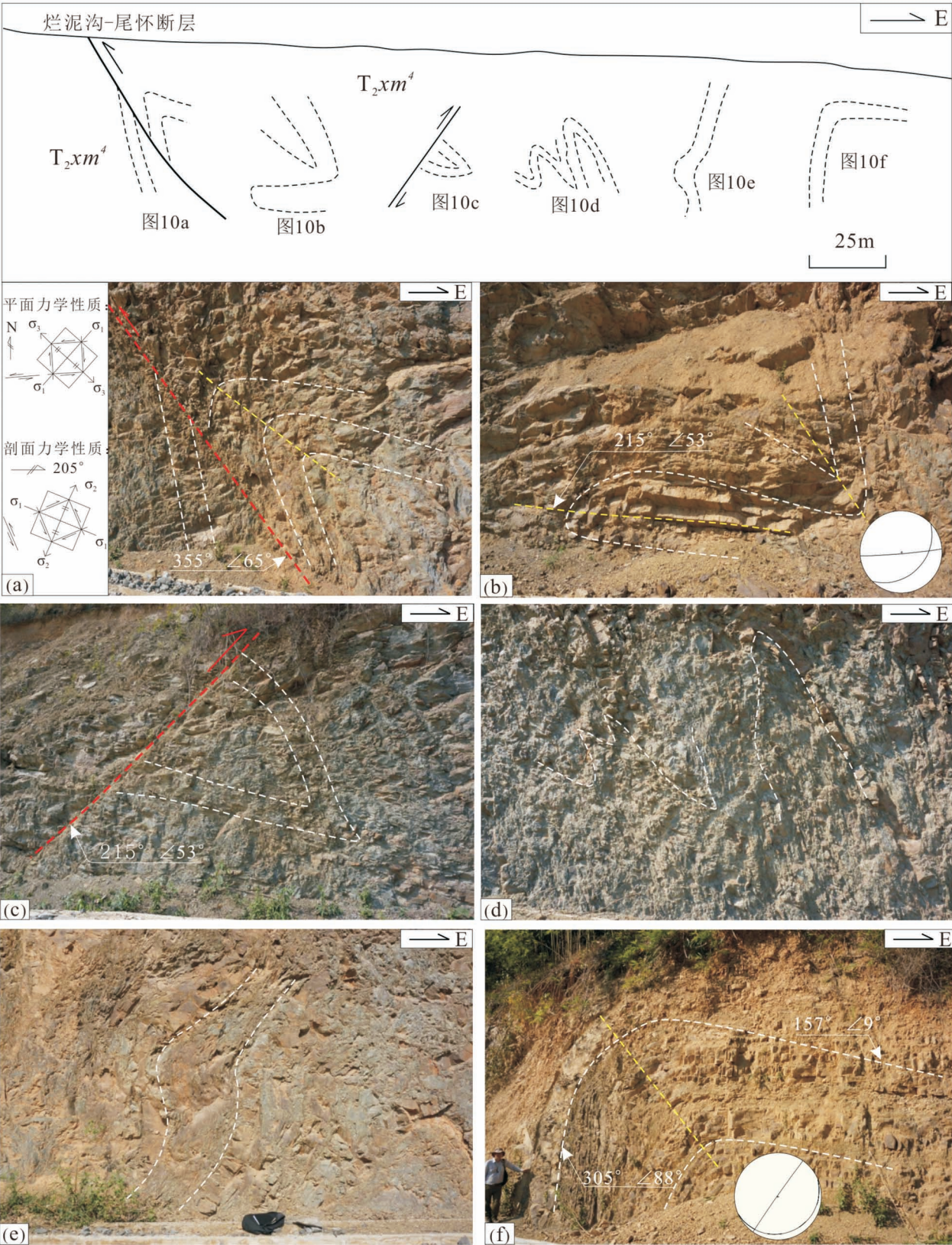


图 10 烂泥沟金矿田烂泥沟—尾怀断层上盘次级构造观测及解析(褶皱规模有所放大):(a)烂泥沟—尾怀断层上盘倒转背斜,指示 NE—SW 向挤压;(b)—(f)烂泥沟—尾怀断层上盘发育的平卧褶皱、倒转向斜、斜歪褶皱及层间褶皱,指示形成于挤压构造背景

Fig. 10 Secondary structures observing and analyzing of hanging side of the fault LWF(The folds size is enlarged) in the Lannigou orefield; (a) the overturned anticline developed in the hanging side of LWF indicates that the compression direction is NE—SW; (b)—(f) recumbent folds、overturned syncline, inclined folds and intraformational folds developed in the hanging side of LWF indicates that they were formed in the compressional tectonic setting

2.3 板昌断层

板昌断层(BCF)在贵州省延伸长度大于 120 km,是北盘江以东最长的断层。断层总体呈 NW 向展布,断面倾向 NE,倾角 50°~60°,具有逆冲断层性质。断层破碎带宽 1~5 m,构造透镜体和片理化较为发育,常具有硅化、碳酸盐化。断层上盘变形较强,可见一系列轴面倾向 NE、规模不一的不对称背斜和倾向 NE 的叠瓦状次级逆冲断层分布(张贞翔等,2014)。观察点 G38-8 位于北盘江以东 1.1 km 的册亨—望谟公路旁。该处岩性为许满组三段灰绿色中—薄层状粉砂岩夹泥岩。断层上盘发育斜歪背斜,其北东翼倾角较缓,而南西翼相对较陡甚至直立,且因挤压强烈可见片理化带(图 12)。

2.4 小那井断层

小那井断层(XNF)为一斜冲断层,其总体走向为近 EW 向,倾向 N,倾角 50°~60°。在观察点 G35-1 可见小那井断层上盘发育明显的牵引褶皱(图 13)。断层西段尾怀附近三叠系碎屑岩硅化强烈,

并有金、砷矿产出。在观察点以北的者楼河附近许满组四段泥岩夹砂岩中发育多种形态的褶皱,褐铁矿化较强,在直立地层破碎带中可见挤压片理化带,表明受到强烈挤压作用。

3 讨论

3.1 构造变形序列的厘定

烂泥沟金矿区的构造变形与其所处的南盘江盆地的演化有着密切的关系(刘建明等,2001;Chen Maohong et al., 2011;陈懋弘等,2012;Hu Yuzhao et al., 2017),结合前人对南盘江盆地沉积学及构造学研究、碎屑锆石年代学研究和岩石地球化学的研究成果,南盘江盆地在晚古生代—早三叠世为裂谷盆地或者被动大陆边缘阶段,而在中三叠世为前陆盆地阶段(秦建华等,1996;陈翠华等,2002;杨超等,2008;杨宗永等,2012;杜远生等,2013)。但是,对于盆地性质转变及区域构造反转时间尚缺乏精确数据。

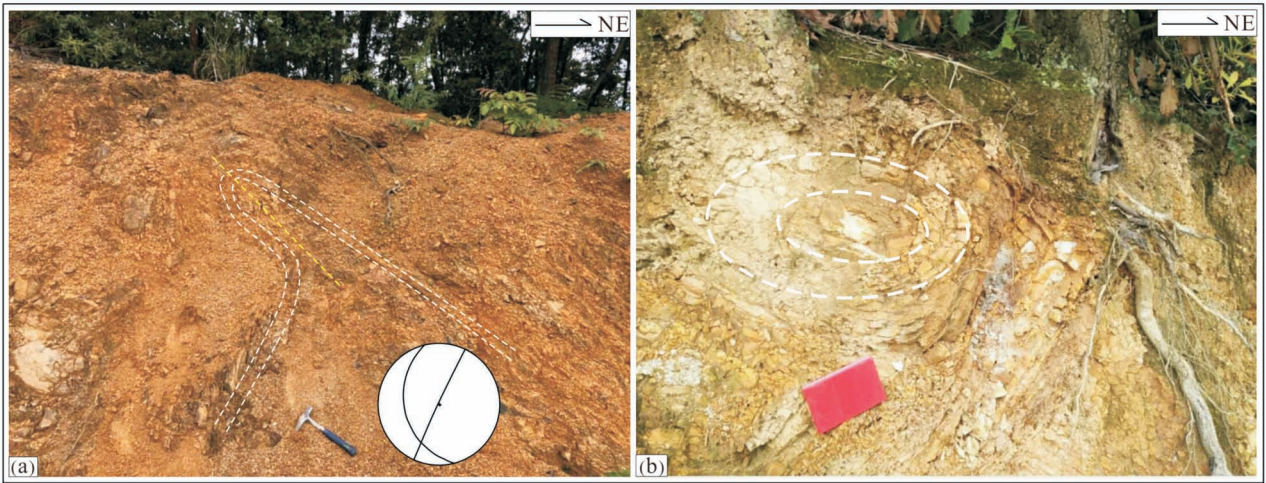


图 11 烂泥沟金矿田烂泥沟—尾怀断层南部 G35-2 点构造变形观测及解析:(a)尖棱背斜,赤平投影指示近 SN 向挤压;(b)翻卷褶皱,为侧向挤压和重力滑动综合作用的产物

Fig. 11 Structural deformation observing and analyzing at G35-2 in the southern of the fault LWF in the Lannigou orefield; (a) the angular anticline indicates a near SN compression direction;(b) rollover fold is the product of lateral extrusion and gravity sliding

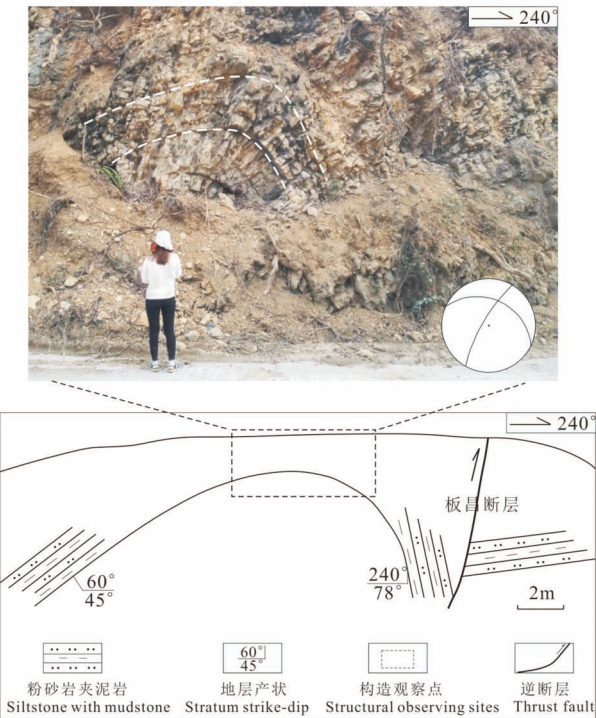


图 12 烂泥沟金矿田板昌断层上盘 G38-8 观察点构造变形观测及解析

Fig. 12 Structural deformation observing and analyzing at G38-8 of hanging side of the fault BCF in the Lannigou orefield

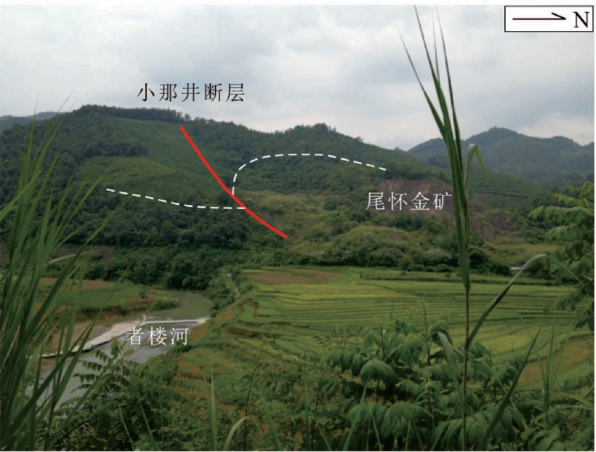


图 13 烂泥沟金矿田小那井断层 G35-1 观察点构造变形特征

Fig. 13 Structural deformation features at G35-1 of the fault XNF in the Lannigou orefield

研究区南部册亨县弄应村公路旁的许满组四段地层中可见一同生褶皱构造(图 14),该褶皱系砂岩

沉积后不久,在塑性状态下受到挤压应力而形成。褶皱形成后,受到海水底水的暂短冲刷,后又接受了正常的泥岩和砂岩沉积。褶皱与正常泥岩之间界面呈微波状,界面附近未见断层造成的岩石变形和碎裂现象。前人在许满组四段也发现了微型同沉积挤压构造,如挤压皱纹、挤压皱脊、挤压岩枕、挤压裂隙(吕洪波等,2003)。尽管陈懋弘等(2012)认为这些沉积构造为同生伸展的垮塌成因,但在许满组二段及其以下的罗楼组地层中目前并未发现有同沉积挤压构造。

在 F_1 及洛帆断层露头上,可见多处正断层的证据,这些正断层均存在于许满组三段之下的地层。而在许满组三段及其以上地层中 F_1 及洛帆断层则发育逆断层,未见至正断层的证据。地震解释也发现,巧洛断层向下切穿了上古生界地层达到了盆地基底,但是其正断活动向上终止于许满组二段上部,未穿过地震反射较强的许满组三段,且许满组三段及其以上地层中发育大量逆断层(图 15)。

上述事实暗示,在中三叠统许满组第三段沉积期,构造环境已经从伸展转换为挤压。

前人在许满组二段利用火山岩锆石 U-Pb 和³⁹Ar-⁴⁰Ar 测定了火山岩的年龄为 248 Ma 和 246 Ma(Ovtcharova et al., 2006; Faure et al., 2014)。由此推测,构造反转时间应比 248 Ma 或 246 Ma 稍后。

烂泥沟金矿区现今出露最新地层为中三叠统,未见上三叠统沉积。但根据沉积相推测该区可能沉积了上三叠统地层,为残留海相的碎屑浊流沉积和磨拉石建造。而在侏罗纪及以后,研究区则未接受沉积(马力等,2004;胡煜昭等,2011)。

陈懋弘等(2009a)在烂泥沟金矿区的烂泥沟—尾怀断层构造岩中用绢云母³⁹Ar-⁴⁰Ar 测出 $194.6 \pm$

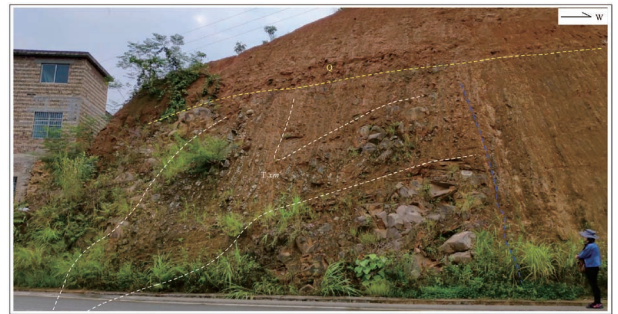


图 14 烂泥沟金矿田弄应村公路旁同沉积挤压构造

Fig. 14 Syn-sedimentary compression structure in roadside near Nongying Village, in the Lannigou orefield

2 Ma(早侏罗世)的构造变形年龄,说明挤压构造可延伸至晚三叠世,甚至早侏罗世。

因此,研究区晚古生代—中三叠世安尼期早期为伸展阶段,中三叠世安尼期中期—晚三叠世瑞替期构造环境转化为挤压。在挤压构造背景下,早期形成的正断层性质发生了不同程度的反转,导致在地表,某些地段可以看到某个断层的正断层性质,有

些地段又可以看到其逆断层性质,如 F_1 断层及洛帆断层。

3.2 构造对成矿的作用

研究者通过对黔西南卡林型金矿中 C—O 同位素和 H—O 同位素测试表明,以烂泥沟金矿为例的断控型矿床的成矿流体与变质水密切相关,并认为变质水来源于印支—燕山早期的造山作用 (Bao

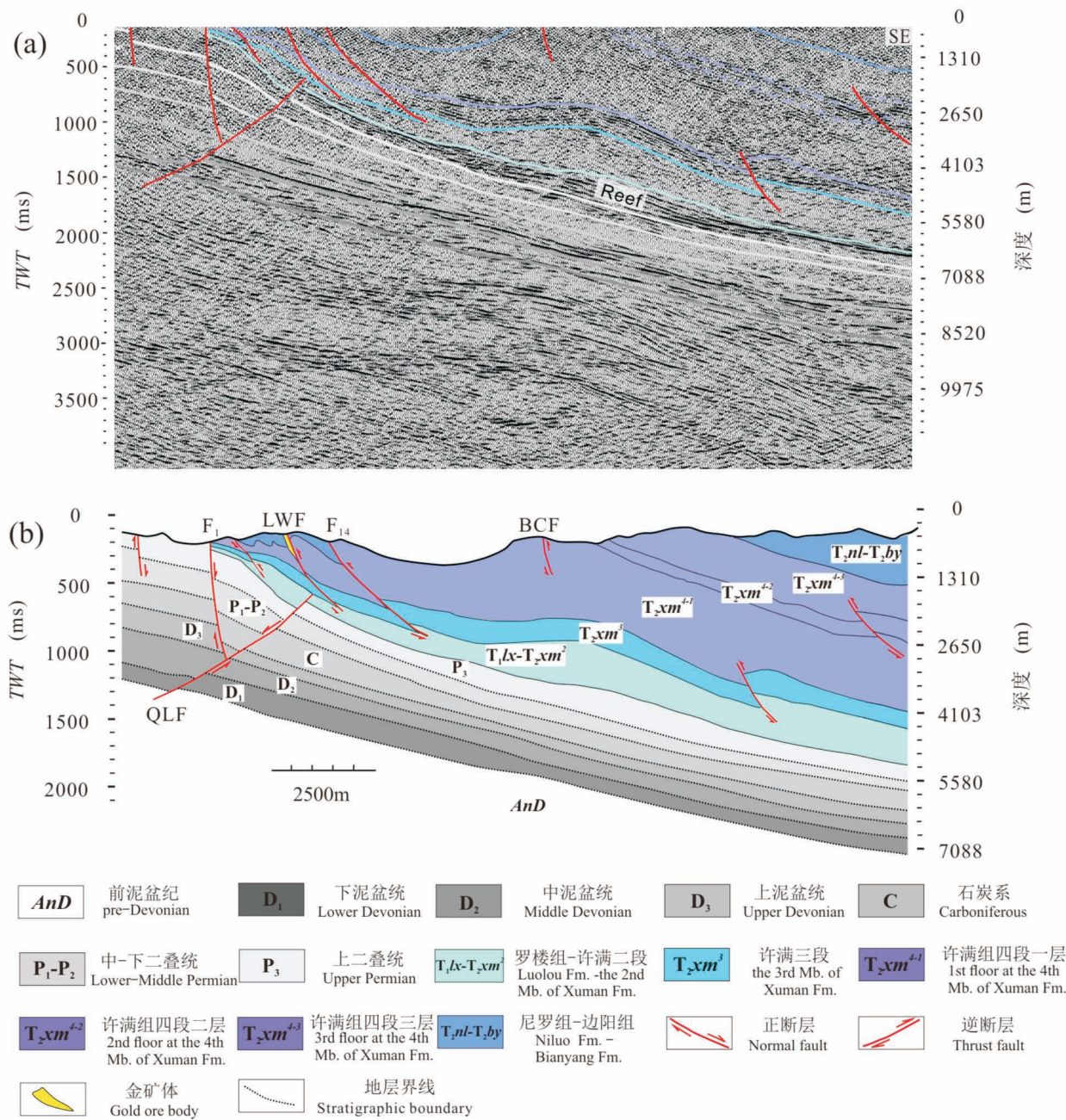


图 15 烂泥沟金矿田 A—B 地震剖面构造解释(剖面位置见图 1b):
(a) 烂泥沟金矿地震偏移剖面; (b) 烂泥沟金矿 44 勘探线剖面

Fig. 15 Tectonic interpretation of the seismic profile A—B in the Lannigou orefield (See Fig. 1b for the location of the profile):
(a) Seismic migration profile of Lannigou gold deposit; (b) section of prospecting line 44

Zhiwei et al. , 2007; 吴松洋等, 2016)。此外, 在烂泥沟金矿的包裹体中, 存在有甲烷和乙烷等有机气体 (Gu Xuexiang et al. , 2012; Hu Yuzhao et al. , 2017), 这些气体从何而来还缺乏研究。地震剖面显示, 在烂泥沟金矿区深部, 烂泥沟—尾怀断层和隐伏的巧洛断层向下已经穿过下泥盆统生油岩, 到达前泥盆系浅变质基底 (图 15), 能够为有机流体和变质流体的流动提供运移通道 (方维萱等, 2006; 陈懋弘等, 2012)。

3.3 对找矿勘探的意义

作为滇黔桂“金三角”目前已知最大的金矿床, 烂泥沟金矿近 81% 储量分布于烂泥沟—尾怀断层的北端 (即 F_3 断层), 且矿体产出与断层产状近似 (罗孝桓, 1993; Chen Maohong et al. , 2011)。由于以往缺乏高精度深部地球物理资料, 烂泥沟金矿区的勘查方向不明。本次通过对地面构造观察表明, F_3 断层向南还可再延伸 9 km, 证实了地震剖面解释, 并查明该断层向南已经延伸至变质基底。在烂泥沟—尾怀断层南部, 发现了范围基本一致的金矿土壤地球化学异常和水系地球化学异常各一处, 两处面积约为 9 km²。在该异常范围内发现两处矿化, 一处 (上洛王) 金矿点矿体厚度 1.58 m, 品位 0.44×10^{-6} ; 另一处 (尾怀) 位于小那井断层北盘牵引褶皱的层间破碎带中, 金矿点矿体厚度 0.66~9.20 m, 品位 0.63×10^{-6} (贵州省有色金属及核工业地质勘查局^①)。说明在烂泥沟—尾怀断层南部也发生了金的成矿作用, 且可能有找金的潜力。

在烂泥沟—尾怀断层以西, 地震解释发现了向西倾斜的切入变质基底的巧洛断层 (图 15)。该断层长度较大, 向南还可延伸 12 km。烂泥沟矿床在深部勘探时, 应关注该隐伏断层, 查明其含矿性。

4 结论

(1) 黔西南烂泥沟金矿田主体构造线主要为 NW 向和 NE 向两组, 构造样式总体表现为褶皱—断层组合。褶皱类型多样, 如: 斜歪褶皱、尖棱褶皱、倒转褶皱、平卧褶皱及翻卷褶皱等; 断层以逆冲断层为主, 一些具有正断层性质。通过对地表构造现象的解析并参考地震剖面的解释, 可将研究区内的构造分为伸展和挤压两类, 它们是南盘江盆地不同演化阶段的产物。

(2) 伸展构造发育于上古生界—中三叠统许满组二段, 而在许满组三段及其以上地层发育大量的冲断—褶皱构造。前人通过对许满组二段火山岩定

年, 得到其年龄值为 246 Ma 和 248 Ma, 该年龄值可大体代表由伸展到挤压的构造转换时间。即研究区晚古生代—中三叠世安尼期早期为伸展阶段, 安尼期中期—晚三叠世瑞替期构造环境转化为挤压。

(3) 烂泥沟—尾怀断层和巧洛断层向下已经延伸到南盘江盆地变质基底, 能够为成矿流体提供运移通道, 且在烂泥沟—尾怀断层南部有较好的地球化学异常和矿化显示。因此, 烂泥沟金矿床深部及外围具有较好的找矿前景。

致谢: 野外工作期间, 得到了贵州锦丰矿业有限公司领导与专家的大力支持, 在此表示感谢! 感谢两位审稿专家和责任编辑提出的详细修改意见!

注 释 / Note

① 贵州省有色金属及核工业地质勘查局. 2016. 贵州省黔西南赖子山背斜矿产地质调查报告.

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

陈翠华, 何彬彬, 顾雪祥, 刘建明. 2002. 右江盆地中三叠统浊积岩系的物源和沉积构造背景分析. 大地构造与成矿学, 27(1): 77~82.

陈懋弘, 毛景文, Phillip J, Norman T, 吴六灵, 郑建民, 秦运忠. 2007. 贵州锦丰烂泥沟超大型金矿床构造解析及构造成矿作用. 矿床地质, 26(4): 380~396.

陈懋弘, 黄庆文, 胡瑛, 陈振宇, 章伟. 2009. 贵州烂泥沟金矿层状硅酸盐矿物及其³⁹Ar-⁴⁰Ar 年代学研究. 矿物学报, 29(3): 353~362.

陈懋弘, 毛景文, 吴六灵, Phillip J, Norman T. 2012. 贵州烂泥沟卡林型金矿地质. 北京: 地质出版社: 68~73.

陈衍景, 张静, 张复新, Pirajno F, 李超. 2004. 西秦岭地区卡林一类卡林型金矿床及其成矿时间、构造背景和模式. 地质论评, 50(2): 134~152.

丁俊, 张洪信, 罗建均, 肖波. 2014. 贵州省册亨县尾若金矿点地质特征及找矿方向. 山西科技, 29(4): 48~51.

杜远生, 黄虎, 杨江海, 黄宏伟, 陶平, 黄志强, 胡丽沙, 谢春霞. 2013. 晚古生代—中三叠世右江盆地的格局和转换. 地质论评, 59(1): 1~10.

方维萱, 胡瑞忠, 苏文超, 王国芝. 2006. 滇黔桂湘地区中生代复合大陆动力成矿系统特征. 大地构造与成矿学, 30(4): 470~480.

广西壮族自治区地质矿产局. 1985. 广西壮族自治区区域地质志. 北京: 地质出版社: 200~352.

贵州省地质矿产局. 1987. 贵州省区域地质志. 北京: 地质出版社: 145~398.

胡煜昭, 王津津, 韩润生, 衣成立. 2011. 印支晚期冲断—褶皱活动在黔西南中部卡林型金矿成矿中的作用——以地震勘探资料为例. 矿床地质, 30(5): 815~827.

胡煜昭, 张桂权, 王津津, 韩润生, 周卓铸. 2012. 黔西南中部卡林型金矿床冲断—褶皱构造的地震勘探证据及意义. 地学前缘, 19(4): 63~71.

刘建明, 叶杰, 刘家军, 顾雪祥. 2001. 论我国微细浸染型金矿床与

沉积盆地演化的关系——以右江盆地为例. 矿床地质, 20(4): 367~377.

刘寅, 胡凯, 韩善楚, 孙泽航. 2015. 右江盆地构造和演化及对卡林型金矿床的控制作用. 高校地质学报, 21(1): 1~14.

罗建均. 2018. 黔西南赖子山背斜区金矿床地质特征及成矿规律研究. 黄金, 39(3): 15~20.

罗孝桓. 1993. 烂泥沟金矿区 F₃ 控矿断裂特征及构造成矿作用机理探讨. 贵州地质, 10(1): 26~34.

罗孝桓. 1997. 断裂构造的几何学、运动学特征及其对金矿体就位控制研究——以黔西南卡林型金矿为例. 贵州地质, 14(1): 46~54.

吕洪波, 章雨旭, 夏邦栋, 方中, 周伟明, 彭阳, 吴智平, 李伟. 2003. 南盘江盆地中三叠统复理石中的同沉积挤压构造——一类新的沉积构造的归类、命名和构造意义探讨. 地质论评, 49(5): 449~458.

马立, 陈焕疆, 甘克文, 徐克定, 许效松, 吴根耀, 叶舟, 梁兴, 吴少华, 邱蕴玉, 张平澜, 葛凡凡. 2004. 中国南方大地构造和海相油气地质. 北京: 地质出版社: 195~207.

毛铁, 叶春, 杜定全. 2014. 贵州烂泥沟金矿控矿断层构造地球化学研究. 矿物岩石地球化学通报, 33(1): 98~107.

秦建华, 吴应林, 颜仰基, 朱忠发. 1996. 南盘江盆地海西—印支期沉积构造演化. 地质学报, 70(2): 99~107.

王继斌, 颜丹平, 邱亮, 唐香丽, 杨文心, 朱鲁涛. 2018. 南盘江盆地赖子山穹隆构造样式及沙箱模拟研究. 地学前缘, 25(1): 47~64.

王砚耕, 索书田, 张明发. 1994. 黔西南构造与卡林型金矿. 北京: 地质出版社: 3~4.

吴松洋, 侯林, 丁俊, 吴伟, 秦凯, 张锦让, 朱斯豹. 2016. 黔西南卡林型金矿矿田控矿构造类型及成矿流体特征. 岩石学报, 32(8): 2407~2424.

徐大富. 2000. 贵州贞丰烂泥沟金矿床地质特征及找矿条件. 贵州地质, 17(3): 152~159.

徐耀奎, 吴铁平. 2008. 扬子地块西南缘微细浸染型金矿矿床地质特征及构造环境. 黄金, 29(5): 18~21.

杨超, 陈清, 吕洪波, 张洪涛, 曲长胜. 2008. 南盘江盆地中三叠统复理石的物源和沉积构造背景分析. 中国石油大学学报(自然科学版), 32(6): 22~27.

杨宗永, 何斌. 2012. 南盘江盆地中三叠统碎屑锆石地质年代学: 物源及其地质意义. 大地构造与成矿学, 36(4): 581~596.

叶春, 杜定全. 2018. 贵州贞丰烂泥沟金矿构造样式及构造控矿特征浅析. 贵阳学院学报(自然科学版), 13(1): 97~100.

张贞翔, 程国繁, 何英, 唐兴进, 苏信明. 2014. 黔西南板昌逆冲推覆构造特征及其控矿作用研究. 黄金, 35(7): 21~26.

Bao Zhiwei, Jayanta G. 2007. Metallogeny of the Lannigou sedimentary rock-hosted disseminated. Acta Geologica Sinica(English Edition), 81(1): 121~134.

Chen Cuihua, He Binbin, Gu Xuexiang, Liu Jianming. 2002&. Provenance and tectonic settings of the Middle Triassic turbidites in Youjiang basin. Geotectonica et Metallogenia, 27(1): 77~82.

Chen Maohong, Mao Jingwen, Frank P B, Tony N, Phillip J U. 2011. Structural features and metallogenesis of the Carlin-type Jinfeng (Lannigou) gold deposit, Guizhou Province, China. Ore Geology Reviews, 43(1): 217~234.

Chen Maohong, Mao Jingwen, Phillip J. uttley, Tony Norman, Wu Liuling, Zheng Jianmin, Qin Yunzhong. 2007b&. Structure analysis and structural metallogenesis of Jinfeng (Lannigou) gold deposit in Guizhou Province. Mineral Deposits, 26(4): 380~396.

Chen Maohong, Huang Qingwen, Hu Ying, Chen Zhenyu, Zhang Wei. 2009a&. Genetic types of phyllosilicate (micas) and its ³⁹Ar-⁴⁰Ar dating in Lannigou Gold Deposit, Guizhou Province, China. Acta Mineralogica Sinica, 29(3): 353~362.

Chen Maohong, Mao Jingwen, Wu Liuling, Phillip J, Norman T. 2012#. Geology of Carlin-type Gold Deposit, Guizhou. Beijing: Geological Publishing House: 63~78.

Chen Yanjing, Zhang Jing, Zhang Fuxin, Pirajno F, Li Chao. 2004&. Carlin and Carlin-like gold deposits in western Qinling Mountains and their metallogenic time, tectonic setting and model. Geological Review, 50(2): 134~152.

Cline J S, Muntean J L, Gu Xuexiang, Xia Yong. 2013. A comparison of Carlin-type gold deposits: Guizhou Province, Golden Triangle, Southwest China, and Northern Nevada, USA. Earth Science Frontiers, 20(1): 1~18.

Ding Jun, Zhang Hongxin, Luo Jianjun, Xiao Bo. 2014#. Geological characteristics and ore-searching directions of Weiruo gold occurrence in Ceheng County, Guizhou Province. Shanxi Science and Technology, 29(4): 48~51.

Du Yuansheng, Huang Hu, Yang Jianghai, Huang Hongwei, Tao Ping, Huang Zhiqiang, Hu Lisha, Xie Chunxia. 2013&. The basin translation from Late Paleozoic to Triassic of the Youjiang Basin and its tectonic signification. Geological Review, 59(1): 1~10.

Fang Weixuan, Hu Ruizhong, Su Wenchao, Wang Guozhi. 2006&. Features of metallogenic system of compound continental dynamics in Yunnan—Guizhou—Guangxi—Hunan Provinces. Geotectonica et Metallogenia, 30(4): 470~480.

Faure M, Lepvrier C, Nguyen V V, Vu T V, Lin Wei, Chen Zechao. 2014. The South China block——Indochina collision: Where, when, and how? Journal of Asian Earth Sciences, 79: 260~274.

Gu Xuexiang, Zhang Yongmei, Li Baohua, Dong Shuyi, Xue Chunji, Fu Shaohong. 2012. Hydrocarbon- and ore-bearing basinal fluids: A possible link between gold mineralization and hydrocarbon accumulation in the Youjiang basin, South China. Mineralium Deposita, 47(2012): 663~682.

Guangxi Bureau of Geology and Mineral Resources. 1985#. Regional Geology of Guangxi Province. Beijing: Geological Publishing House: 200~352.

Guizhou Bureau of Geology and Mineral Resources. 1987#. Regional Geology of Guizhou Province. Beijing: Geological Publishing House: 145~398.

Hu Yuzhao, Wang Jinjin, Han Runsheng, Yi Chengli. 2011&. Role of late Indosinian thrust—folding in ore-forming process of Carlin-type gold deposits, central southwestern Guizhou: Seismic evidence. Mineral Deposits, 30(5): 815~827.

Hu Yuzhao, Zhang Guiquan, Wang Jinjin, Han Runsheng, Zhou Zhuozhu. 2012&. Seismic evidence of thrust—fold in Carlin-type gold deposit, central southwestern Guizhou and its significance. Earth Science Frontiers, 19(4): 63~71.

Hu Yuzhao, Liu Weihua, Wang Jinjin, Zhang Guiquan, Zhou Zhuozhu, Han Runsheng. 2017. Basin-scale structure control of Carlin-style gold deposits in central southwestern Guizhou, China: insights from seismic reflection profiles and gravity data. Ore Geology Reviews, 91(2017): 444~462.

Hu Yuzhao, Liu Weihua, Zhang Guiquan, Guan Shenjin, Liu Yumin, Li Piyou, Zheng Shuang, Wang Zhanfeng. 2020. Basin architecture and evolution in Lannigou gold deposit area, southern Guizhou, China: Constraints from seismic reflection profiles and implications for ore genesis. Economic Geology, in press.

Liu Jianming, Ye Jie, Liu Jiajun, Gu Xuexiang. 2001&. Relationship between sediments-hosted micro-disseminated gold deposits and basin evolution: case study in Youjiang Basin, south China. *Mineral Deposits*, 20(4): 367~377.

Liu Yin, Hu Kai, Han Shanchu, Sun Zehang. 2015&. Structural evolution of the Youjiang Basin and its controlling effects on the formation of Carlin-type gold deposits. *Geological Journal of China Universities*, 21(1): 1~14.

Luo Jianjun. 2018&. Study on geological features and metallogenic regularity of gold deposits in the Laizishan anticline area in southwestern Guizhou. *Gold*, 39(3): 15~20.

Luo Xiaohuan. 1993&. The Features of F₃ fault controlling gold deposit and the study of mechanism of tectonic mineralization in Lannigou Gold Orefield. *Geology of Guizhou*, 10(1): 26~34.

Luo Xiaohuan. 1997&. A study on the control of geometrical and kinetic features of fault structures on the location of gold deposits—The example from Carlin-type gold deposits of southwestern Guizhou. *Guizhou Geology*, 14(1): 46~54.

Lü Hongbo, Zhang Yuxu, Xia Bangdong, Fang Zhong, Zhou Weiming, Peng Yang, Wu Zhiping, Li Wei. 2003&. Syn-sedimentary compression structures in the Middle Triassic flysch of the Nanpanjiang Basin, SW China. *Geological Review*, 49(5): 449~458.

Ma Li, Chen Huanjiang, Gan Kewen, Xu Keding, Xu Xiaosong, Wu Genyao, Ye Zhou, Liang Xing, Wu Shaohua, Qiu Yunyu, Zhang Pinglan, Ge Fanfan. 2004#. *Tectonic and Marine Hydrocarbon Geology of Southern China*. Beijing: Geological Publishing House: 195~207.

Mao Tie, Ye Chun, Du Dingquan. 2014&. Tectonogeochemistry characteristics of the gold controlling fault in the Lannigou Gold Deposit, Guizhou, China. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 33(1): 98~107.

Ovtcharova M, Bucher H, Schaltegger U, Galfetti T, Brayard A, Guex J. 2006. New Early to Middle Triassic U-Pb ages from south China: Calibration with ammonoid biochronozones and implications for the timing of the Triassic biotic recovery. *Earth and Planetary Science Letters*, 10(1016): 463~475.

Peters S G. 2004. Syn-deformational features of Carlin-type Au deposits. *Journal of Structural Geology*, 26(2004): 1007~1023.

Qin Jianhua, Wu Yinglin, Yan Yangji, Zhu Zhongfa. 1996&. Hercynian—Indosinian sedimentary—tectonic evolution of the Nanpanjiang Basin. *Acta Geologica Sinica*, 70(2): 99~107.

Qiu Liang, Yan Danping, Yang Wenxin, Wang Jingbin, Tang Xiangli, Shahnawaz A. 2017. Early to Middle Triassic sedimentary records in the Youjiang Basin, south China: Implications for Indosinian orogenesis. *Journal of Asian Earth Sciences*, 141: 125~139.

Su Wenchao, Dong Wendou, Zhang Xingchun, Shen Nengping, Hu Ruizhong, Hofstra A H, Cheng Lianzheng, Xia Yong, Yang Keyou. 2018. Carlin-type gold deposits in the Dian—Qian—Gui “Golden Triangle” of southwest China. *Economic Geology*, 20(2018): 157~185.

Wang Jibin, Yan Danping, Qiu Liang, Tang Xiangli, Yang Wenxin, Zhu Lutao. 2018&. Structural style and sandbox modeling of the Lanzishan Dome in the Nanpanjiang Basin, south China. *Earth Science Frontiers*, 25(1): 47~64.

Wang Yangeng, Suo Shutian, Zhang Mingfa. 1994#. *Tectonic and Carlin-type Gold Deposits in Southwest Guizhou*. Beijing: Geological Publishing House: 3~4.

Wu Songyang, Hou Lin, Ding Jun, Wu Wei, Qin Kai, Zhang Jinrang, Zhu Sibao. 2016&. Ore-controlling structure types and characteristics of ore-forming fluid of the Carlin-type gold orefield in southwestern Guizhou, China. *Acta Petrologica Sinica*, 32(8): 2407~2424.

Xu Dafu. 2000&. Geological feature of Lannigou Gold Deposits in Zhenfeng, Guizhou and its prospecting condition. *Guizhou Geology*, 17(3): 152~159.

Xu Yaojian, Wu Tieping. 2008&. Geological feature and structure environment of micro-fine disseminated gold deposit in the southwest edge of Yangtze block. *Gold*, 29(5): 18~21.

Yang Chao, Chen Qing, Lü Hongbo, Zhang Hongtao, Qu Changsheng. 2008&. Provenance and tectonic settings of the Middle Triassic flysch in Nanpanjiang Basin. *Journal of China University of Petroleum*, 32(6): 22~27.

Yang Zongyong, He Bin. 2012&. Geochronology of detrital zircons from the Middle Triassic sedimentary rocks in the Nanpanjiang Basin: Provenance and its geological significance. *Geotectonica et Metallogenia*, 36(4): 581~596.

Ye Chun, Du Dingquan. 2018&. Structural style and structural ore control characteristics of the Zhenfeng Lannigou, Guizhou. *Journal of Guiyang University Natural Sciences (Quarterly)*, 13(1): 97~100.

Yigit O, Nelson E P, Hitzman M W. 2003. Structural Controls on Carlin-Type gold mineralization in the Gold Bar District, Eureka County, Nevada. *Economic Geology*, 98: 1173~1188.

Zhang Zhenxiang, Cheng Guofan, He Ying, Tang Xingjin, Su Xinming. 2014&. Characteristics of Banchang thrust nappe structure in southwest Guizhou and study on its ore-controlling factors. *Gold*, 35(7): 21~26.

Structural deformation and evolution of the Lannigou Gold Orefield in southwestern Guizhou

ZHENG Shuang^{1,3)}, HU Yuzhao^{1, 2)}, GUAN Shenjin^{1, 2)}, LIU Xiaozhen¹⁾

1) Faculty of Land Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, 650093;

2) Yunnan Mineral Resources Laboratory, Kunming, 650093;

3) Shandong Zhengwei Survey and Mapping Co. , Ltd. ,Jinan,250000

Abstract: The Lannigou is a large gold deposit which has been known in “golden triangle” of Yunnan—Guizhou—Guangxi, and has important economic value. Ore-bodies of the Lannigou gold deposit are strictly

controlled by faults and it has the typical characteristics of structural ore-control. Through detailed field observation and mechanical analysis of the associated structural evidences of major faults around the Lannigou gold deposit area, we suggest that the structural deformation characteristics are divided into extension and compression. Among them, late Paleozoic—Middle Triassic early Anisian is extensional stage, while since the middle Anisian is compressive stage, and the tectonic switch time should be shortly later than 248 Ma or 246 Ma. According to the seismic profile, LWF and QLF extend down to the metamorphic basement of Nanpanjiang basin, they may provide migration channels for ore-forming fluid. Moreover, there are geochemical anomalies and gold occurrences in the south of LWF. It's concluded that the deep and peripheral of the Lannigou gold deposit have good prospecting potential.

Keywords: structural deformation; structural evolution; Lannigou gold deposit; southwestern Guizhou

Acknowledgements: Thanks for the support from the leaders and exports of Jinfeng gold deposit, Guizhou. In addition, we would like to express our deep gratitude to two reviewers for their valuable revision suggestions.

First author: ZHENG Shuang, female, born in 1994, a postgraduate of Kunming University of Science and Technology and majored in geological engineering; Email: 2919119889@qq.com

Corresponding author: HU Yuzhao, male, born in 1964, a professor of Kunming University of Science and Technology, mainly engaged in sedimentary basin and mineral exploration research; Email: yuzhaohu@kust.edu.cn

Manuscript received on: 2019-11-20; Accepted on: 2020-07-06; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10.16509/j.georeview.2020.05.024