

# 滇西北羊拉铜矿床断裂构造、构造控矿模式及找矿预测

李波<sup>1,2,3</sup>, 邹国富<sup>1</sup>, 文书明<sup>2</sup>, 黄智龙<sup>3</sup>, 唐果<sup>1</sup>, 刘月东<sup>4</sup>, 盛蕊<sup>5</sup>

(1. 中国有色金属工业昆明勘察设计研究院, 昆明 650051; 2. 昆明理工大学国土资源工程学院, 昆明 650093;  
3. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002;  
4. 云南迪庆矿业开发有限责任公司, 香格里拉 674400; 5. 华能澜沧江水电有限公司, 昆明 650214)

**摘要** 羊拉铜矿是金沙江成矿带内规模最大的铜矿床。文章在总结矿床地质特征的基础上, 系统开展了断裂构造及构造控矿模式的研究, 并进行找矿预测。研究表明: 羊拉铜矿区存在近南北向构造带、北东向构造带和北西向构造带等3种断裂构造体系, 反映矿区构造经历了4期构造运动, 分别对应晚海西期、印支期、燕山期和喜山期; 总结羊拉铜矿区构造控矿模式为印支期“岩浆侵入接触构造+层间断裂”和燕山—喜山期“人字型构造+阶梯状构造”。同时依据成矿模式和地质事实, 指出江边矿段西侧夕卡岩型矿体、路农矿段东侧深部夕卡岩矿体和里农西侧深部斑岩型铜矿是今后重要的找矿方向, 并提出了相应的勘探设计。

**关键词** 断裂构造 构造控矿模式 找矿预测 羊拉铜矿床 滇西北

**中图分类号:** P618.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-7801(2014)05-0699-13

三江特提斯构造带是全球特提斯构造在中国大陆最典型的发育地区, 经历了复杂而完整的演化历史<sup>[1-2]</sup>, 金沙江构造带是我国三江特提斯构造域重要的构造带之一。作为金沙江成矿带内规模最大的羊拉铜矿床, 因其地质条件优越、找矿前景巨大而引起了众多学者浓厚的研究兴趣。自发现以来, 多家地勘单位和科研院所对其进行了地质勘探和科研工作, 在岩浆岩及其构造环境<sup>[3-6]</sup>、地球化学及矿床成因<sup>[7-13]</sup>等方面取得了丰富的研究成果。由于羊拉铜矿床地处金沙江、羊拉两条近南北向深大断裂之间, 矿区构造异常发育, 前人虽对矿区构造进行了初步研究<sup>[14-17]</sup>, 但断裂构造及其控矿模式研究仍显薄弱。本文即在断裂构造研究的基础上, 建立断裂构造体系, 同时总结构造控矿模式、进行找矿预测。

## 1 地质概况

羊拉大型铜矿床位于滇西北德钦县羊拉乡, 地理坐标为东经 99°03'30" ~ 99°07'00", 北纬 28°52'45" ~ 28°56'00", 由贝吾、尼吕、江边、里农、路农、通吉格和加仁等7个矿段组成(图1), 仅里农矿段进入开发阶段, 其铜资源储量达 58.57 万 t<sup>[20]</sup>。前人曾对羊拉铜矿床地质特征进行了详细研究<sup>[3, 11, 18, 20]</sup>, 总结其矿床地质特征如下:

(1) 赋矿地层主要为下泥盆统江边组(D<sub>1j</sub>)和里农组(D<sub>2+3l</sub>);

(2) 含矿岩石以透辉夕卡岩、石榴石夕卡岩为主, 次为角岩化变质石英砂岩、绢云砂质板岩、爆破角砾岩、花岗闪长岩;

(3) 矿体呈层状、似层状、透镜状、脉状产出, 严

[收稿日期] 2014-05-07

[基金项目] 国家自然科学基金(编号: 41402072)、中国博士后科学基金(编号: 2012M510214)、云铜集团重点科技项目(编号: 20110103)、矿床地球化学国家重点实验室开放基金(编号: 201108)联合资助。

[作者简介] 李波, 男, 1981年生, 博士, 高级工程师, 从事构造地球化学及找矿预测研究工作。

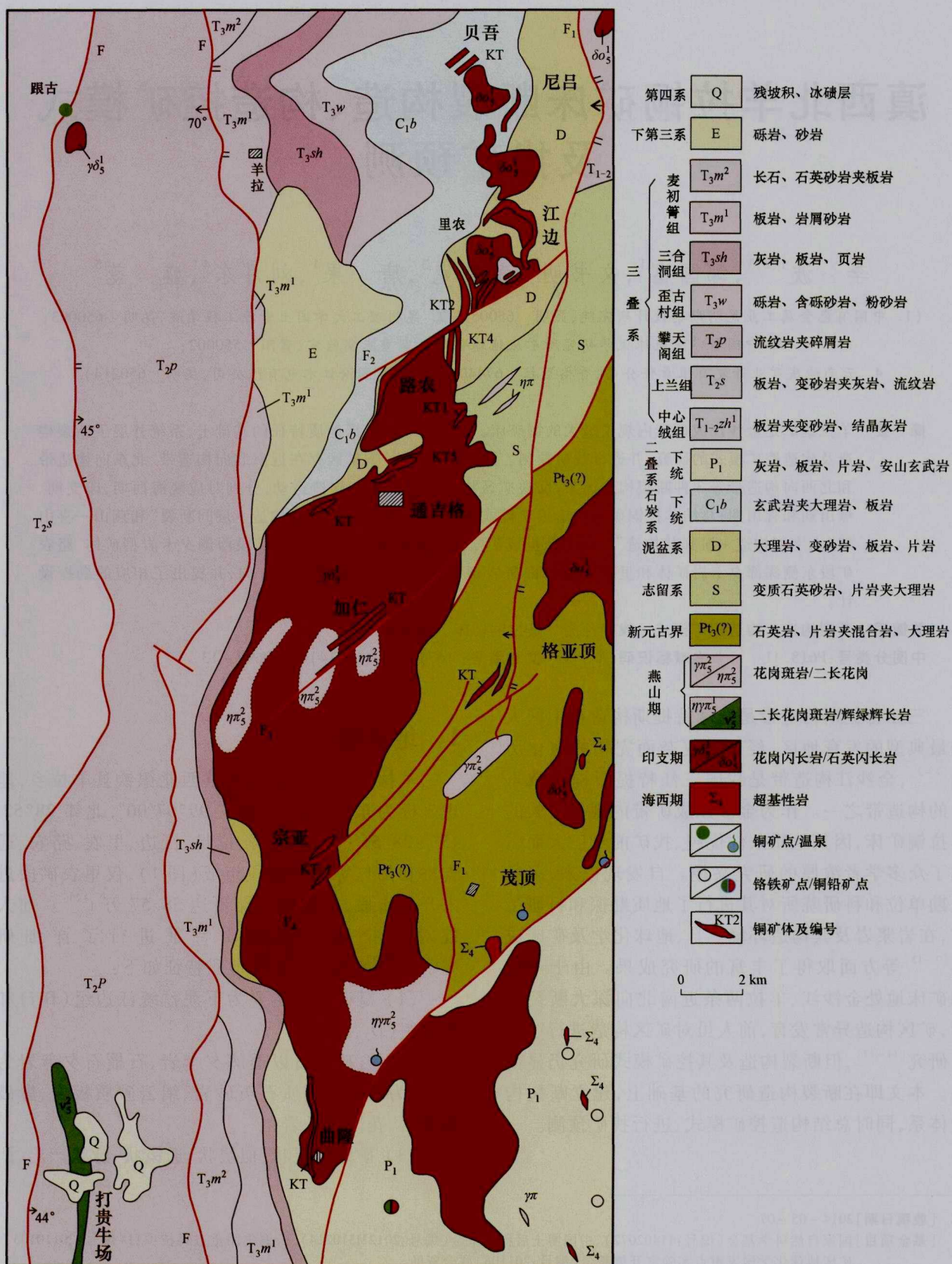


图1 羊拉铜矿矿区地质简图(据李文昌等,2010)

格受岩体、地层和构造破碎带的控制;在不同的矿段,矿体的产状变化较大;

(4) 矿体产出主要有3种类型:花岗闪长岩—花岗斑岩体外接触带的层状、似层状矿体,花岗闪长岩—花岗斑岩体内接触带或岩体与沉积岩接触面附近的环状、弧形脉状矿体,以第一种类型矿体为主;

(5) 矿石类型多样,根据赋矿岩石可分为夕卡岩型矿石、角岩型矿石、大理岩型矿石和花岗闪长岩、二长花岗岩型矿石等;

(6) 矿石构造主要有浸染状、网脉状、块状、蜂窝状、土状构造等,矿石结构以自形—他形晶粒状结构、包含结构、填隙结构和交代结构为主;

(7) 矿物组成复杂,矿石矿物主要为黄铜矿、蓝铜矿、孔雀石、黄铁矿、磁黄铁矿,次为斑铜矿、铜蓝、赤铜矿、黑铜矿、方铅矿、辉铜矿以及自然铜等;脉石矿物主要为透辉石、石榴石、透闪石、阳起石等夕卡岩矿物以及石英、白云石、方解石、绢云母和长石等;

(8) 矿石中伴生 Au、Ag 等有益组分。

## 2 断裂构造

### 2.1 断裂构造特征

羊拉铜矿床断裂构造发育,按其展布方向可分为南北—近南北向、东西—近东西向、北东向和北西向4组,各组断裂特征如下。

#### 2.1.1 南北—近南北向断裂

羊拉铜矿区范围内南北—近南北向断裂较发育,以层间断裂为主,呈狭长带状断续分布于里农组各段之间以及不同的岩性界面附近,ZK3904 钻孔揭露的  $D_{2+3}l^1$  与  $D_{2+3}l^2$ 、 $D_{2+3}l^2$  与  $D_{2+3}l^3$  之间均为层间断裂接触关系。断裂规模中等,带宽十厘米至十几米,为矿区内主要的容矿构造,KT2、KT4 和 KT5 等矿体均产于该类破碎带中。战明国等<sup>[3]</sup>和甘金木等<sup>[14]</sup>认为层间断裂的形成与印支期的挤压推覆构造活动及加仁、里农等中酸性岩体的上侵入活动密切相关。本文认为层间断裂在印支期前业已存

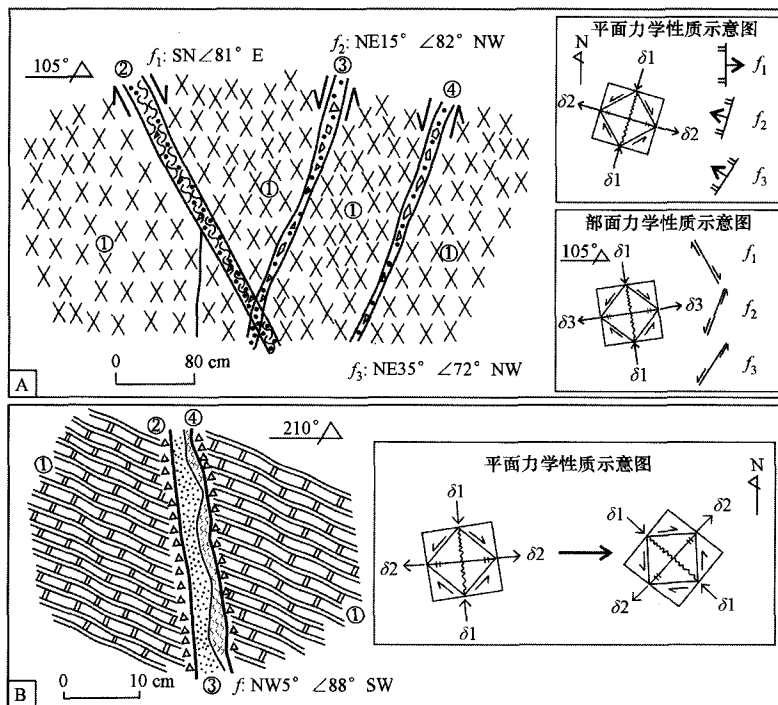


图2 羊拉铜矿床南北—近南北向断裂素描图

A - D17 地质点:①—灰绿色破碎状辉绿辉长岩;②— $f_1$  断裂及断裂带内的黄褐色泥质充填物、灰白色构造碎粒岩及辉绿辉长岩碎块,断裂为下盘上升的张扭性正断层;③— $f_2$  断裂及断裂带内的辉绿辉长岩碎块,具明显棱角,另见少量灰白色构造碎粒岩,显示张扭性质;④— $f_3$  断裂及断裂带内的辉绿辉长岩角砾,棱角明显,显示张性性质。B - Ln5 地质点:①—灰白色块状大理岩;②—早期断裂形成的大理岩角砾,棱角明显;③—后期断裂带内构造碎粒岩、碎粉岩;④断裂带内的黄褐色断层泥

在,伴随着印支期中酸性岩体的上侵,成矿热液沿薄弱的层间断裂运移,并与围岩发生接触交代作用,形成 KT2 和 KT5 等层状夕卡岩矿体。

D17 地质点断裂构造(图 2-A):位于路农矿段至喇嘛寺道路边,围岩为灰绿色辉绿辉长岩,岩体破碎,发育 3 条断裂。 $f_1$  断裂(产状:SN $\angle$ 81°E)宽约 20 cm,断裂带内为黄褐色泥质充填物、灰白色构造碎粒岩及辉绿辉长岩碎块,显示断裂为下盘上升的张扭性正断层。 $f_2$  断裂(产状:NE15° $\angle$ 82°NW)为  $f_1$  的共轭断裂,断裂宽 5~10 cm,断裂带内为辉绿辉长岩碎块,具明显棱角,另有少量灰白色构造碎粒岩,显示张扭性质。 $f_3$  断裂(产状:NE35° $\angle$ 72°NW)与  $f_2$  近平行,断裂面明显,断裂带内为辉绿辉长岩角砾,棱角明显,显示张性性质,从明显错动标志层的关系判断为张性正断层。力学性质分析 3 条断裂的主压力方向均为 NE $\pm$ 15°。

Ln5 地质点断裂构造(图 2-B):位于路农矿段 3590 m 中段坑道,为一复合断裂(产状:NW5° $\angle$ 88°SW)。围岩为灰白色块状大理岩,早期裂面不清,断裂带内发育大理岩角砾,角砾棱角明显,显示张性特征。晚期断裂为左行扭性,裂面光滑平直,倾角较陡,局部反倾,裂带宽约 5~10 cm,带内为灰白色构造碎粒、碎粉岩,两盘岩石错动明显。因此,断裂经历了早期张性到晚期左行扭性力学性质的转变,力学性质分析显示,断裂早期主压力方向为近南北向,晚期为北西向。

### 2.1.2 东西—近东西向断裂

YD1 地质点断裂构造(图 3-A):位于路农矿段露天采场居住区上方,上部岩性为里农组二段灰白色细—粗晶大理岩,下部为灰—灰黑色薄层状砂质板岩。该处发育两条近平行断裂, $f_1$  断裂(产状:NW72° $\angle$ 45°NE)明显错断岩层,断裂宽 20~40 cm,带内为灰白色—黄褐色断层泥及大小不等的白云岩角砾;旁侧  $f_2$  断裂(产状:NW85° $\angle$ 72°NE)也明显切断岩层,断裂面光滑平直,带内为黄褐色断层泥。两断裂对岩层错动明显,且造成岩层产状有轻微变化,其产状分别为:NW50° $\angle$ 19°SW、NW30° $\angle$ 30°SW 和 NE62° $\angle$ 24°NW。从岩层的错动关系判断两断裂均为正断层,显示压性性质,力学性质分析表明受到了 NE5°~18°方向上的主压力。

Ln16 地质点断裂构造(图 3-B):位于路农矿段 3590 m 中段,围岩为灰白色绢云砂质板岩,夹条

带状大理岩,地层产状:NE36° $\angle$ 40°SE。断裂构造发育于坑道右壁,断裂宽约 25 cm,上、下裂面不清楚;但断裂内部发育明显后期裂面,裂面平直光滑,见明显擦痕,显示为右行压扭性质。断裂总体产状 EW $\angle$ 59°N,在坑道出露长度大于 20 m。断裂带内分带现象明显:断裂上部为钙质、泥质胶结大理岩角砾,具后期碳酸盐化;靠近后期裂面为黄褐色断层泥;下部则为碎裂状砂质板岩。力学性质分析显示,晚期断裂主压应力方向为北西向。

### 2.1.3 北东向断裂

Y001 地质点断裂构造(图 4-A):位于喇嘛寺附近路旁,附近出露大面积辉绿色致密块状辉绿岩,沿岩体内裂隙可见零星黄铁矿化,岩体内部空洞处可见柱状石英晶簇。岩体内发育后期断裂,产状:NE34° $\angle$ 38°NW。断裂带宽约 2 m,带内为灰绿色碎裂状辉绿岩,沿断裂带充填有石英、方解石细脉,大致沿断裂面平行产出,反映成岩后的构造运动中伴随有热液流体活动。靠近上裂面为灰白—黄褐色断层泥,夹辉绿辉长岩,垂直裂面发育多条张性裂隙。并且上、下裂面平直光滑,发育薄层状石英脉,裂面上见擦痕,显示断裂为右行扭张性正断层。力学性质分析断裂受到了 NE $\pm$ 50°方向上的主压力。

YK010 地质点断裂构造(图 4-B):位于 3175 m 中段 20#穿脉北侧 2 m 处,围岩为灰白色绢云砂质板岩、变质石英砂岩,岩石破碎,且发育团块状黄铁矿化、黄铜矿化及细脉状方解石化。断裂产状:NE68° $\angle$ 36°NW,断裂面呈波状起伏,发育明显擦痕;断裂带宽  $n \sim 30$  cm 不等,带内为灰白色碎裂状变质石英砂岩碎块及构造碎裂岩;上裂面发育不规则状方解石细脉。根据擦痕和断裂与早期断裂及岩层的错动关系,判断该断裂为左行扭压性正断层。力学性质分析显示该断裂受到了 NE10°~20°方向上的主压力。

### 2.1.4 北西向断裂

D028 地质点断裂构造(图 5-A):位于路农矿段露天采场北侧路旁,为里农组一段( $D_{2,3}l^1$ )地层中发育的层间断裂(产状:NW48°~66° $\angle$ 37°~41°SW),岩层揉皱强烈。由于受到后期构造活动的影响,地层产状发生变化。该处上部为灰白—黄褐色砂质板岩,中间为薄层状绢云砂质板岩、片岩,岩石较破碎;下部为灰白—黄褐色变质石英砂岩,夹薄层状绢云砂质片岩,岩石揉皱强烈,层间断裂发育。由

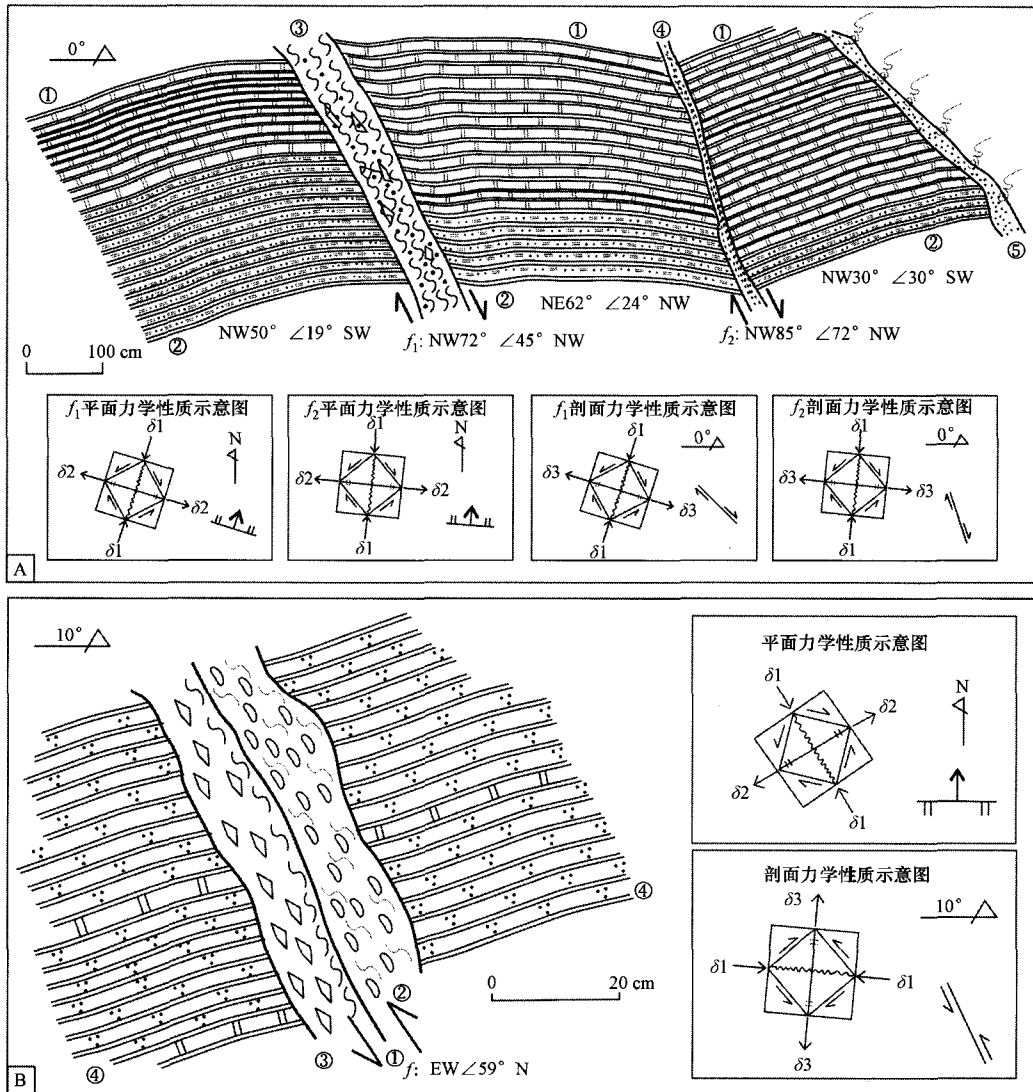


图3 羊拉铜矿床东西—近东西向断裂素描图

A - YD1 地质点:①—灰白色细—粗晶大理岩;②—灰—灰黑色薄层状砂质板岩;③— $f_1$  断裂及断裂带内的灰白色—黄褐色断层泥及大小不等的白云岩角砾;④— $f_2$  断裂及断裂带内的黄褐色断层泥;⑤—第四系浮土及地表植被;B - Ln16 地质点:①—晚期断裂面及靠近裂面的黄褐色断层泥;②—断裂上部的泥质、钙质胶结大理岩角砾,角砾具一定磨圆度,已固结;③—断裂下部的碎裂岩,原岩为砂质板岩;④—灰白色砂质板岩,夹条带状大理岩

于绢云砂质板岩、片岩的塑性较变质石英砂岩强,层间断裂内多处形成由绢云砂质板岩包裹的变质石英砂岩透镜体(图5),显示层间断裂为压性逆断层。力学性质分析断裂受到了NE30°~40°方向的主压力。

YK008 地质点断裂构造(图5-B):位于3175 m中段10#穿脉104测点北东约15 m处钻窝旁,为多处断裂交汇的复合构造点;围岩为淡绿—灰白色绿泥石化绢云砂质板岩夹变质石英砂岩,岩石较破

碎,后期构造热液活动形成有方解石—黄铁矿—黄铜矿细脉。至少分辨出3期构造活动:早期断裂 $f_1$ 为层间断裂(产状:NW66°∠34°SW),断裂带内有断层泥,明显被后期断裂 $f_2$ 所错断,为压性正断层;中期断裂 $f_2$ (产状:NW71°∠70°NE),明显切断岩层及方解石—黄铁矿—黄铜矿细脉,从岩层和早期断裂的错动关系判断为压性逆断层;晚期断裂 $f_3$ (产状:NE65°∠56°NW)明显错断 $f_2$ 断裂,为张性正断层,断裂面呈波状,沿裂面充填有方解石细脉,断续呈透

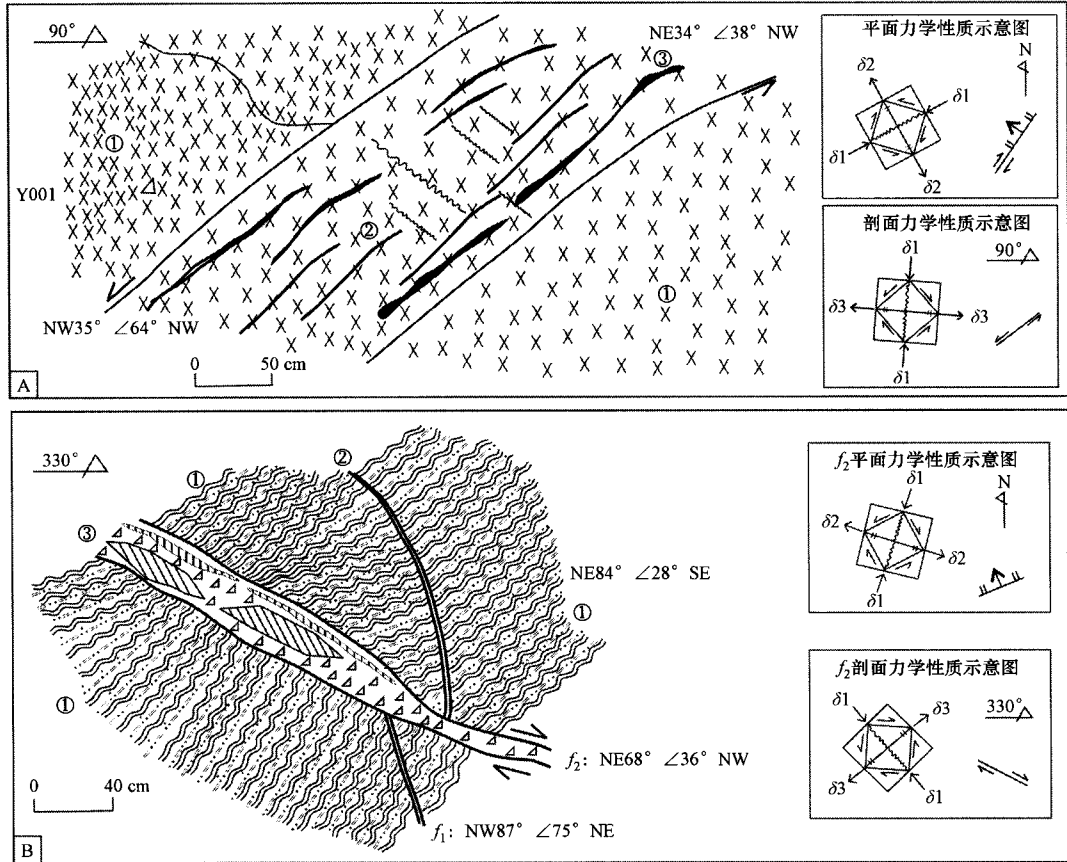


图4 羊拉铜矿床北东向断裂素描图

A - Y001 地质点: ①—灰绿色块状辉绿辉长岩; ②—断裂带内碎裂状辉绿岩; ③—断裂带充填的石英、方解石脉, 与断面产状近平行; 断裂带宽约 2 m, 且上、下裂面平直光滑, 发育薄层状石英脉, 裂面上见擦痕, 显示断裂为右行扭张性正断层; B - YK010 地质点: ①—灰白色绢云砂质板岩、变质石英砂岩, 岩石破碎; ②—早期切层断裂  $f_1$ , 断裂紧闭, 性质不明; ③—后期断裂  $f_2$  及带内充填的灰白色碎裂状变质石英砂岩碎块及构造碎裂岩, 明显切断岩层及早期断裂, 裂面呈波状起伏, 发育明显擦痕, 沿上裂面发育方解石脉, 断裂性质为左行扭压性正断层

镜体状产出。力学性质分析该构造点早期受到了约为 NE30° 方向上的主压力, 中期主压应力方向为 NE20° 左右, 晚期主压应力方向约为 NE60°。

## 2.2 断裂构造体系

根据对羊拉铜矿区内坑道和地表 210 条断裂构造的详细观察和力学性质分析, 结合区域构造演化<sup>[3,11,16]</sup>, 初步判断羊拉铜矿经历了 4 期构造活动: 海西期、印支期、燕山期和喜山期。海西期, 由于受到东西向主压应力的作用, 金沙江洋盆开始由东向西俯冲削减, 这一时期的构造主要表现为顺层剪切褶皱和逆冲推覆构造, 初步形成一些层间断裂构造。印支期的挤压碰撞作用主要表现为左行平移剪切作用, 主压应力为北西—南东向, 矿区内层间断裂构造

进一步发育; 同时伴随着大规模中酸性岩浆的上侵活动, 形成岩浆侵入接触构造, 成矿热液运移至层间断裂内部形成层状夕卡岩型矿体。燕山期, 金沙江构造带以断裂—岩浆活动为主, 矿区断裂主要表现为右行走滑, 矿区范围内主压应力方向为北东—南西向。喜山期, 矿区范围内主压应力方向为北西—南东向, 主要形成北西西向左行走滑及推覆构造。

对断裂构造形迹进行筛分配套, 将羊拉矿区断裂构造划分为 3 种断裂构造体系 (图 6): 近南北向构造带、北东向构造带和北西向构造带, 反映矿区构造经历了 4 期构造运动: 近南北向构造带→北东向构造带→北西向构造带→北东向构造带, 分别对应晚海西期、印支期、燕山期和喜山期。

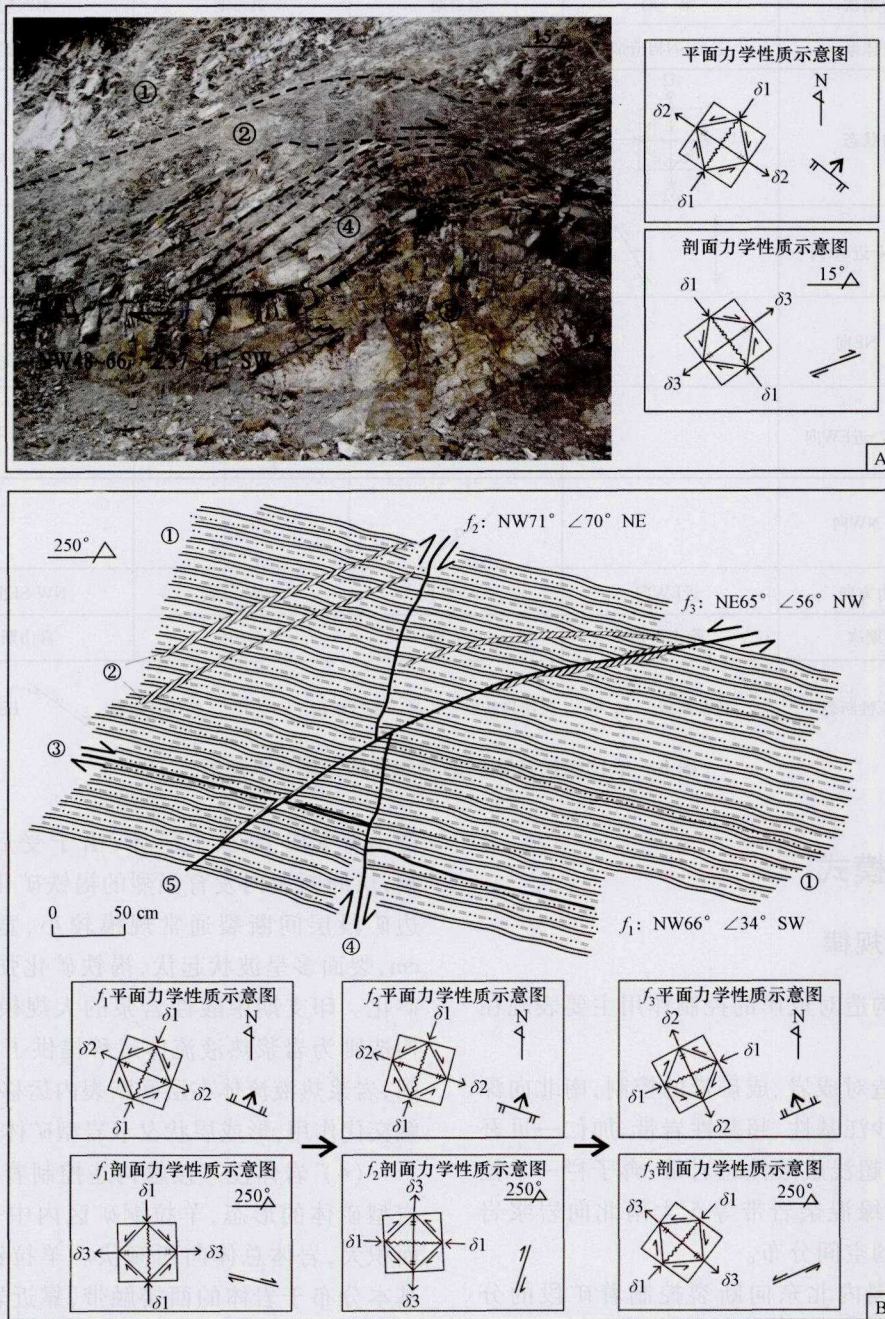


图5 羊拉铜矿床北西向断裂素描图

A - D028 地质点: ①—灰白色砂质板岩; ②—薄层状绢云砂质板岩、片岩, 岩石破碎; ③—灰白—黄褐色变质石英砂岩, 夹薄层状绢云砂质片岩, 岩石揉皱强烈, 层间断裂发育; ④—层间断裂内形成的变质石英砂岩透镜体, 显示断裂为压性逆断层; B - YK008 地质点: ①—淡绿—灰白色绿泥石化绢云砂质板岩夹变质石英砂岩; ②—充填的方解石—黄铁矿—黄铜矿细脉, 为后期构造热液活动的产物; ③—早期层间断裂  $f_1$ , 断裂带内有断层泥, 明显被后期断裂  $f_2$  所错断, 为压性正断层; ④—中期断裂  $f_2$ , 明显切断岩层及早期断裂, 为压性逆断层; ⑤—晚期断裂  $f_3$ , 断裂面呈波状, 沿裂面充填有方解石细脉, 断续呈透镜体状产出, 为张性正断层

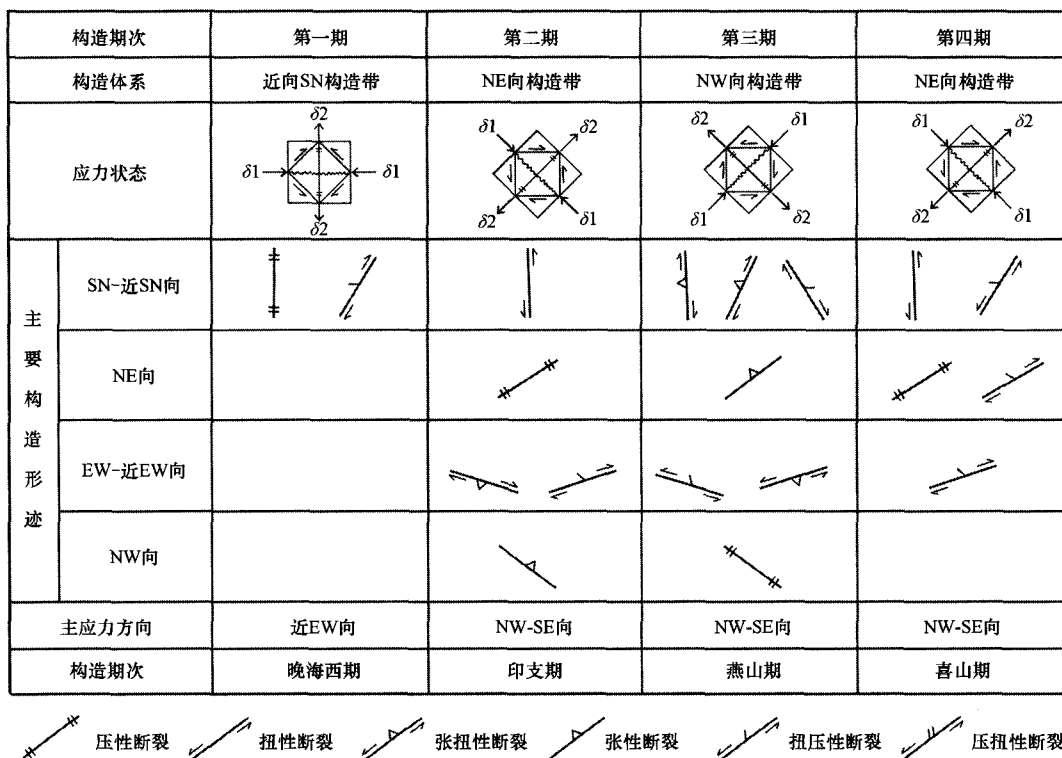


图6 羊拉铜矿床不同时期断裂构造体系示意图

### 3 构造控矿模式

#### 3.1 构造控矿规律

羊拉铜矿区构造对成矿的控制作用主要表现在6个方面:

(1) 区域构造对成岩、成矿带的控制,南北向大断裂控制着金沙江基性、超基性岩带、加仁—贝吾花岗岩带、浅成—超浅成酸性斑岩带、奔子栏—羊拉火山岩带、拱卡蛇绿混杂岩带等5大南北向岩浆岩带及其相关矿产的空间分布。

(2) 矿区范围内北东向断裂控制着矿段的分布,羊拉铜矿区范围内一组近平行的北东向“入”字型断裂将矿体和岩体错断,在空间上形成贝吾、尼吕、江边、里农、路农、通吉格和加仁等7个矿段。

(3) 层间断裂构造控制着层状夕卡岩和层状矿体的形态,羊拉铜矿区层间断裂构造分布较多,大多为向西倾的缓倾断裂,在里农矿段深部产状变陡。里农矿段的里农组一段( $D_{2+3}l^1$ )与里农组二段( $D_{2+3}l^2$ )、里农组二段( $D_{2+3}l^2$ )与里农组三段( $D_{2+3}l^3$ )之间均为层间断裂接触关系,且分布较为稳定,

产出有KT2层状主矿体;由于受后期构造活动影响,层间断裂内发育强烈的褐铁矿化、孔雀石化。江边矿段层间断裂通常规模较小,宽度一般小于20cm,裂面多呈波状起伏,褐铁矿化强烈,偶见孔雀石化。印支期中酸性岩浆的大规模侵入,层间断裂构造则为岩浆热液流体运移提供了有利的通道和空间,岩浆热液流体在层间断裂内运移并发生强烈的接触交代作用,形成层状夕卡岩型矿体(KT2矿体)。

(4) 岩体侵入接触构造控制着接触带附近夕卡岩型矿体的形态,羊拉铜矿区内中—酸性岩体出露面积大,岩体总体向西倾伏。羊拉铜矿区主要矿体基本分布于岩体的西接触带,靠近岩体的KT5、KT6矿体的形态明显地受到岩体与围岩的接触带形态的控制。

(5) 岩体内裂隙构造控制着脉状矿体的形态,在岩体的顶部和边部发育一些裂隙构造,裂隙内通常充填有石英脉,并具有黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿等矿化。

(6) 后期北东、北西向断裂构造控制着矿体的空间定位,在里农矿段的深部,北东、北西向成矿后断裂构造极其发育,北东向断裂具右行正断层性质,



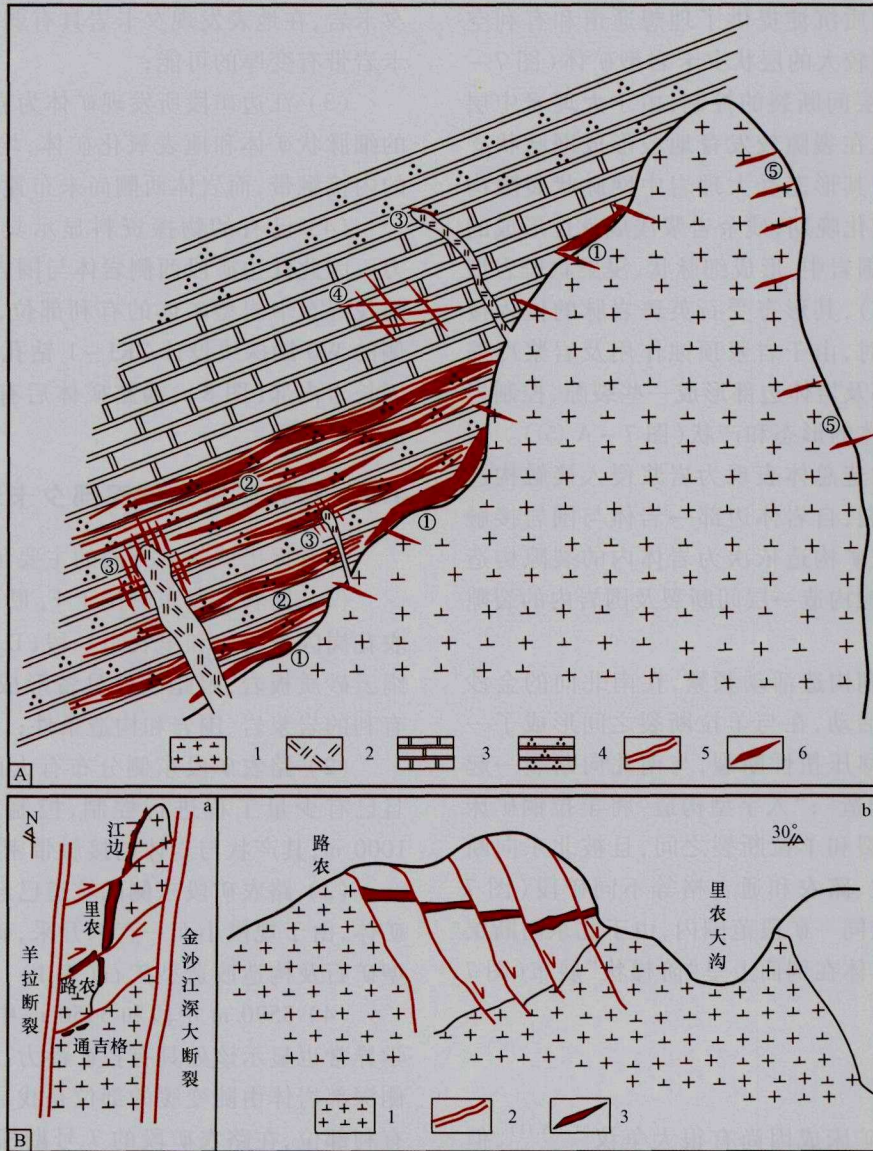


图7 羊拉铜矿床构造控矿模式简图

A—“岩浆侵入接触构造+层间断裂”控矿模式:①—沿岩体接触带产出的夕卡岩型矿体,形态受接触构造控制;②—沿层间断裂产出的层状夕卡岩型矿体,形态受层间断裂控制;③—石英斑岩旁侧产出的细脉状、浸染状斑岩型矿体,形态受接触构造形态控制;④—沿大理岩裂隙产出的网状状矿体,形态受网脉状裂隙控制;⑤—沿岩体边缘裂隙产出的细脉状矿体,形态受岩体内部裂隙构造控制;1—印支期花岗闪长岩;2—石英斑岩;3—泥盆系里农组大理岩;4—泥盆系里农夕卡岩化变质石英砂岩、绢云砂质板岩;5—层间断裂;6—铜矿体;B—“入字型构造+阶梯状构造”控矿模式:1—印支期花岗闪长岩;2—深大断裂及矿区断裂;3—铜矿体;a—平面;b—剖面

北西向断裂也具正断层性质,两者的共同作用使得矿体的空间形态异常复杂。

### 3.2 构造控矿模式

总结羊拉铜矿区存在两套构造控矿模式<sup>[19]</sup>:印支期“岩浆侵入接触构造+层间断裂”(图7-A),燕

山—喜山期“入字型构造+阶梯状构造”(图7-B)。

印支期花岗闪长岩侵入到围岩碳酸盐岩、钙质碎屑岩内,沿接触带产状由陡变缓或凹陷等有利空间形成夕卡岩型矿体(图7-A ①),其形态受侵入接触构造形态的控制;由于钙质碎屑岩中(绢云砂质板岩、变质石英砂岩)层间断裂发育,为岩浆气成

热液运移、成矿物质沉淀提供了理想通道和有利空间,因而形成规模较大的层状夕卡岩型矿体(图7-A②),其形态受层间断裂的控制;由于大理岩中层间断裂不发育,仅在裂隙较发育地段形成网脉状矿体(图7-A④),其形态受大理岩中网脉状裂隙构造控制;在岩浆演化晚期,残余岩浆浅成就位形成的石英斑岩侵入到围岩中,形成细脉状、浸染状斑岩型矿体(图7-A③),其形态受石英斑岩脉的侵入接触形态控制。同时,由于岩浆顶蚀作用及岩浆冷缩作用,在岩体顶部及岩体边部形成一些裂隙,控制岩体内细脉状矿化体的形态和产状(图7-A⑤)。因此,印支期控矿构造总体表现为岩浆侵入接触构造和早期的层间断裂,自岩体边部→岩体与围岩接触带→围岩地层,控矿构造依次为岩体内的裂隙构造→岩体与围岩接触构造→层间断裂及围岩内的裂隙构造。

燕山—喜山期构造活动频繁,在南北向的金沙江深大断裂再次活动,在与羊拉断裂之间形成了一组北东向右行平移压扭性断裂,与南北向断裂一起组成了“入字型构造”;“入字型构造”将羊拉铜矿床局限在金沙江断裂和羊拉断裂之间,且被北东向断裂分成江边、里农、路农和通吉格等不同矿段(图7-B a)。同时,在同一矿段范围内,由于北东向断层具正断层性质,矿体在剖面上呈“阶梯状”展布(图7-B b)。

## 4 找矿预测

羊拉铜矿床成因尚有很大争议<sup>[1,3,5,11]</sup>,但多因复合的成因观点普遍被大家所接受,作者总结其成矿模式为“热水沉积—岩浆热液成矿—构造热液改造”<sup>[18]</sup>。基于对羊拉铜矿床成矿模式和地质事实的认识,本文提出3个找矿靶区(图8)。

### 4.1 江边矿段西侧夕卡岩型矿体的勘查

中国有色金属工业昆明勘察设计研究院已在江边矿段开展了1:2000的地质填图工作和物探工作,预测依据主要有:

(1) 江边矿段岩体西侧的围岩为泥盆系中上统里农组变质石英砂岩、大理岩、砂板岩,具备形成夕卡岩型矿体的有利的岩浆岩和围岩条件,岩体产状变化的部位是找矿的有利空间;

(2) 在岩体与围岩的接触部位存在厚度不等的

夕卡岩,在地表发现夕卡岩具有弱孔雀石化,深部夕卡岩带有变厚的可能;

(3) 江边矿段所发现矿体为岩体内沿裂隙充填的细脉状矿体和地表氧化矿体,均出于岩体东侧的内接触带,而岩体西侧尚未布置勘探工程;

(4) 已有的物探资料显示具有较好的找矿潜力。因此江边矿段西侧岩体与围岩接触带的深部也是找寻夕卡岩型矿体的有利部位,故在江边矿段西侧的W0勘探线设计ZKJ-1钻孔410 m,钻至花岗闪长岩内部(图8),揭露矿体后有望打开江边矿段的找矿局面。

### 4.2 路农矿段东侧深部夕卡岩型矿体的勘查

作者提出该找矿方向的主要预测依据为:

(1) 路农矿段东侧位于F<sub>4</sub>断裂的下盘,出露路农花岗闪长岩体和里农组一段(D<sub>2+3</sub><sup>l</sup>)的夕卡岩化绢云砂质板岩,因此该处具备形成夕卡岩型矿体的有利的岩浆岩、围岩和构造条件;

(2) 路农矿段东侧分布有大面积的夕卡岩带,且已有少量工程进行控制,控制夕卡岩带长度约1000 m,其产状与岩体的接触带密切相关;

(3) 路农矿段东侧的坑道已经揭露到夕卡岩型矿体,由于规模小而一直未开采,矿石类型为夕卡岩型矿石及构造改造型矿石(表1);

(4) 3590 m中段和3450 m中段的构造地球化学异常也显示该处具有找矿潜力。因而路农矿段东侧深部岩体由陡变缓的部位是找寻夕卡岩型矿体的有利部位,在路农矿段的7号勘探线设计施工ZKL-1下斜孔185 m,揭露到矿体后,继续在19号勘探线施工ZKL-2下斜孔100 m,并对矿体进行加密控制(图8)。同时,建议矿山企业自3450 m中段向南实施沿脉工程,并辅以1~3条穿脉工程,对路农矿段东矿体进行控制<sup>[21]</sup>。另由于路农矿段的西侧接触带亦具有有利的岩浆岩、围岩和构造条件以及明显的物探异常,建议矿山在该区带开展地表填图工作,为后期的矿区外围找矿勘探提供方向。

### 4.3 里农西侧深部斑岩型铜矿的勘查

里农矿段西侧存在规模不大的里农斑岩体(出露面积约0.01 km<sup>2</sup>)<sup>[20]</sup>,因出露面积较小和地表山高坡陡而未引起研究者的足够重视;作者在地表填图过程中重新找到了该斑岩体,为羊拉铜矿床深部

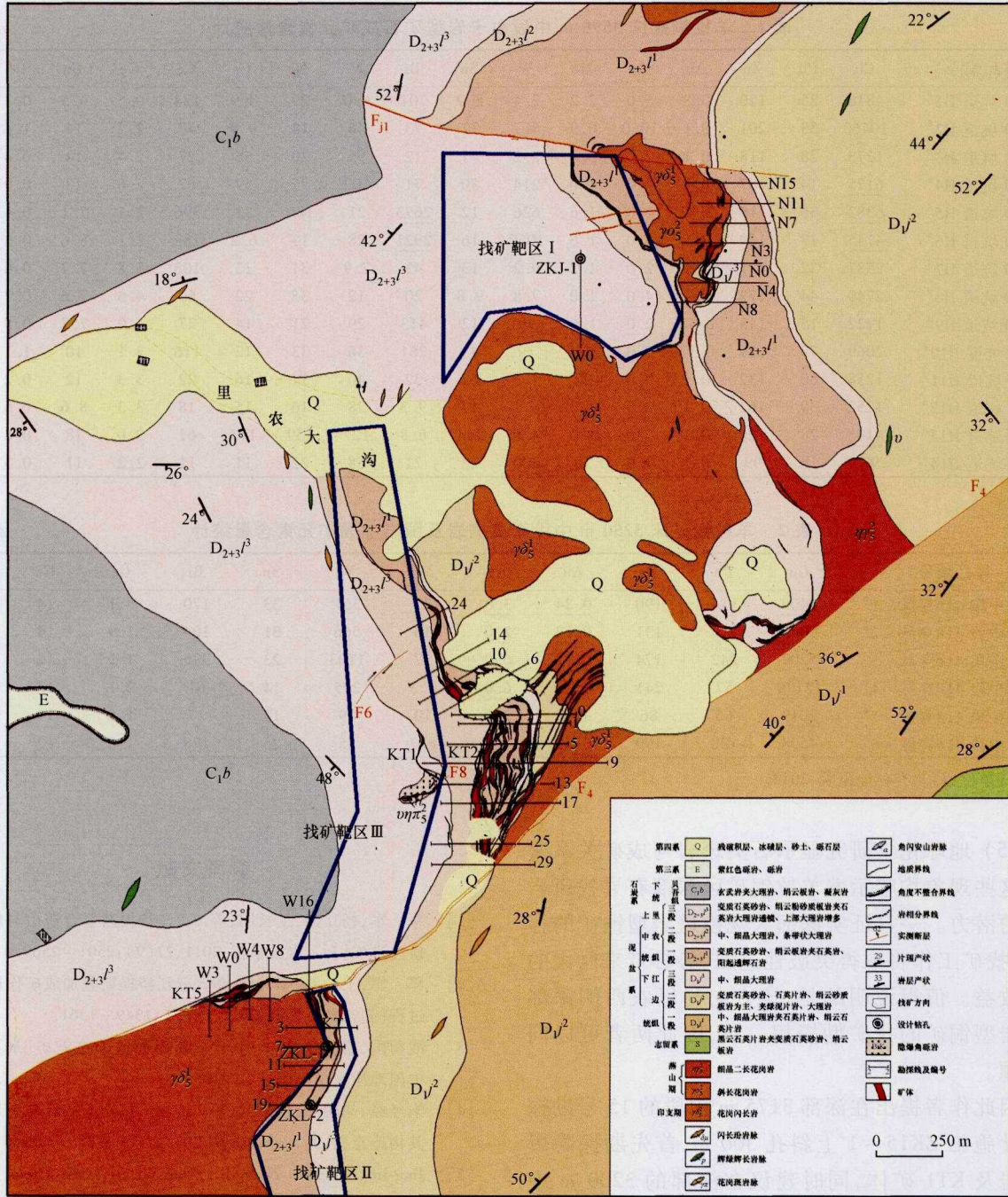


图8 羊拉铜矿床成矿预测图(底图据云南省地质院,2004)

预测提供了一个重要的找矿靶区,其预测依据主要有:

(1) 目前矿区深部的3275 m中段和3250 m中段均已揭露到不同规模的石英二长斑岩脉,从而有力地证实了矿区深部存在石英斑岩;

(2) 笔者(未公布资料)获得羊拉铜矿区地表和深部的石英斑岩成岩年龄为228~234 Ma<sup>[18]</sup>,与

花岗闪长岩的成岩年龄基本一致,与羊拉铜矿床的辉钼矿 Re-Os 同位素年龄高度一致<sup>[7,11,13]</sup>;

(3) 斑岩顶部发育方解石-石英脉,具有浸染状和细脉状黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿化;

(4) 3250 m中段的石英斑岩及其附近围岩中 Cu 含量 0.20%~1.22%,且 Au、Ag 元素均达到伴生工业品位(表2);

表1 羊拉铜矿床3590 m中段夕卡岩型矿石成矿元素含量统计

 $\omega_B/10^{-6}$ 

样品编号	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	Mo	W	Sn	Bi	V	Ni	Cr	Co	Ge	Ga	Cd	In
3590 坑道 H1 <sup>#</sup>	4818	25	120	0.8	5.0	2.2	2.4	8.9	701	6.0	29	3.9	124	0.5	4.5	0.7	0.7
3590 坑道 H2 <sup>#</sup>	10460	33	201	0.1	10.0	0.9	5.7	32	73	46	18	9.0	47	2.2	14	1.4	1.6
3590 坑道 H3 <sup>#</sup>	1273	28	118	0.1	2.0	3.4	2.2	41	12	95	20	56	27	2.4	14	0.4	0.7
3590 坑道 H4 <sup>#</sup>	6175	14	187	0.1	6.0	1.0	214	30	71	102	77	57	67	2.6	13	0.9	0.9
3590 坑道 H5 <sup>#</sup>	6382	36	112	2.81	4.0	1.6	626	12	2673	21	180	32	396	2.1	7.1	0.4	0.9
3590 坑道 H6 <sup>#</sup>	4745	17	119	3.5	4.0	1.6	1050	16	2921	28	17	6.2	188	3.1	8.6	0.3	0.7
3590 坑道 H7 <sup>#</sup>	2587	32	151	0.1	2.0	1.2	9.2	13	43	7.9	31	13	108	3.8	7.7	0.6	0.6
3590 坑道 H8 <sup>#</sup>	2740	44	172	0.1	4.0	1.0	7.8	9.8	20	12	35	22	69	4.5	7.6	0.7	0.6
3590 坑道 H9 <sup>#</sup>	1722	15	143	0.48	2.0	1.6	99	12	413	29	21	14	27	4.0	7.7	0.5	0.6
3590 坑道 H10 <sup>#</sup>	2069	79	189	0.13	2.0	2.7	19	43	261	36	33	12	116	3.1	10	1.1	0.9
3590 坑道 H11 <sup>#</sup>	1258	60	132	0.1	3.0	22	7.3	62	32	40	17	16	22	3.3	12	0.2	1.0
3590 坑道 H12 <sup>#</sup>	1252	39	162	0.1	2.0	1.2	4.1	17	9.3	28	16	15	18	3.3	8.6	0.6	0.6
3590 坑道 H13 <sup>#</sup>	4148	28	126	0.1	7.0	1.0	4.8	144	6.8	127	139	143	61	2.0	18	0.8	1.4
3590 坑道 H14 <sup>#</sup>	973	18	99	0.1	2.0	30	300	28	21	58	22	11	11	2.2	11	0.3	0.5

表2 羊拉铜矿床3250 m中段石英斑岩及围岩中成矿元素含量统计

 $\omega_B/10^{-6}$ 

样品编号	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	Mo	W	Sn	Bi	Ge	Ga	Cd
3250 中段 41#穿脉-1 <sup>#</sup>	8409	114	190	0.24	3.0	22	351	33	170	3.1	14	0.8
3250 中段 41#穿脉-2 <sup>#</sup>	5045	63	131	0.12	2.0	16	566	31	104	1.9	14	0.7
3250 中段 41#穿脉-3 <sup>#</sup>	5209	242	174	0.32	6.0	17	1103	23	375	1.9	12	1.0
3250 中段 41#穿脉-4 <sup>#</sup>	12170	57	241	0.12	6.0	3.3	295	14	61	2.1	13	1.6
3250 中段 41#穿脉-5 <sup>#</sup>	2019	66	86	0.1	2.0	10	79	14	27	1.5	14	0.8
3250 中段 41#穿脉-6 <sup>#</sup>	4508	138	199	0.31	4.0	8.7	85	25	178	1.8	12	1.2

测试单位:西北有色地研院,2013。

(5) 地球化学研究显示石英斑岩与成矿关系密切。这些现象均暗示着羊拉铜矿区深部有寻找斑岩铜矿的潜力。一旦证实深部大规模斑岩型铜矿的存在,其找矿工作将取得突破性进展,势必带来巨大的经济效益。值得说明的是,该方向与里农西侧深部夕卡岩型铜矿的找矿勘探相一致,因此两者可以同时兼顾。

因此作者提出在深部3175 m中段的15号勘探线设计施工ZK15-1上斜孔300 m,首先勘探隐爆角砾岩及KT1矿体,同时建议在深部的3200 m中段、3175 m中段进行工程探矿<sup>[21]</sup>(注:已被列入羊拉铜矿床2014年地质勘查计划),并重点开展这两个中段的坑道地质—地球化学填图工作,特别加强对深部石英斑岩找矿信息的综合研究;该靶区对实现羊拉铜矿资源突破,起到关键作用。

**致谢** 在野外工作及成文过程中,笔者得到了羊拉铜矿床和中国有色金属工业昆明勘察设计院地质技术人员的大力支持和帮助,在此一并致谢!

## 参考文献

- [1] 邓军,杨立强,王长明,等.三江特提斯复合造山与成矿作用研究进展[J].岩石学报,2011,27(9):2501-2509.
- [2] 邓军,王长明,李龚健,等.三江特提斯叠加成矿作用样式及过程[J].岩石学报,2012,28(5):1349-1361.
- [3] 战明国,路远发,陈式房,等.滇西德钦羊拉铜矿[M].武汉:中国地质大学出版社,1998.
- [4] 朱经经,胡瑞忠,毕献武,等.滇西羊拉铜矿矿区花岗岩成因及其构造意义[J].岩石学报,2011,27(9):2553-2566.
- [5] Jing-Jing Zhu, Rui-Zhong Hu, Xian-Wu Bi, et al. Zircon U-Pb ages, Hf-O isotopes and whole Sr-Nd-Pb isotopic geochemistry of granitoids in the Jinshajiang suture zone, SW China: Constraints on petrogenesis and tectonic evolution of the Paleo-Tethys Ocean [J]. Lithos, 2011, 126(3): 248-264.
- [6] 王彦斌,韩娟,曾普胜,等.云南德钦羊拉大型铜矿区花岗岩闪长岩的锆石U-Pb年龄、Hf同位素特征及其地质意义[J].岩石学报,2010,27(9):2501-2509.
- [7] 杨喜安,刘家军,韩思宇,等.云南羊拉铜矿床里农花岗岩闪长岩体锆石U-Pb年龄、矿体辉钼矿Re-Os年龄及其地质意义[J].岩石学报,2011,27(9):2567-2576.
- [8] 高睿,肖龙,何琦,等.滇西维西—德钦花岗岩年代学、

- 地球化学和岩石成因[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2010,35(2): 186-200.
- [9] 朱俊,李文昌,曾普胜,等. 滇西北羊拉矿区基性岩地球化学特征及构造意义[J]. 地质与勘探,2010,46(5): 899-909.
- [10] Pan J Y, Zhang Q, Ma D S, et al. Cherts from the Yangla copper deposit, western Yunnan Province: Geochemical characteristics and relationship with massive sulfide mineralization [J]. Science in China (Series D), 2001, 44(3): 237-244.
- [11] 李文昌,潘桂棠,侯增谦,等. 西南“三江”多岛孤盆—碰撞造山成矿理论与勘查技术[M]. 北京:地质出版社,2010:232-238.
- [12] Xian Yang, Jiajun Liu, Degao Zhai, et al. Geochemistry of the Yangla volcanic rocks and its relationship to Cu mineralization in the Yangla copper deposit, western Yunnan, China[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2012: 243-244, 38-44.
- [13] Xi-An Yang, Jia-Jun Liu, Ye Cao, et al. Geochemistry and S, Pb isotope of the Yangla copper deposit, western Yunnan, China: Implication for ore genesis [J]. Lithos, 2012, (144): 231-240.
- [14] 甘金木,战明国,余凤鸣,等. 滇西德钦羊拉铜矿区构造变形特征及其控矿作用分析[J]. 华南地质与矿产, 1998, (4): 59-65.
- [15] 余凤鸣,战明国,甘金木,等. 滇西羊拉大型铜矿床石英构造岩微观构造与动力学分析[J]. 中国区域地质, 2000, 19(1): 92-100.
- [16] 林仕良,王立全. 云南德钦羊拉铜矿床构造特征[J]. 沉积与特提斯地质, 2004, 24(3): 48-51.
- [17] 杨喜安,刘家军,韩思宇,等. 滇西羊拉铜矿床、鲁春铜铅锌矿床构造控矿特征[J]. 大地构造与成矿学, 2012, 36(2): 248-258.
- [18] 李波. 滇西北羊拉铜矿床地球化学及找矿预测[R]. 云南铜业(集团)有限公司:博士后出站报告, 2013.
- [19] 李波,邹国富,黄智龙,等. 滇西北羊拉铜矿床研究中的几个问题[J]. 矿物学报, 2013, 33(4): 676-680.
- [20] 云南省地质调查院. 云南省德钦县羊拉铜矿地质勘探报告[R]. 2004.
- [21] 李波,黄智龙,邹国富. 羊拉铜矿深部和外围成矿规律及增储研究[R]. 云南铜业(集团)有限公司, 2014.

## Fault structure, ore – controlling structural model and prospecting prediction of Yangla copper deposit, northwestern Yunnan

LI Bo<sup>1,2,3</sup>, ZOU Guo-fu<sup>1</sup>, WEN Shu-ming<sup>2</sup>, HUANG Zhi-long<sup>3</sup>, TANG Guo<sup>1</sup>,  
LIU Yue-dong<sup>4</sup>, SHENG Rui<sup>5</sup>

(1. Kunming Prospecting Design Institute of China Non-ferrous Metals Industry, Kunming 65051;

2. Faculty of Land and Mineral Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093;

3. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002;

4. Yunnan Diqing Mining Co., Ltd. Shangrila 674400;

5. Huaneng Lancang River Hydropower Development Co. Ltd., Kunming 650214)

**Abstract:** The Yangla large copper deposit located in Deqin county, northwestern Yunnan, is the largest scale copper deposit in the Jinshajiang metallogenic belt. Based on summarization of geological characteristics of the Yangla copper deposit, this paper studies the fault structure and ore – controlling structural model, then the prospecting prediction is carried out. The tectonic analysis results show that the tectonic system within Yangla copper deposit can be divided into three groups of systems, i. e., near SN – trending tectonic belt, NE – trending tectonic belt and NW – trending tectonic belt, which indicate that the Yangla copper deposit has experienced four stages of tectonic movements which are correspondent to late Hercynian, Indo – Sinian epoch, Yanshanian and Himalayan movement respectively. The study has summarized Two types of ore – controlling structural models, i. e., “contact structure between magmatic intrusive and country rock and interlayer fault” model of Indo – Sinian epoch and “λ type structure style and latter – type structure” of Yanshanian and Himalayan epoches. Meanwhile, according to the metallogenic model and geological facts, three important prospecting targeting areas were proposed for the further exploration, i. e., skarn – type copper orebodies in the western part of the Jiangbian oresection, skarn – type copper orebodies in the depth of eastern Lunong oresection, and porphyrytype copper orebodies in the depth of western Linong oresection. The corresponding exploration plan and design have also been put forward in this paper.

**Key words:** fault structure; ore – controlling structural model; prospecting prediction; Yangla copper deposit; northwestern Yunnan