

doi: 10.12029/gc20190111

郭泽华, 王雷, 韩润生, 陈兴林, 白龙安. 2019. 滇西云县红豆山铜矿构造地球化学特征及找矿预测[J]. 中国地质, 46(1): 178–190.

Guo Zehua, Wang Lei, Han Runsheng, Chen Xinglin, Bai Longan. 2019. Tectonic geochemical characteristics and ore prediction in Hongdoushan copper deposit, Yunxian area, Western Yunnan[J]. Geology in China, 46(1): 178–190(in Chinese with English abstract).

## 滇西云县红豆山铜矿构造地球化学特征及找矿预测

郭泽华<sup>1,2</sup>, 王雷<sup>1</sup>, 韩润生<sup>1</sup>, 陈兴林<sup>1</sup>, 白龙安<sup>3</sup>

(1. 昆明理工大学有色金属矿产地质调查中心西南地质调查所, 云南 昆明 650093; 2. 中煤集团大屯煤电有限公司, 江苏 沛县 221611; 3. 北京华煜升矿业投资有限公司, 云南 云县 675800)

**摘要:** 文章系统总结了南澜沧江火山弧成矿带成矿条件和红豆山矿区地质特征, 以 1272、1220 中段为研究对象, 开展了构造地球化学研究。依据构造岩样品采集分析数据, 应用 R 型聚类分析、因子分析圈定矿化元素组合异常, 发现该异常分布在矿区 NE 向 F<sub>1</sub> 断裂和 NWW—近 EW 向 F<sub>3</sub> 断裂控制的蚀变岩中, 由断裂→围岩依次出现高温→低温的异常分带现象, 指示成矿流体的运移方向、矿体产状信息, 为深部找矿预测提供了重要依据; 通过构造控矿规律和构造地球化学研究, 预测了 NE 向矿体产状及其深部延伸情况, 在 1272 中段圈定了 NWW—近 EW 向断裂控制的矿体, 预测了矿体的产状及深部延伸情况, 经工程验证在异常分布区及深部预测靶区取得较好找矿效果; 圈定预测铜矿体且向深部延伸稳定, 资源量约 5 万 t, 受构造控制的岩浆热液型矿体有达中型铜矿的前景。

**关键词:** 云县红豆山铜矿; 南澜沧江成矿带; 构造地球化学; 成矿预测

中图分类号: P618.41; P622<sup>+</sup>.3 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2019)01-0178-13

## Tectonic geochemical characteristics and ore prediction in Hongdoushan copper deposit, Yunxian area, Western Yunnan

GUO Zehua<sup>1,2</sup>, WANG Lei<sup>1</sup>, HAN Runsheng<sup>1</sup>, CHEN Xinglin<sup>1</sup>, BAI Longan<sup>3</sup>

(1. Kunming University of Science and Technology, Southwest China Geological Survey, Geological Survey Center for Non-ferrous Mineral Resources, Kunming 650093, Yunnan, China; 2. Datun Coal Electricity Corp of China Coal Energy Group, Peixian 221611, Jiangsu, China; 3. Beijing Huayusheng Minerals Investment Co., Ltd., Yunxian 675800, Yunnan, China)

**Abstract:** This paper systematically summarizes the mineralization conditions of the volcanic arc metallogenic belt in southern Lancang River and the geological features of the Hongdoushan ore district. The authors studied the tectonic geochemistry at 1272 and 1220 level. On the basis of the analysis of the data collected from tectonic rock samples and by means of R-type cluster analysis and factor analysis, the authors delineated combinational anomalies of mineralization elements. The authors found that the distribution of anomalies in the altered rock is controlled by NE-trending F<sub>1</sub> fracture and NWW-EW-trending F<sub>3</sub> fracture in the

收稿日期: 2017-11-15; 改回日期: 2018-05-21

基金项目: 国家自然科学基金(41762010、41202069)、云南省科技计划面上基金项目(2014FB122)、校企合作项目(20130039)、云南省矿产资源预测评价工程实验室(2010)及省、校创新团队项目(2012、2009)资助。

作者简介: 郭泽华, 男, 1992年生, 硕士生, 地质工程专业; E-mail: 903065518@qq.com。

通讯作者: 王雷, 男, 1983年生, 博士, 副教授, 矿床学与找矿预测研究方向; 120901163@qq.com。

mining area. The zonation of high temperature and low temperature anomalies occur successively from fracture to surrounding rock, indicating the direction of fluid migration as well as the information of orebodies and provided evidence for deep ore prediction. Through the researches on structural ore-controlling regularity and tectonic geochemistry, the authors found the occurrence and deep extension of the NE-trending orebody, delineated the orebodies controlled by NWW- and nearly EW-trending fractures at the 1272 level. Field work demonstrated favorable ore-prospecting areas in the anomaly distribution zone and deep prediction target area, the copper orebody was delineated and predicted, which extends stably to the depth. The authors estimate that the resource reserves are about 50,000 tons. The magmatic hydrothermal orebody controlled by tectonics has the prospect of reaching the medium copper deposit.

**Key words:** Yunxian Hongdoushan copper deposit; South Lancang River belt; tectonic geochemistry; metallogenic prediction

About the first author: GUO Zehua, male, born in 1992, master candidate, majors in mineral exploration and exploration; E-mail: 903065518@qq.com.

**About the corresponding author:** WANG Lei, male, born in 1983, doctor, associate professor, major in the study of ore deposit and metallogenic prediction; E-mail: 120901163@qq.com.

**Fund support:** Supported by National Natural Science Foundation (No.41762010, 41202069), Science and Technology Plan Foundation Projects in Yunnan Province (No. 2014FB122), School Enterprise Cooperation Project (No. 20130039), Projects for Yunnan Engineering Laboratory of Mineral Resources Prediction and Evaluation (YM lab) (2010) and Yunnan, school Innovation Team(2009,2012).

## 1 引言

南澜沧江火山弧属于中国“三江”构造岩浆带 (Heppe, 2007), 为全球特提斯成矿域的一部分 (Shen et al., 2007; Deng et al., 2014)。莫宣学等 (1998)、李兴振等 (1999) 在该区进行了大量研究, 认为该区是中国极具找矿潜力的重要成矿远景区。赵大升等 (1994)、Feng et al. (2002)、张彩华 (2007)、刘德利 (2009) 研究认为火山岩沿澜沧江河谷两岸分布, 形成于漫长的地质历史时期, 主要有元古宙、石炭纪、二叠纪和三叠纪火山岩。伴随火山岩浆喷溢, 从深部带来了大量有用元素, 在火山岩中形成了众多矿床(点), 其中以大平掌 (李峰等, 2003; Zhu et al., 2016)、三达山、民乐 (徐晓春等, 2004; 李学军, 2009; 朱维光, 2011)、文玉 (Yang et al., 2015)、官房 (张彩华等, 2012; 陈莉等, 2013) 等铜多金属矿床最具代表性, 它们分别形成于不同构造环境的火山活动中, 从早到晚, 总体是从岛弧中心向大陆边缘, 甚至向板内裂谷转移 (刘本培等, 2002)。环境不同, 因而成矿作用各有其特点 (Hu et al., 2004; Hou et al., 2007; 邓军等, 2014), 这在西南三江构造-岩浆带十分少见, 对该带的深入研究有助于扩大区域找矿远景 (Deng et al., 2014)。该成矿带西侧发育临沧花岗岩复合岩体, 彭头平等 (2006)

研究表明, 临沧花岗岩由二叠纪花岗闪长岩、中三叠世二长花岗岩、部分燕山期花岗岩 (补体) 所构成的一个巨型复式岩基。孔会磊等 (2012) 研究认为临沧花岗岩岩石类型主要为黑云母二长花岗岩, 地球化学研究结果表明, 其岩性为高钾钙碱性过铝-强过铝花岗岩。岩石总体上富集大离子亲石元素和 Pb, 明显亏损高场强元素, 并具有轻稀土富集, 重稀土亏损的特征。同时, 该成矿带发现红豆山、果园 (李光军等, 2013)、糯伍等多个矿床和矿点 (李喆等, 2017)。红豆山深部断裂带中发现的隐伏斑岩, 王磊等 (2017) 认为该斑岩属于过铝质钾玄岩性 S 型花岗岩,  $\text{SiO}_2$  含量为 71.1%~74.4%, 全碱含量高 ( $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 8.4\% \sim 9.4\%$ ), 富钾 ( $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 3.9 \sim 5.0$ ), 铝饱和指数 (A/CNK) 为 1.06~1.21; 具轻稀土元素富集特征, 负 Eu 异常 ( $\delta\text{Eu} = 0.53 \sim 0.74$ ); 相对富集大离子亲石元素 (LILE, 如 Rb、Ba、Th、U 等), 但亏损 Sr、P、Ti 等元素。地球化学特征表明, 红豆山碱性斑岩具火山弧花岗岩与同碰撞花岗岩的特征, 为活动大陆边缘弧的产物。红豆山碱性斑岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $(220.3 \pm 3.6)\text{Ma}$ , 形成于晚三叠世。红豆山铜矿床构造地球化学研究为该矿床深部找矿预测提供了找矿方向, 取得了较好找矿效果, 得到了深部钻孔和坑道工程验证, 对该成矿区带找矿预测具有重要意义。

## 2 矿区地质特征

红豆山铜矿床地处南澜沧江火山弧北段,夹持于临沧花岗岩基与澜沧江深大断裂之间,是澜沧江洋板块和思茅地块俯冲碰撞的聚合地区(范蔚茗等, 2009; Fan et al., 2015)(图1)。地理位置位于临沧市云县县城156°方向,直线距离约38 km处。本区的构造格架自西向东依次为昌宁—孟连晚古生代洋脊/准洋脊玄武岩(胡元邦等, 2016)、蛇绿混杂岩带、印支期(Zi et al., 2012)临沧复式花岗岩基和南澜

沧江二叠纪—三叠纪弧火山岩带(Peng et al., 2008; 王硕等, 2012)。红豆山铜矿赋存于中晚三叠世形成的高钾火山岩系中的断裂蚀变带中(Wang et al., 2010)。

矿区出露地层为上三叠统小定西组( $T_{3x}$ )中—基性火山岩。

区域断裂构造发育,以近南北向为主(澜沧江断裂、拿鱼河断裂),澜沧江断裂为一多期活动控制区域内沉积作用和岩浆活动的深大断裂,也是区域内重要的控矿构造。拿鱼河断裂是平行澜沧江断

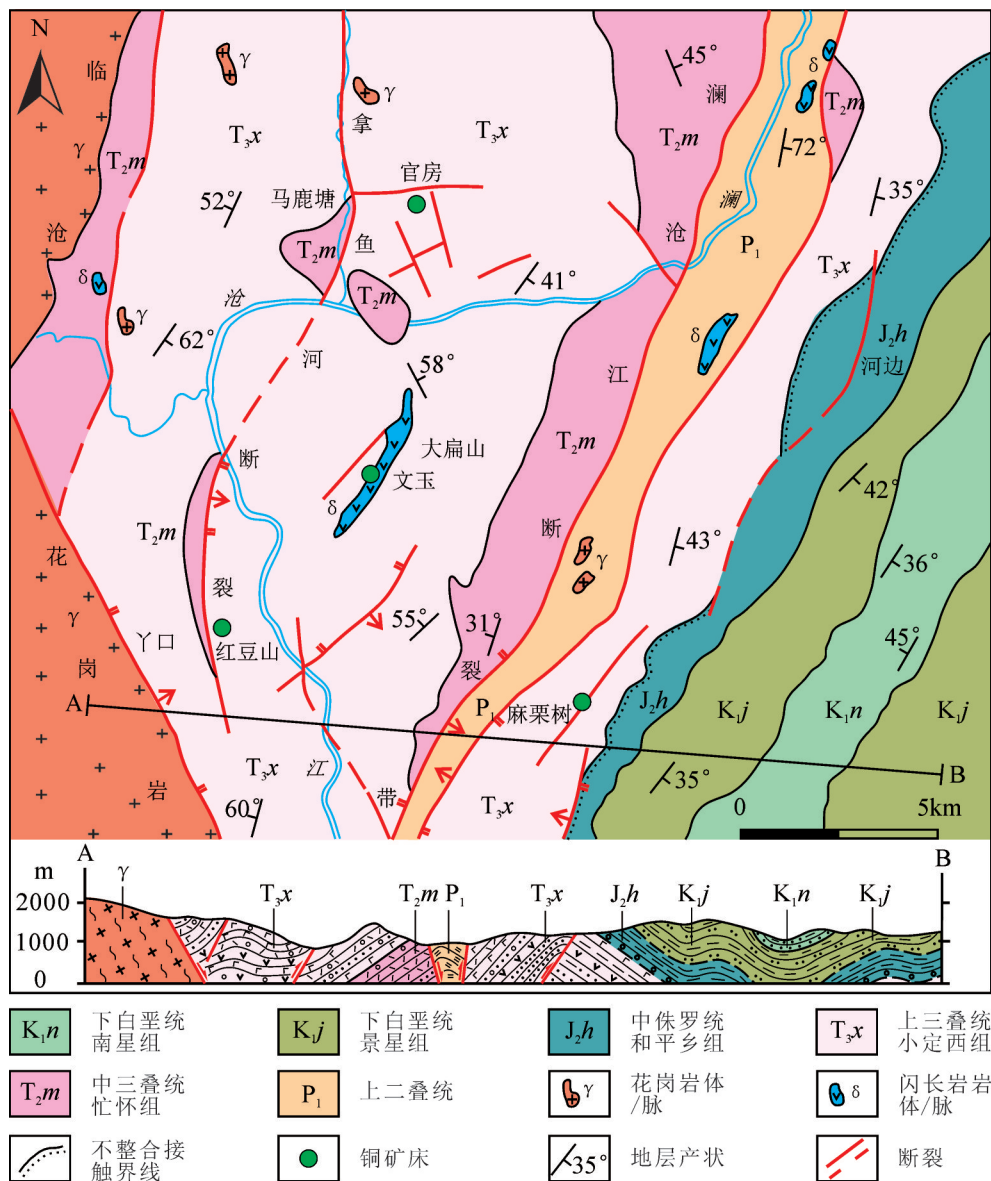


图1 滇西红豆山铜矿床区域地质图(据1:20万景东—景谷幅<sup>●●</sup>修改,1977,1983)

Fig.1 Geological map of Hongdoushan copper deposit in western Yunnan

裂的次级断裂,倾向东,倾角 $50^{\circ} \sim 75^{\circ}$ ,属压性断裂,断裂带宽为150~500 m,以具挤压滑动镜面的压碎角砾岩片理化带为特征。其次,NE向和近EW向断裂较为发育。受澜沧江断裂和拿鱼河断裂的夹持和可能存在的隐伏岩体侵位的影响,红豆山铜矿瘴气塘矿段断裂构造十分发育,与成矿关系极为密切,按照走向可分为SN向、NE向、NWW向和近EW向,具有(多个)环形和放射状的特点,地表构造-蚀变矿化带多分布在NE向断裂带及其上盘围岩、多条断裂(NE向与近EW向,NE向与NNE向)交汇部位,NE向 $F_1$ 断裂带延长大于500 m,宽10~30 m,控制了矿床分布的主要构造-蚀变矿化带,深部钻孔揭露的斑岩脉延长方向也为NE向(图2)。

区内岩浆活动频繁,除火山岩外,在矿区内发育多个中酸性侵入岩(脉),多为隐伏岩(脉)体,岩体形成时代不明(罗亮等,2018;杨兵,2018),结合区域资料初步推测为印支-燕山期,空间分布上常产于小定西组火山岩内,呈侵入接触关系,主要岩

体为闪长玢岩、石英斑岩、斜长斑岩和花岗斑岩,红豆山铜矿坑道揭露的斑岩为碱性斑岩,与成矿关系密切。

### 3 矿床地质特征

#### 3.1 矿体特征

红豆山铜矿床矿体主要赋存于NE向和NWW—EW向断裂破碎蚀变带和上盘围岩沿裂隙发育的蚀变带中,呈脉状,透镜状,NE走向矿体向SE倾,SW侧伏,近EW走向矿体向S倾,在两个断裂交汇位置具有加富增厚趋势(图2),深部向S部延伸。已揭露NE向矿体在1272中段由1线延伸至15线(0-6线已剥蚀)(图4);1220中段由2线延伸至17线,延长 $> 600$  m(图5),根据对NE向控矿断裂力学性质鉴定和断裂带控矿特征研究,认为矿体延深 $>$ 延长,已有工程揭露延深达100 m,且蚀变带和矿(化)体逐渐变宽,矿体品位逐渐变富,矿(化)体局部达50 m宽,1272中段可达到工业矿体最厚20 m,

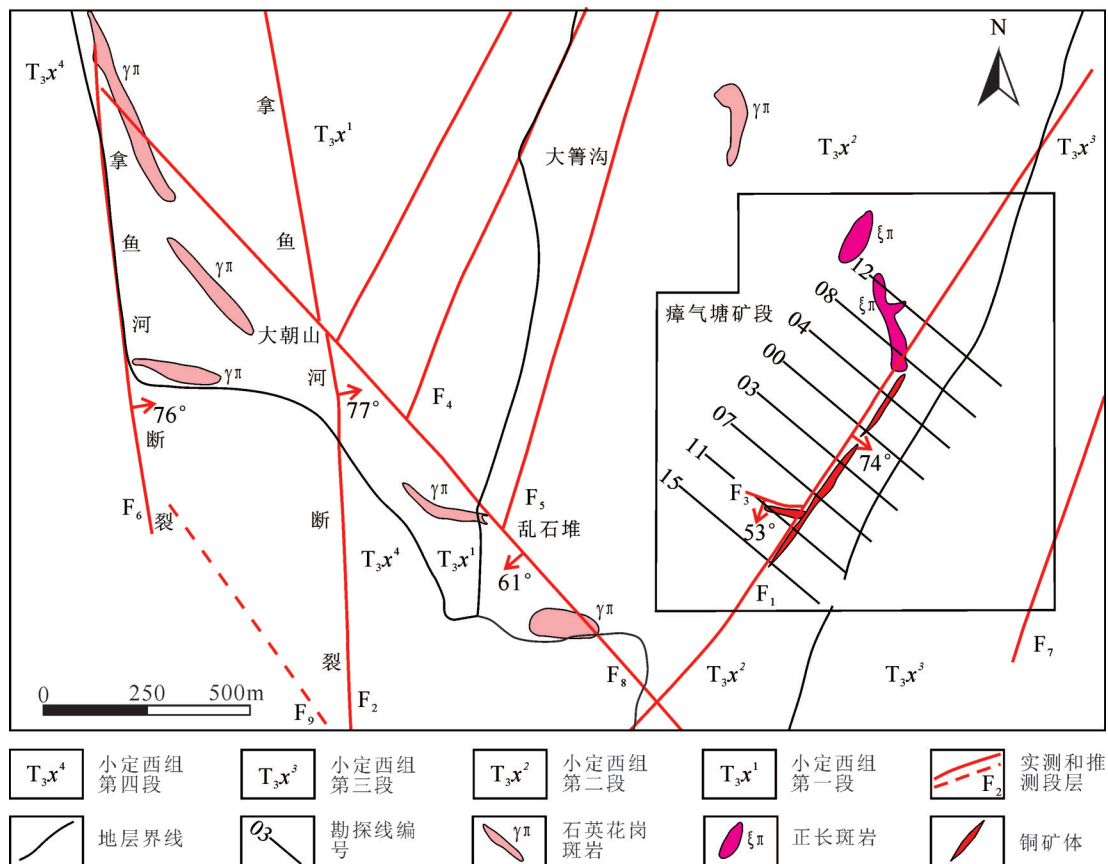


图2 红豆山铜矿床地质简图

Fig.2 Geological sketch map of the Hongdoushan copper deposit

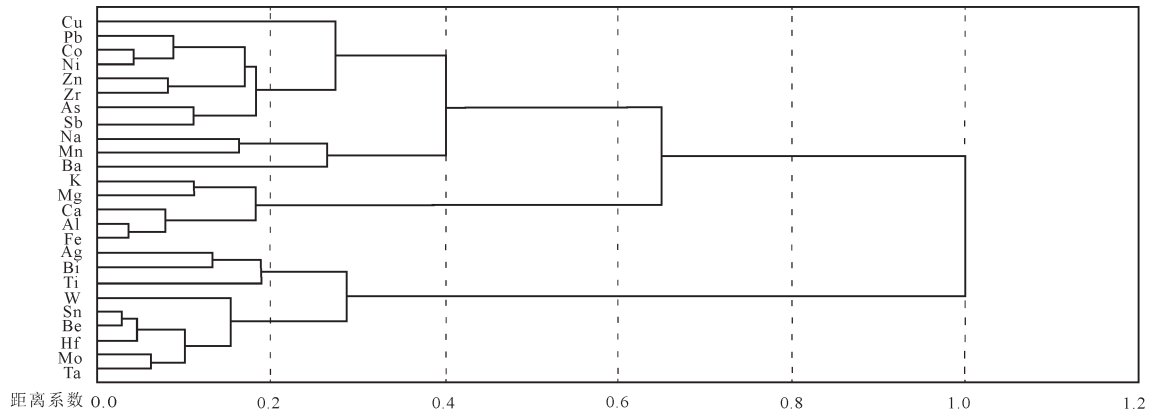


图3 云县红豆山铜矿构造岩R型聚类分析谱系图

Fig.3 Dendrogram of R-duster analysis for tectonites in Hongdoushan copper deposit, Yunxian County

其中9线-11线近EW向断裂蚀变带控制的矿体为新发现矿体,延长100~150 m,厚度25~30 m,Cu品位达0.5%~1.2%(图4)。NE向断裂与近EW向断裂交汇位置矿体具增厚变富的特点。

### 3.2 矿石特征及围岩蚀变

矿石矿物以黄铜矿、黝铜矿、斑铜矿、黄铁矿为主,辉铜矿、方铅矿、锑黝铜矿次之,氧化矿为孔雀石、铜蓝等。脉石矿物主要有正长石、石英(包括烟灰色硅化石英和灰白色石英脉)、绿泥石,次为方解石、绿帘石。矿石结构以半自形-他形粒状结构为主,构造主要有细脉状、网脉状、浸染状构造,部分为块状构造。围岩蚀变以长石、石英岩化、绿泥石化、绿帘石化为主,碳酸盐化、绢云母化次之。

## 4 样品采集与分析方法

### 4.1 样品采集及分析

在红豆山铜矿构造控矿规律和构造岩特征研究的基础上,遵循断裂构造地球化学研究的方法程序开展构造地球化学研究工作(韩润生,2005)。以红豆山铜矿1272中段、1220中段矿(化)体分布区为研究对象,进行1:1000断裂构造地球化学填图,对断裂构造进行精细解剖,采集构造发育较好、与成矿关系密切的构造岩样品,在红豆山铜矿不同的断裂构造带和上、下盘采集不同方向、不同性质断裂带代表性的构造岩样品,构造不发育地段采集蚀变岩石样品,以满足构造地球化学填图样品密度要求。共采集分析构造地球化学样品125件,其中1272中段57件,1220中段68件,每件样品1~2 kg,

样品全部磨至200目,缩分成测试样品,送广州澳实分析测试中心采用ME-MS61r和ME-XRF26方法测定微量元素和主量元素,测试样品中增加5%的密码样,经检验测试数据质量合格。

### 4.2 元素组合分析

在特定的地质作用过程中,某些具有相似地球化学性质的元素具有共同的地球化学行为和相似的迁移富集规律,从而形成一定的元素组合。因此,元素组合特征反映了一定的地球化学过程。在符合统计学前提下,选择1272中段和1220中段共计125件构造岩样品测试数据进行元素组合分析,分别绘制1272中段、1220中段构造地球化学异常图,总结构造地球化学异常特征,优选重点找矿靶区,进行定位成矿预测。

#### 4.2.1 聚类分析

为了揭示成矿元素的共生组合关系,选择测试数据中符合正态分布且与成矿关系密切的25个元素进行聚类分析,按照完全距离系数连接及Pearson R相关系数,得到R型聚类分析谱系图(图3),按照距离系数在0.4时,分为4组元素组合:第一组:Cu、Pb、Co、Ni、Zn、Zr、As、Sb;第二组:Na、Mn、Ba;第三组:K、Mg、Ca、Al、Fe;第四组:Ag、Bi、Ti、W、Sn、Be、Hf、Mo、Ta。结合矿床地质特征,第一组代表铜成矿元素组合;第二组为蚀变元素组合,与钠长石化有关;第三组代表蚀变元素组合,与钾化有关;第四组代表高温元素组合。其中第一、第二组在距离系数为0.4时聚为一类,第一、第二、第三组在距离系数为0.65时聚为一类,说明钠长石化、

表1 云县红豆山铜矿构造岩R型因子分析方差极大旋转载荷矩阵

Table 1 Varimax rotation factor load matrix for tectonites in the Hongdoushan copper deposit, Yunxian County

	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4	Factor5
Cu	0.799	0.108	-0.369	-0.151	-0.010
Pb	0.247	0.311	0.382	0.191	0.056
Zn	0.649	-0.280	-0.060	0.341	0.212
Ag	0.878	0.137	-0.030	-0.174	-0.037
W	0.059	0.284	0.063	-0.103	-0.791
Sn	-0.017	0.783	0.201	-0.232	-0.125
Mo	0.463	0.310	0.122	-0.417	-0.020
Bi	0.896	0.034	0.112	-0.214	0.095
As	0.874	-0.011	0.231	-0.108	0.078
Sb	0.710	-0.222	0.101	-0.209	-0.375
K	-0.019	0.238	0.891	-0.116	0.178
Na	-0.166	0.233	-0.658	0.386	0.302
Ca	-0.222	-0.329	0.224	0.252	0.344
Mg	-0.361	-0.124	0.083	0.710	0.363
Al	-0.344	0.781	-0.058	0.183	-0.260
Fe	-0.314	-0.185	0.321	0.741	0.030
Mn	-0.161	-0.463	0.537	0.467	0.081
Ba	-0.003	-0.231	0.755	0.066	0.016
Co	0.098	0.029	-0.167	0.857	-0.059
Hf	0.105	0.858	-0.113	-0.068	0.148
Nb	-0.061	0.724	0.051	0.184	-0.145
Ni	-0.227	0.183	-0.326	0.735	-0.056
Rb	0.021	0.254	0.867	-0.205	0.188
Ti	-0.173	0.390	-0.074	0.603	-0.392
Zr	0.160	0.789	-0.062	-0.054	0.145
ΣHREE	-0.182	-0.121	-0.198	0.215	-0.590
ΣLREE	0.001	0.486	0.149	0.051	0.524
Expl.Var	4.796	4.578	3.643	3.854	2.177
Prp.Totl	0.178	0.170	0.135	0.143	0.081

注: Expl.Var: 解释方差; Prp.Totl: 总的百分比。

钾化都是与成矿不同阶段的蚀变产物,其中钠长石化与1272中段、1220中段铜成矿作用最为密切。1220、1272中段钠长石化蚀变体与铜矿化体分布区较吻合也说明了该特点。

#### 4.2.2 因子分析

在聚类分析基础上,选择与成矿关系密切的25个元素及LREE、HREE测试数据均取常用对数值进行R型因子分析,按照累计方差贡献值达到70%取因子个数,取表1每列荷载大于0.4的元素作为关联成员,从而得到5个主因子:F1:Cu、Zn、Ag、Mo、Bi、

As、Sb; F2: Sn、Al、-Mn、Hf、Nb、Zr、ΣLREE; F3: K、-Na、Mn、Ba、Rb; F4: -Mo、Mg、Fe、Mn、Co、Ni、Ti; F5: -W、-HREE、LREE。第一组代表铜矿化元素组合,与蚀变矿化相关;第二组代表高温元素组合,推测与深部隐伏斑岩有关;第三组和第四组代表蚀变元素组合;第五组意义不明。

## 5 构造地球化学异常特征

通过对云县红豆山铜矿研究,笔者认为NE向F<sub>1</sub>断裂和近EW向F<sub>3</sub>断裂以及隐伏的碱性斑岩体控制了矿床的分布,构造和斑岩岩浆热液蚀变作用对成矿元素的迁移、富集及成矿物理化学条件的变化起着十分重要的作用;断裂构造是成矿流体活动和矿质聚散的有利通道和场所,矿质聚散的痕迹在断裂带中比岩石中更明显;采用多个矿化元素组合可以发现单矿化元素不能确定的异常,通过数据分析,可以强化弱异常及指示隐伏矿体异常的有效信息,增强隐伏矿体引起的矿致异常(韩润生, 2005)。因此在本区进行构造地球化学研究具有充分的理论依据。

在勘查地球化学中,用多元素强化异常是常用方法之一。元素地球化学相似性普遍存在,单一元素异常有时很弱,但通过元素组合的分析,可强化弱异常所代表的成矿信息,并能排除一些其他干扰(韩润生, 2005)。根据1272中段和1220中段矿体分布区R型聚类分析和因子分析的元素组合特征及地质意义,因子得分的高低代表了取样点矿化作用的强弱,而因子得分的空间分布揭示了矿化空间分布规律,可以用因子得分等值线来描述矿床构造地球化学场特征(常印佛等, 2017)。

### 5.1 1272中段

断裂构造地球化学异常反映矿(化)体原生晕,可预测找矿靶区

1272中段F1矿化因子存在3个正异常,分别与构造-蚀变带研究圈定的蚀变体1(01-05号勘探线)、蚀变体2(09-11号勘探线)、蚀变体2-1(03-05号勘探线)重叠或相邻(图4),01-05号勘探线F1因子异常轴向为NNE向,与蚀变体1分布范围吻合,蚀变体2、蚀变体2-1异常轴线为NWW向,与控制该蚀变体的断裂带走向近一致,该特征指示矿化异常与矿体、圈定的蚀变体重叠或相邻,表明该异常

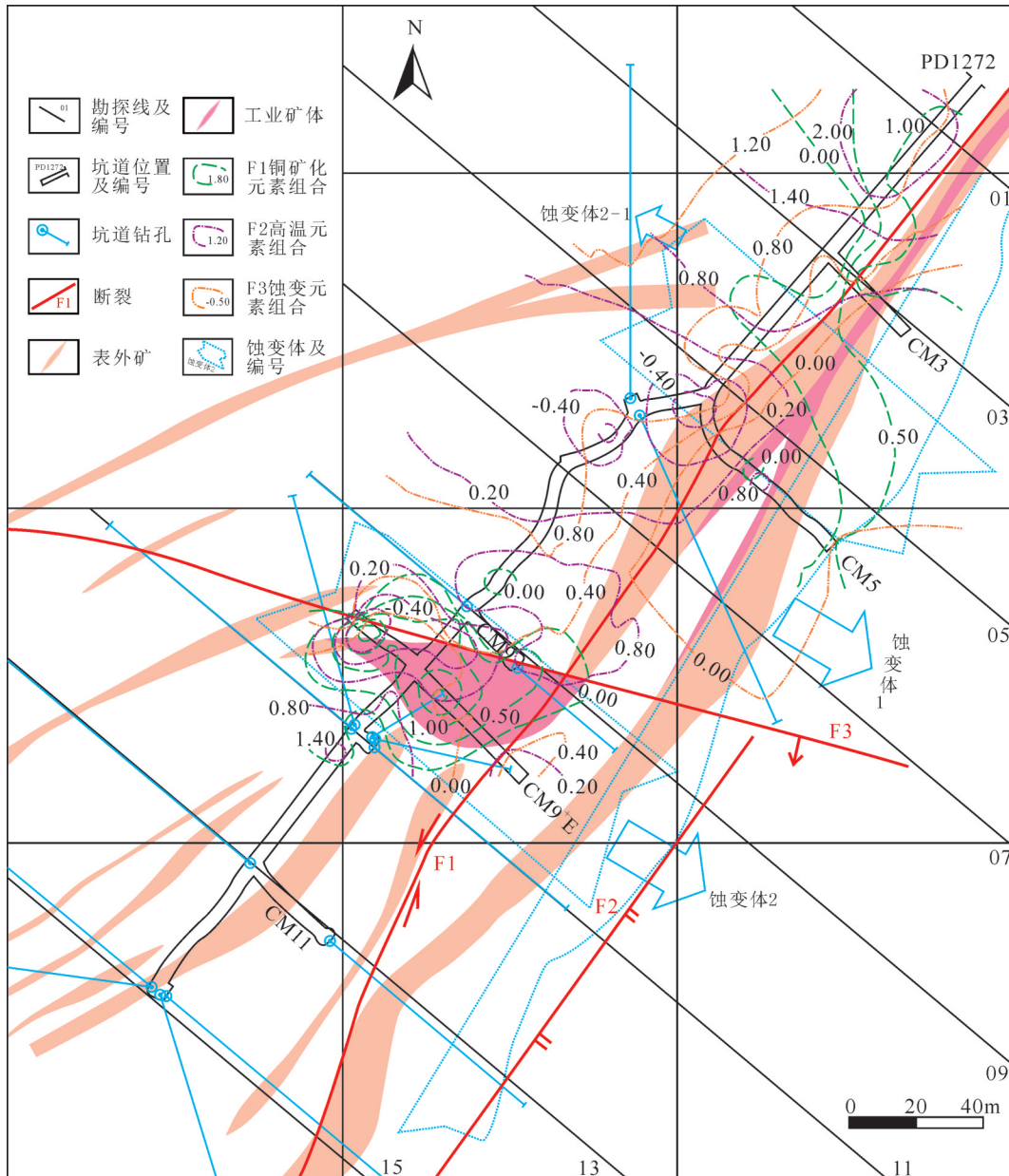


图4 红豆山铜矿1272中段构造地球化学异常图(F1、F2、F3因子)

Fig.4 F1, F2 and F3 tectono-geochemical anomaly map at 1272 level in Hongdoushan copper deposit

区代表矿(化)体原生晕,是矿化集中区的反映,组合异常的长轴方向和范围是预测找矿靶区的重要依据。

1272中段F2高温元素组合因子异常与构造关系密切,分布于控制蚀变体的断裂构造上,异常强度由断裂构造向蚀变体方向依次减弱,且由断裂带→蚀变体依次出现F2高温元素异常和F1铜矿化元素异常,反映成矿元素具有分带特征,由断裂面→断裂上盘的蚀变带依次出现高温元素异常→铜矿

化元素异常,高温、成矿元素组合异常与断裂的组合关系反映矿体向深部延伸与构造密切相关,预示深部具较好找矿前景。

1272中段代表蚀变的F3(K、-Na、Mn、Ba、Rb)负异常分布于蚀变体上(图4),蚀变体中心异常低,靠近断裂面高,异常中心与矿体分布区吻合。

#### 5.1.2 断裂构造地球化学异常受构造控制明显

F1矿化因子和F2高温元素组合因子异常轴均与断裂构造方向和矿体展布方向一致,异常分布

区集中分布在断裂带及其上盘的蚀变带分布范围。蚀变体1上分布的NE向异常受NE向F<sub>1</sub>断裂控制明显;蚀变体2-1、蚀变体2上分布的NWW向异常与NWW向断裂关系密切。

控制NE向矿体、NWW向矿体的断裂带→断裂上盘依次出现F<sub>2</sub>高温元素组合异常、F<sub>1</sub>铜矿化因子异常,异常长轴方向与断裂走向近一致,反映矿化受构造控制明显,且成矿物质主要来源于深部,该特征与构造控矿规律研究结果一致,反映深部具有较好找矿前景。

### 5.2 1220中段

断裂构造地球化学异常反映矿(化)体原生晕,可预测找矿靶区。

1220中段F<sub>1</sub>矿化因子正异常有NE向和NWW

向两种(图5),NE向异常分布于00-05号勘探线之间,05-11号勘探线之间存在多个NWW向F<sub>1</sub>矿化因子异常,与蚀变体2(09-11号勘探线)及其旁侧发育多条NWW向构造蚀变带密切相关,该特征反映矿化异常与矿体、圈定的蚀变体重叠或相邻,表明该异常区代表矿(化)体原生晕,是矿化集中区的反映,可用来预测找矿靶区。

1220中段02-05号勘探线之间分布的F<sub>2</sub>高温元素异常,受F<sub>1</sub>断裂控制明显,在02线-0线之间的F<sub>1</sub>断裂中发现了隐爆角砾岩,1170中段02线F<sub>1</sub>断裂旁侧发现碱性斑岩(王磊等,2017)和隐爆角砾岩,结合1272因子异常特征,认为成矿与深部隐伏碱性斑岩密切相关。

1220中段代表蚀变的F<sub>3</sub>(K、-Na、Mn、Ba、Rb)

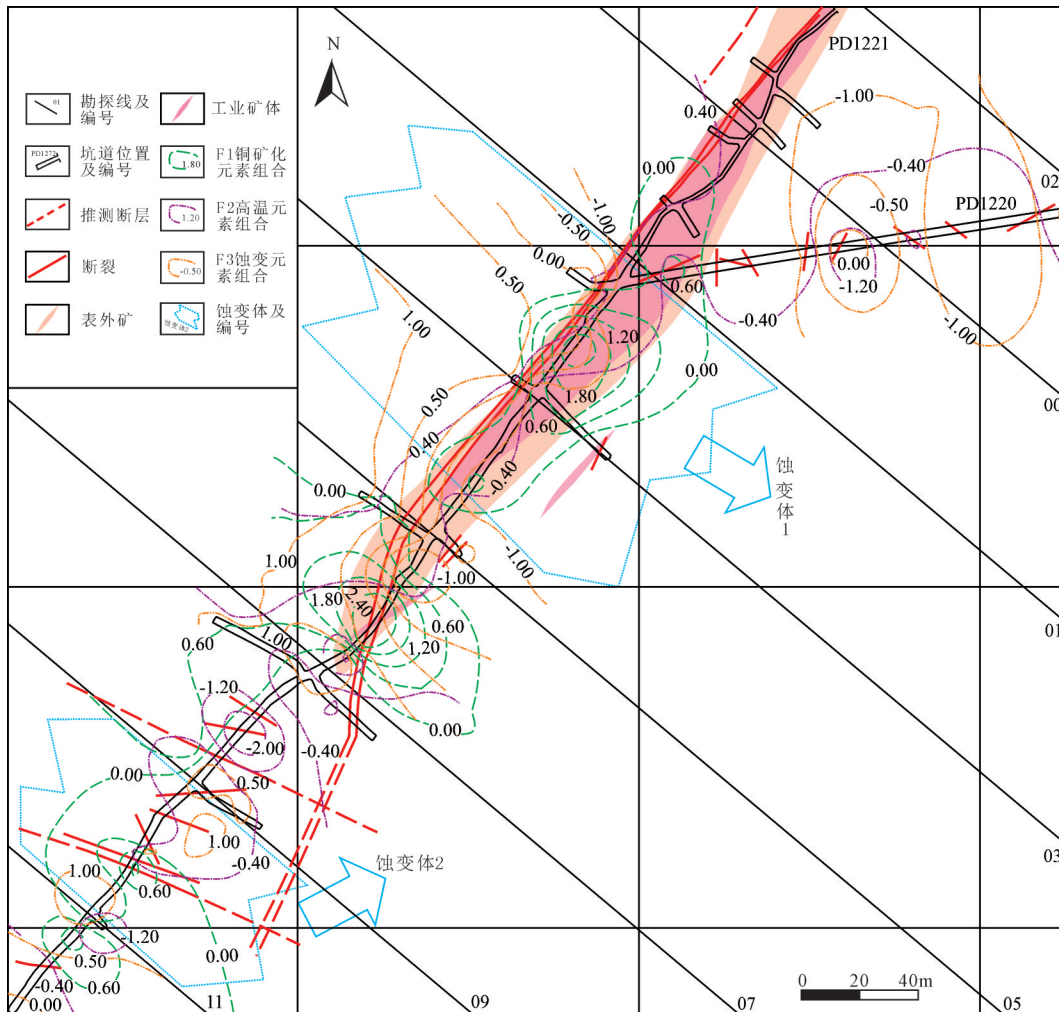


图5 红豆山铜矿1220中段构造地球化学异常图(F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>因子)

Fig.5 F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> and F<sub>3</sub> tectono-geochemical anomaly map at 1220 level in Hongdoushan copper deposit



负异常分布于蚀变体1(01-05号勘探线)上,异常中心与矿体分布区吻合,说明强蚀变位置是有利的矿体分布区。

1220中段02-01号勘探线出现近SN-NNE向F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>异常重叠区(图5),该区NE向断裂发育,指示深部可能存在与F<sub>1</sub>断裂控制的矿化蚀变体平行的蚀变矿化体。

1220中段断裂构造地球化学异常受构造控制明显。F<sub>1</sub>矿化因子和F<sub>2</sub>高温元素组合因子异常轴向均与断裂构造方向和矿体展布方向一致,异常分布区集中分布在断裂带及其上盘的蚀变带分布范围。蚀变体1上分布的NE向异常受NE向F<sub>1</sub>断裂控制;蚀变体2上分布的NWW向异常与NWW向断裂关系密切。

1220中段控制NE向矿体、NWW向矿体的断裂面→断裂上盘依次出现F<sub>2</sub>高温元素组合异常、F<sub>1</sub>铜矿化因子异常,异常长轴方向与断裂走向近一致,反映矿化受构造控制明显,且成矿物质主要来源于深部,该特征与构造控矿规律研究结果一致。同时在1220中段02-00线F<sub>1</sub>断裂带中发现隐爆角砾岩、1170中段02线F<sub>1</sub>断裂带中发现隐爆角砾岩和碱性斑岩也证明了以上认识。

## 6 成矿预测

### 6.1 成矿预测标志

#### 6.1.1 地质标志

云县红豆山铜矿主要分布在NE向F<sub>1</sub>断裂和NWW—近EW向F<sub>3</sub>断裂控制的构造-长英岩化-硅化蚀变带中,NE向断裂与NWW—近EW向断裂交汇部位以及多条NE向断裂交汇部位是富厚矿体赋存部位;4-9线,9-13线NE向F<sub>1</sub>断裂蚀变带,NWW—近EW向F<sub>3</sub>断裂蚀变带中均由1272中段→1170中段依次出现隐爆角砾岩及与斑岩有关的红色熔岩,因此推测F<sub>1</sub>断裂深部及其蚀变带是重要的找矿地段,在F<sub>1</sub>断裂旁侧及出现多条NE向和NWW向断裂,其中发育长英岩化蚀变及隐爆角砾岩,因此深部可能存在多条NE向和NWW—EW向柱状蚀变矿体。

#### 6.1.2 构造地球化学异常标志

F<sub>1</sub>矿化因子和F<sub>2</sub>高温元素组合因子异常高值区可以预测深部隐伏斑岩出露位置,为深部找矿预

测提供有力依据,具有较好找矿前景。

多元素组合异常重叠和相邻区是主要的成矿地段,对深部找矿预测和靶区圈定具有重要指示意义。

#### 6.1.3 蚀变标志

断裂带中出现的长石、石英、白云石-方解石等蚀变与F<sub>1</sub>断裂、F<sub>3</sub>断裂出现的铜矿化紧密相关,是重要的找矿标志;蚀变带的空间展布(平面延伸方向,剖面倾斜方向)特征控制着矿床的空间展布特征,是重要的找矿标志。

### 6.2 隐伏矿预测

以红豆山铜矿地质标志、构造地球化学异常标志和蚀变标志为判断指标,对深部隐伏矿体进行预测。

1272中段、1220中段由F<sub>1</sub>断裂→蚀变体1依次出现F<sub>2</sub>因子高温元素和F<sub>1</sub>因子铜矿化元素组合水平分带规律,反映控制蚀变体的F<sub>1</sub>断裂和NWW向F<sub>3</sub>断裂是主要导矿构造,平面成矿流体由控制蚀变体的断裂向断裂上盘围岩运移,F<sub>2</sub>、F<sub>1</sub>因子异常重叠明显反应矿体产状较陡,这也与F<sub>1</sub>断裂的控矿特征相吻合。

F<sub>1</sub>矿化因子和F<sub>2</sub>高温元素组合因子异常高值区可以预测深部隐伏斑岩出露位置,为深部找矿预测提供有力依据,具有较好找矿前景。根据F<sub>2</sub>因子异常在1272中段、1170中段02-07号勘探线的分布特征,预测深部隐伏斑岩主要受NE向断裂控制,结合1170中段斑岩出露特征推测,深部隐伏斑岩走向近NE向,且向SW侧伏,因此,推测在01-07线深部NE向矿体向深部具有加富加厚的特点;根据F<sub>2</sub>因子异常在1272中段、1170中段07-11号勘探的分布特征,预测深部存在隐伏斑岩,具有较好找矿前景。

多元素组合异常重叠和相邻区是主要的成矿地段,对深部找矿预测和靶区圈定具有重要指示意义,预示深部具有较好找矿前景。F<sub>1</sub>断裂控制的F<sub>2</sub>-F<sub>1</sub>-F<sub>3</sub>因子异常组合区是矿区NE向矿体的主要分布区;NWW向断裂控制的F<sub>2</sub>-F<sub>1</sub>-F<sub>3</sub>因子组合异常区是矿区NWW向矿体的主要分布区;02-01号勘探线间分布的F<sub>2</sub>-F<sub>3</sub>因子组合异常区深部可能存在NEE向的矿化蚀变体,具有一定找矿前景。

根据该区矿床地质特征及地球化学异常特点预测云县红豆山铜矿矿体产状为:F<sub>1</sub>断裂和蚀变体1控制的矿体走向为NNE—NE向,倾向SE,倾角陡;NWW向断裂和蚀变体2控制的矿体走向为

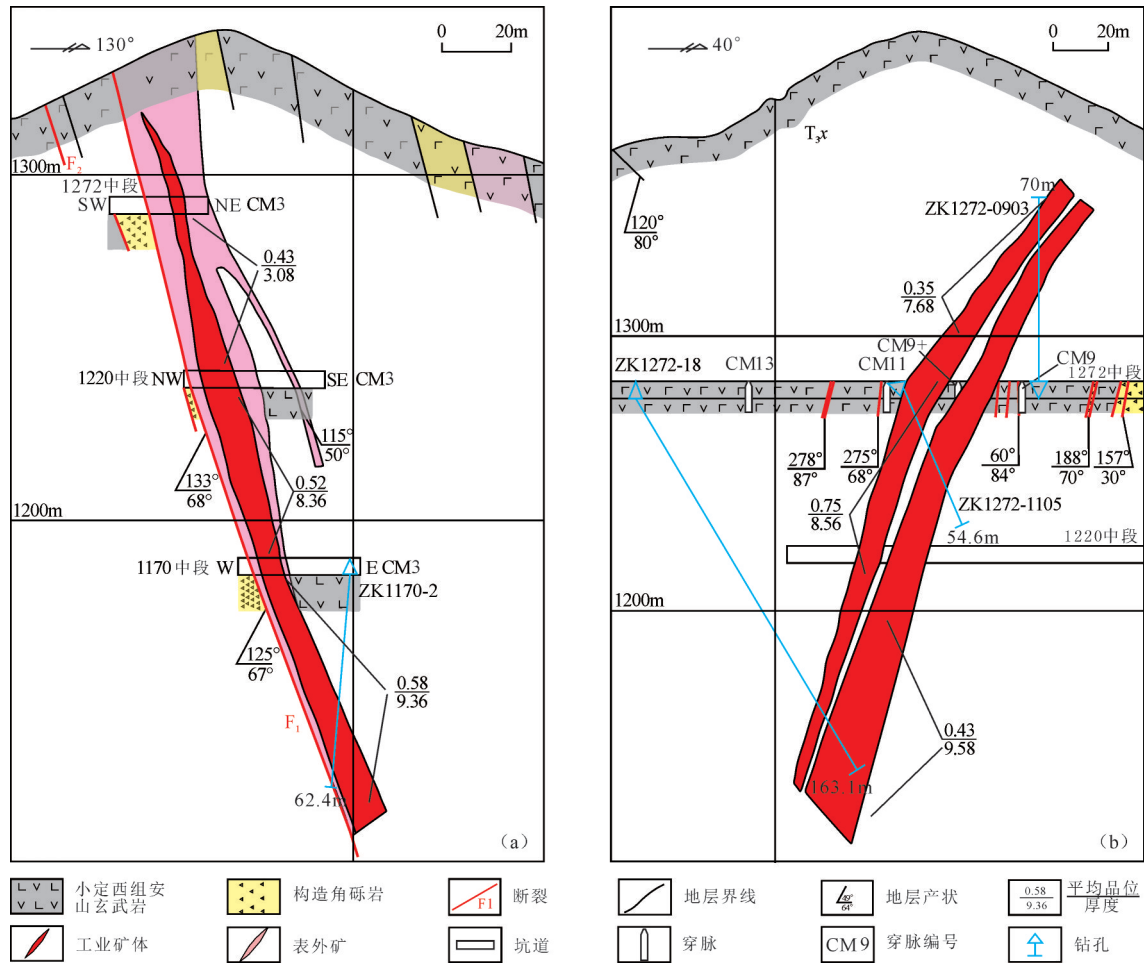


图6 红豆山铜矿3线剖面NE向、9线剖面近EW向矿体找矿预测效果图

Fig.6 Prospecting prediction effect of geological section along No. 3 line of NE-trending ore and No. 9 line of EW-trending ore in Hongdoushan copper deposit

NWW向,倾向SW,向SE侧伏。

### 6.3 预测效果

通过构造地球化学异常特征预测了NE向矿体产状及其深部延伸情况,并得到了深部钻孔验证(图6a)。

通过构造控矿规律和构造地球化学研究,在1272中段圈定了NWW—近EW向断裂控制的矿体,预测了矿体的产状及深部延伸情况,并得到了深部钻孔验证(图6b)。

通过钻孔验证,圈定预测的铜矿体向深部延伸稳定,受构造控制的岩浆热液型矿体具有中型铜矿的潜力,结合地质研究在深部断裂带中发现隐伏碱性斑岩,推测深部可能存在斑岩型铜矿床,具有较好找矿前景。

## 7 结 论

对云县红豆山铜矿区构造地球化学数据进行了聚类分析、因子分析,元素组合特征表明该矿床受构造控制作用明显,由断裂带→断裂上盘依次出现高温→蚀变→中低温元素组合异常分带特征,指示了矿床成矿流体的运移方向和矿体产状。

根据断裂构造地球化学元素组合异常圈定的靶区,经勘查证实是可行的,具有较好找矿效果,为构造地球化学服务资源勘查提供了新思路 and 范例。

**致谢:**在野外工作和撰文过程中得到了昆明理工大学冉崇英教授、北京华煜升矿业投资有限公司陈轶总经理以及工作人员的大力支持和帮助,论文

审稿过程中审稿人提出了宝贵的修改意见,在此表示衷心感谢!

## 注释

① 云南省地质局第一区域地质调查队. 1977. 中华人民共和国地质图景东幅(G-47-XXXV)(1:20万).

② 云南省地质局区域地质调查队. 1983. 中华人民共和国矿产图景谷幅(F-47-v)(1:20万).

## References

- Chang Yinbo, Pei Rongfu, Hou Zengqian, Yang Zhushen. 2017. Geochemical dataset of the Shizishan magmatic fluid system in the Tongling Ore Concentration Area, Anhui Province[J]. *Geology in China*, 44(S1): 49–55(in Chinese with English abstract).
- Chen Li, Wang LiQuan, Wang BaoDi, Liu Han. 2013. Genesis of the Guanfang copper deposit in the Yunxian—Jinggu volcanic arc, western Yunnan: Evidences from fluid inclusions and geochronology[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(4): 1279–1289(in Chinese with English abstract).
- Deng Jun, Wang Changming, Li Wenchang, Yang Liqiang, Wang Qingfei. 2014. The situation and enlightenment of the research of the tectonic evolution and metallogenesis in the Sanjiang Tethys[J]. *Earth Science Frontiers*, 21(1): 52–64(in Chinese with English abstract).
- Deng Jun, Wang Qingfei, Li Gongjian, Li Chusi, Wang Changming. 2014. Tethys tectonic evolution and its bearing on the distribution of important mineral deposits in the Sanjiang region, SW China[J]. *Gondwana Research*, 26(2): 419–437.
- Dong Guochen, Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, Zhu Dicheng, Robbin C. Goodmana, Kong Huilei, Wang Shuo. 2013. Zircon U–Pb dating and the petrological and geochemical constraints on Lincang granite in Western Yunnan, China: Implications for the closure of the Paleo–Tethys Ocean[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 62(62): 282–294.
- Fan Weiming, Peng Touping, Wang Yuejun. 2009. Triassic magmatism in the southern Lancangjiang zone, southwestern China and its constraints on the tectonic evolution of Paleo–Tethys[J]. *Earth Science Frontiers*, 16(6): 291–302(in Chinese with English abstract).
- Fan Weiming, Wang Yuejun, Zhang Yanhua, Zhang Yuzhi, Fred Jourdane, Zi Jianwei, Liu Huichuan. 2015. Paleotethyan subduction process revealed from Triassic blueschists in the Lancang tectonic belt of Southwest China[J]. *Tectonophysics*, 662: 95–108.
- Feng Qinglai, Shen Shangyue, Liu Benpei, Dietrich Helmcke, Qian Xianggui, Zhang Weiming. 2002. Permian radiolarians, Chert and basalt from the Daxinshan Formation in Lancangjiang belt of southwestern Yunnan, China[J]. *Science in China(series D)*, 45(1): 63–71.
- Han Runsheng. 2005. Orefield/deposit tectono–geochemical method for the localization and prognosis of concealed orebodies[J]. *Geological Bulletin of China*, 24(10/11): 978–984(in Chinese with English abstract).
- Hou Zengqian, Mo Xuanxue, Yang zhiming, Wang Anjian, Pan Guitang, Qu Xiaoming, Nie Fengjun. 2006. Metallogenesis in the collisional orogen of the Qinghai–Tibet Plateau: Tectollic setting, tempo–spatial distribution and ore deposit types[J]. *Geology in China*, 33(2):340–351(in Chinese with English abstract).
- Hou Zengqian, Khin Zaw, Pan Guitang, Mo Xuanxue, Xu Qiang, Hu Yunzhong, Li Xingzhen. 2007. Sanjiang Tethyan metallogenesis in S.W. China: Tectonic setting, metallogenic epochs and deposit types[J]. *Ore Geology Reviews*, 31(1/4): 48–87.
- Hu Bin, Dai Tagen, Hu Ruizhong, Guo Qun. 2004. Preliminary discussion on metallogenesis of lancangjiang river transitional field tectonic zone in western Yunnan[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 28(2): 183–188.
- Hu Yuanbang, Hou Zhongjian, Deng Jianghong, Li Zheng, Lin Shouhai, Yang Mimi. 2016. Geochemical characteristics and tectonic environment discussion of chert from the Lower Devonian Xiangyangsi Formation in Gengga, Changning, Western Yunnan[J]. *Geology in China*, 43(2): 650–661(in Chinese with English abstract).
- Klaus Hepppe, Dietrich Helmcke, Klaus Wemmer. 2007. The Lancang River Zone of southwestern Yunnan, China: A questionable location for the active continental margin of Paleotethys[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30(5): 706–720.
- Kong Huilei, Dong Guochen, Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, Zhu Dicheng, Wang Shuo, Li Rong, Wang Qiaolin. 2012. Petrogenesis of Lincang granites in Sanjiang area of western Yunnan Province: Constraints from geochemistry, zircon U–Pb geochronology and Hf isotope[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(5): 1438–1452(in Chinese with English abstract).
- Li Feng, Fan Zhuguo, Li Baozhu. 2003. Characteristics of the volcanic rocks in Dapingzhang, western Yunnan and their tectonic settings[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 27(1): 48–55(in Chinese with English abstract).
- Li Guangjun, Yang Qingbiao, Chuan Wentao, Mi Yunchuan, Fang Peiyong. 2013. Geological features, prospecting indicators and prospecting potential of the Guoyuan copper deposit in Yunxian country, Yunnan Province[J]. *Geology and Exploration*, 49(1): 144–153(in Chinese with English abstract).
- Li Xingzhen, Liu Wenjun, Wang Yizhao, Zhu Qinwen. 1999. Tethys Tectonic Evolution and Mineralization in Southwest Sanjiang Area[M]. Beijing: Geological Publishing House, 27–29(in Chinese).
- Li Xuejun. 2009. Geochemistry and signification of the Minle volcanic rocks in Jinggu County, Yunnan Province[J]. *Journal of Northwest University(Natural Science Edition)*, 39(5): 831–836(in Chinese with English abstract).
- Li Zhe, Li Wenchang, Liu Xuelong, Lai Anqi, Yang Fucheng. 2017. Geochronological and geochemical characteristics of Qiansui

- quartz diorite porphyrite in the Geza Arc, Yunnan Province, and their constraints on diagenesis and mineralization[J]. *Geology in China*, 44(3): 541–555(in Chinese with English abstract).
- Liu Benpei, Feng Qinglai, Chonglakmani C, Helmcke D. 2002. Framework of paleotethyan archipelagocean of western Yunnan and its elongation towards north and south[J]. *Earth Science Frontiers*, 9(3): 161–171(in Chinese with English abstract).
- Liu Deli. 2009. Geochemistry and Metallogenic Model of Guanfang Copper Deposit in Lancangjiang Volcanic Belt, Yunnan, China[D]. Changsha: Central South University(in Chinese with English abstract).
- Luo Liang, Wang Dongbing, Chu Daoliang, Wang Yu, Luo Bo. 2018. The definition of the age of Manghuai Formation based on the study of palaeontology and zircon U- Pb chronology in western Yunnan Province[J]. *Geology in China*, 45(6): 1312–1313(in Chinese with English abstract).
- Mo Xuanxue, Shen Shangyue, Zhu Qinwen. 1998. Volcanic Rock – ophiolite and Metallogenic in the Middle and South of the Sanjiang River[M]. Beijing: Geological Publishing House, 15(in Chinese).
- Peng Touping, Wang Yuejun, Fan Weiming, Liu Dunyi, Shi Yuruo, Miao Laicheng. 2006. SHRIMP zircon U- Pb geochronology of early Mesozoic felsic igneous rocks from the southern Lancangjiang and its tectonic implications[J]. *Science in China (Series D)*, 49(10): 1032–1042.
- Peng Touping, Wang Yuejun, Zhao Guochun, Fan Weiming, Peng Bingxia. 2008. Arc-like volcanic rocks from the southern Lancangjiang zone, SW China: Geochronological and geochemical constraints on their petrogenesis and tectonic implications[J]. *Lithos*, 102(1): 358–373.
- Peng Touping, Wilde Simon A, Wang Yuejun, Fan Weiming, Peng Bingxia. 2013. Mid- Triassic felsic igneous rocks from the southern Lancangjiang Zone, SW China: Petrogenesis and implications for the evolution of Paleo-Tethys[J]. *Lithos*, 168–169 (2): 15–32.
- Shen Shangyue, Feng Qinglai, Wei Qirong, Zhang Zhibin. 2007. Newly developed evidence for the original tethysan island- arc volcanic rocks in the southern segment of the south Lancangjiang belt[J]. *Acta Geochimica*, 26(1): 91–97.
- Wang Lei, Wang Jiasheng, Wang Lei, Guo Zehua, Han Runsheng, Liu Fei, Cui Junhao. 2017. Geological, Geochemical Characteristics and Age of Granite Porphyry of the Hongdoushan Copper Deposit, South Lancangjiang Belt, West Yunnan Province[J]. *Geological Bulletin of China*, 36(7): 1231–1241(in Chinese with English abstract).
- Wang Mingzhi, Han Runsheng, Wang Lei, Liu Fei, Guo Yuxinyue, Tan Wei. 2016. Tectono-geochemical characteristics of Wandongshan-Bijianshan ore block in the Beiya Au-polymetallic deposit, northwestern Yunnan[J]. *Geology in China*, 43(1): 238–248(in Chinese with English abstract).
- Wang Shuo, Dong Guochen, Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, Zhu Dichen, Kong Huilei, Wang Xia, Nie Fei. 2012. Petrological and geochemical characteristics, Ar-Ar geochronology study and their tectonic significance of Triassic volcanic rocks in southern Lancangjiang zone[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(4): 1148–1162 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yuejun, Zhang Aimei, Fan Weiming, Peng Touping, Zhang Feifei, Zhang Yanhua, Bi Xiawu. 2010. Petrogenesis of late Triassic post-collisional basaltic rocks of the Lancangjiang tectonic zone, southwest China, and tectonic implications for the evolution of the eastern Paleotethys: Geochronological and geochemical constraints[J]. *Lithos*, 120(3): 529–546.
- Xu Xiaochun, Huang Zhen, Xie Qiaolin, Yue Shucang, Liu Yin. 2004. The Sm- Nd and <sup>40</sup>Ar- <sup>39</sup>Ar Isotopic Ages of Lithogenesis and Metallogenesis of the Songjiapo Copper Deposit in Jinggu, Yunnan Province[J]. *Geological Review*, 50(1): 99–105(in Chinese with English abstract).
- Yang Bing. 2018. Red bed Cu-Pb-Zn deposits and mineralization of hot brine in continental red bed basin[J]. *Geology in China*, 45(3): 441–455(in Chinese with English abstract).
- Yang Yongfei, Fan Wenyu, Luo Maojin, Shi Hongzhao. 2015. Magmatic Hydrothermal Origin of the Wenyu Copper Polymetallic Deposit, Southern Lancangjiang Zone, SW China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 89(5): 1769–1770.
- Zhang Caihua. 2007. Geological Characteristics and Metallogenic Model and Prospecting Prediction of Copper Deposits in Yunxian Section of Lancangjiang Volcanic Arc, Yunnan Province, China[D]. Changsha: Central South University.
- Zhang Caihua, Liu Jishun, Liu Deli. 2006. Genesis and metallogenic model for Guanfang copper deposit in south Lancangjiang belt, western Yunnan Province[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 30(3): 369–380(in Chinese with English abstract).
- Zhang Caihua, Liu Jishun, Zhang Hongpei, Liu Weiming, Wu Ziccheng. 2012. Geochemistry characteristics of Late Triassic potash-rich volcanic rocks and their origins in southern Lancangjiang belt, western Yunnan Province, China[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 22(3): 669–679(in Chinese with English abstract).
- Zhao Dasheng, Liu Xiangpin. 1994. Geochemical characteristics of collision type volcanic rocks from northwestern Yunnan[J]. *Geochimica*, (3): 235–244(in Chinese with English abstract).
- Zhu Weiguang, Zhong Hong, Wang Liquan, He Defeng, Ren Tao, Fan Hongpeng, Bai Zhongjie. 2011. Petrogenesis of the basalts and rhyolite porphyries of the Minle copper deposit, Yunnan: Geochronological and geochemical constraints[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(9): 2694–2708(in Chinese with English abstract).
- Zhu Weiguang, Zhong Hong, Yang Yijin, Ren Tao. 2016. The origin of

- the Dapingzhang volcanogenic Cu-Pb-Zn ore deposit, Yunnan province, SW China: Constraints from host rock geochemistry and ore Os-Pb-S-C-O-H isotopes[J]. *Ore Geology Reviews*, 75: 327-344.
- Zi Jianwei, Peter A. Cawood, Fan Weiming, Wang Yuejun, Campbell McCuaig. 2012. Generation of Early Indosinian enriched mantle-derived granitoid pluton in the Sanjiang Orogen (SW China) in response to closure of the Paleoe-Tethys[J]. *Lithos*, 140-141(5): 166-182.
- ### 附中文参考文献
- 常印佛, 裴荣富, 侯增谦, 杨竹森. 2017. 安徽省铜陵矿集区狮子山岩浆流体系统地球化学测试数据集[J]. *中国地质*, 44(S1): 49-55.
- 陈莉, 王立全, 王保弟, 刘函. 2013. 滇西云县—景谷火山弧带官房铜矿床成因: 流体包裹体及年代学证据[J]. *岩石学报*, 29(4): 1279-1289.
- 邓军, 王长明, 李文昌, 杨立强, 王庆飞. 2014. 三江特提斯复合造山与成矿作用研究态势及启示[J]. *地学前缘*, 21(1): 52-64.
- 范蔚茗, 彭头平, 王岳军. 2009. 滇西古特提斯俯冲-碰撞过程的岩浆作用记录[J]. *地学前缘*, 16(6): 291-302.
- 韩润生. 2005. 隐伏矿定位预测的矿田(床)构造地球化学方法[J]. *地质通报*, 24(10-11): 978-984.
- 侯增谦, 莫宣学, 杨志明, 王安建, 潘桂荣, 曲晓明, 聂凤军. 2006. 青藏高原碰撞造山带成矿作用: 构造背景、时空分布和主要类型[J]. *中国地质*, 33(2): 340-351.
- 胡元邦, 侯中健, 邓江红, 李峥, 林寿海, 杨蜜蜜. 2016. 滇西昌宁更夏乡下泥盆统向阳寺组硅质岩地球化学特征及构造环境探讨[J]. *中国地质*, 43(2): 650-661.
- 孔会磊, 董国臣, 莫宣学, 赵志丹, 朱弟成, 王硕, 李荣, 王乔林. 2012. 滇西三江地区临沧花岗岩的岩石成因: 地球化学、锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素约束[J]. *岩石学报*, 28(5): 1438-1452.
- 李峰, 范柱国, 李保珠. 2003. 滇西思茅大平掌矿区火山岩特征及其构造环境[J]. *大地构造与成矿学*, 27(1): 48-55.
- 李光军, 杨清标, 钊文韬, 米云川, 方沛英. 2013. 云南云县果园铜矿床地质特征、找矿标志及找矿潜力分析[J]. *地质与勘探*, 49(1): 144-153.
- 李兴振, 刘文均, 王义昭, 朱勤文. 1999. 西南三江地区特提斯构造演化与成矿[M]. 北京: 地质出版社: 27-29.
- 李学军. 2009. 云南景谷县民乐火山岩地球化学特征及其意义[J]. *西* 北大学学报自然科学版, 39(5): 831-836.
- 李喆, 李文昌, 刘学龙, 赖安琦, 杨富成. 2017. 云南格咱岛弧带欠铝铜矿石英闪长玢岩年代学、岩石地球化学特征及成岩成矿的制约[J]. *中国地质*, 44(3): 541-555.
- 刘本培, 冯庆来, Chonglakmani C, Helmcke D. 2002. 滇西古特提斯多岛洋的结构及其南北延伸[J]. *地学前缘*, 9(3): 161-171.
- 刘德利. 2009. 澜沧江火山岩带官房铜矿区矿床地球化学与成矿模式[D]. 长沙: 中南大学博士学位论文: 15-16.
- 罗亮, 王冬兵, 楚道亮, 王宇, 罗波. 2018. 滇西南忙怀组时代的限定: 基于叶肢介化石和锆石 U-Pb 年龄[J]. *中国地质*, 45(6): 1312-1313.
- 莫宣学, 沈上越, 朱勤文. 1998. 三江中南段火山岩-蛇绿岩与成矿[M]. 北京: 地质出版社: 15.
- 王磊, 王加昇, 王雷, 郭泽华, 韩润生, 刘飞, 崔峻豪. 2017. 滇西南澜沧江带红豆山铜矿花岗岩地质地球化学特征及成岩时代[J]. *地质通报*, 36(7): 1231-1241.
- 王明志, 韩润生, 王雷, 刘飞, 郭钰心玥, 谭威. 2016. 滇西北北衙金矿床万册山—笔架山矿段构造地球化学特征[J]. *中国地质*, (1): 238-248.
- 王硕, 董国臣, 莫宣学, 赵志丹, 朱弟成, 孔会磊, 王霞, 聂飞. 2012. 澜沧江南带三叠纪火山岩岩石学、地球化学特征、Ar-Ar 年代学研究及其构造意义[J]. *岩石学报*, 28(4): 1148-1162.
- 徐晓春, 黄震, 谢巧勤, 岳书仓, 刘因. 2004. 云南景谷宋家坡铜矿床成岩成矿的 Sm-Nd 和 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 同位素年龄[J]. *地质论评*, 50(1): 99-105.
- 杨兵. 2018. 陆相红层型铜铅锌矿床与红层盆地热卤水成矿作用[J]. *中国地质*, 45(3): 441-455.
- 张彩华, 刘继顺, 刘德利. 2006. 滇西南澜沧江带官房铜矿床成因和成矿模式探讨[J]. *大地构造与成矿学*, 30(3): 369-380.
- 张彩华. 2007. 澜沧江火山弧云县段铜矿床地质特征、成矿模式与找矿预测[D]. 长沙: 中南大学博士学位论文: 18-21.
- 张彩华, 刘继顺, 张洪培, 刘卫明, 吴自成. 2012. 滇西南澜沧带晚三叠世富钾火山岩地球化学特征及成因[J]. *中国有色金属学报*, 22(3): 669-679.
- 赵大升, 刘祥品. 1994. 滇西北碰撞型火山岩的地球化学特征[J]. *地球化学*, (3): 235-244.
- 朱维光, 钟宏, 王立全, 何德锋, 范宏鹏, 柏中杰. 2011. 云南民乐铜矿床中玄武岩和流纹斑岩的成因: 年代学和地球化学制约[J]. *岩石学报*, 27(9): 2694-2708.