



云南普朗斑岩铜矿晚三叠世构造控矿条件

吴练荣¹, 翟建军², 余 璨³, 施宝生¹, 李金林², 杨 栋²

1. 云南迪庆有色金属有限责任公司, 云南 香格里拉 674400; 2. 云南铜业矿产资源勘查开发有限公司, 云南 昆明 650051; 3. 中国有色金属工业昆明勘察设计院有限公司, 云南 昆明 650051

摘 要: 普朗铜矿是义敦岛弧东多金属矿带的超大型斑岩型铜矿床。成矿带内岩浆构造活动频繁, 裂隙构造叠加成矿-控矿作用显著, 但研究程度薄弱。在对普朗铜矿区巷道进行构造岩相学综合调查研究的基础上, 结合区域成矿构造背景, 厘定矿区褶皱、断裂宏观特征, 对典型中段进行节理(裂隙)测量分析。研究表明: 1) 古特提斯洋闭合过程斑岩铜矿成矿作用与晚三叠世构造演化、岩浆活动关系密切, 普朗铜矿形成于俯冲造山阶段; 2) 区域深大断裂控制着矿区沉积建造和岩浆岩分布, 矿床总体产于普朗背形核部, 次级 NEE 及 NE 向断裂控制着含矿斑岩体和节理(裂隙)的发育, 矿(化)体赋存于两组断裂交汇部位; 3) 矿区以张节理为主的复合型节理系统, 为含矿热液的运移、扩散和富集提供导矿、储矿空间, 裂隙发育程度与铜矿化呈正相关。通过对矿区岩浆侵入-构造裂隙系统特征与控矿规律的研究, 认为热液脉状矿(化)体严格受控于构造-裂隙系统改造富集作用, 裂隙构造发育部位是探寻富“脉状矿”的有利靶区。

关键词: 斑岩铜矿; 构造; 成矿-控矿条件; 晚三叠世; 云南省

LATE TRIASSIC ORE-CONTROLLING STRUCTURES OF PULANG PORPHYRY COPPER DEPOSIT IN YUNNAN PROVINCE

WU Lian-rong¹, ZHAI Jian-jun², YU Can³, SHI Bao-sheng¹, LI Jin-lin², YANG Dong²

1. Diding Nonferrous Metal Co., Ltd., Shangri-La 674400, Yunnan Province, China; 2. Yunnan Copper Mineral Exploration and Development Co., Ltd., Kunming 650051, China; 3. Kunming Prospecting Design Institute of China Nonferrous Metals Industry Co., Ltd., Kunming 650051, China

Abstract: Pulang copper deposit is of a super-large porphyry type in the eastern Yidun island arc polymetallic ore belt with frequent tectonic magmatic activities and significant superposition of fissure structure and ore forming-ore controlling conditions. However, the research degree is weak. Based on the comprehensive study of tectonic petrography of tunnels in Pulang copper orefield, combined with the regional metallogenic tectonic setting, the paper determines the macroscopic characteristics of folds and faults, and analyzes the joints/fissures in the typical levels. The results show that the mineralization of porphyry copper deposit during the closure of Paleo-Tethys Ocean is closely related to the Late Triassic tectonic evolution and magmatic activity, with Pulang copper deposit formed in subduction orogeny stage. The regional deep faults control the sedimentary formation and magmatite distribution in the orefield. The deposit is generally occurred in the core of Pulang antiform. The secondary NEE- and NE-trending faults control the development of ore-bearing porphyry and joints/fissures, while the ore/mineralized bodies occur at the junction of two groups of faults. The tension joint-dominated compound joint system provides passage and storage space for ore-bearing hydrothermal

收稿日期: 2020-04-28; 修回日期: 2020-05-29. 编辑: 李兰英.

基金项目: 中国铜业有限公司重点科技计划项目(20190101); 迪庆有色科研合字第1号项目(2019).

作者简介: 吴练荣(1972—), 男, 地质高级工程师, 主要从事矿山地质及矿山生产管理工作, 通信地址: 云南省昆明市盘龙区华云路1号中铜大厦23层, E-mail: 1258463536@qq.com

fluid migration, diffusion and enrichment. The development degree of fissures is positively correlated with copper mineralization. By studying the characteristics of magmatic intrusion-tectonic fissure system and ore-controlling rule in the orefield, it is considered that the hydrothermal vein ore/mineralized bodies are strictly controlled by the reformation and enrichment of tectonic and fissure system, and the site where fissure structure is well-developed is favorable target for vein ore prospecting.

Key words: porphyry copper deposit; structure; ore forming-ore controlling condition; Late Triassic; Yunnan Province

0 引言

义敦岛弧带是西南“三江”地区重要的斑岩铜钼多金属成矿带,中、新生代构造活动强烈,发育了多期次的岩浆-构造活动,成矿地质条件优越,普朗铜矿即是义敦岛弧东斑岩带的代表矿床^[1-6]。经过多年的勘查研究,前人已在普朗铜矿床地质特征、成岩成矿时代、含矿斑岩及构造背景、成矿物质来源等方面取得了丰硕的地质成果。早期的研究普遍认为普朗铜矿与晚期的石英闪长玢岩关系密切,并提出普朗斑岩铜矿与洋壳俯冲作用有关,成岩、成矿作用主要集中于晚三叠世洋壳俯冲时期^[7-9]。部分学者则通过岩石学研究得出普朗成矿斑岩体具有洋壳俯冲形成的埃达克岩相似的地球化学特征,总体属钙碱性系列^[10-11]。近年来,随着学者们对成矿斑岩展开研究,得出普朗复式斑岩体形成年龄集中于220~200 Ma,反映其成岩成矿作用集中于印支期^[12-14]。此外,部分研究者还提出普朗属于构造控矿的典型产物^[15],但由于缺乏对构造系统的宏观、微观综合调查和研究,对矿区构造演化、含矿构造空间关系匹配等的认识仍无定论,不仅限制着研究人员深入理解构造对矿体空间展布控制作用的认识,也一定程度地制约矿区深部及外围找矿工作的进展^[16-17]。本次研究在详实野外工作的基础上,结合室内综合研究工作,从宏观、微观层面对矿区构造系统进行调查,以期厘定矿区构造类型,剖析构造与矿化关系,为矿区下一步找矿勘查工作提供科学依据。

1 区域构造成矿地质背景

普朗铜矿位于中甸岛弧南段东斑岩带中南部,甘孜-理塘结合带西侧德格-中甸陆块东缘(图1),区内中、新生代构造活动强烈,发育多期次岩浆活动,成矿条件优越。

1.1 区域构造格架

印支期义敦岛弧带东、西分别以甘孜-理塘缝合

带和金沙江缝合带为界,地处“三江”多岛弧盆系东部、扬子陆块西南缘甘孜-理塘蛇绿混杂岩带西侧,近S-N向展布的乡城-格咱深大断裂的东侧,属甘孜-理塘大洋板块向西陡深俯冲的产物,总体可划分为昌台张性弧(北段)和中甸压性弧(南段)^[18-19]。区域构造格架继承了义敦岛弧的特征,地质构造复杂,总体为NW—NNW向区域性格咱断裂、娘央-夏隆瓦断裂、霍迭喀断裂等区域断裂与NEE向断裂组成基本的断裂系统,并与夹持于其间的红山复式背斜共同组成矿田构造格架。其中,早期NNW向的拉张型断裂控制印支期钠质中-基性火山岩和同源基性-中基性侵入岩的产出,与NEE向断层裂隙系统共同构成容岩(矿)构造,尤以构造交汇部位最为富集^[20]。NW及近E-W向的断裂则控制印支晚期中-酸性火山岩及中酸性浅成斑岩、次火山岩的分布,次级褶皱核部、转折端、翼部的层间破碎带亦是成矿的有利部位。

1.2 区域构造演化

义敦岛弧带总体位于青藏高原东缘、格咱-中甸陆块与金沙江结合带之间,区域经历了复杂的地质构造演化^[21]。甘孜-理塘洋壳向西俯冲最早发生于早三叠世晚期,晚三叠世晚期后大规模向西俯冲消减于中甸-中甸微陆块之下,其西侧形成义敦岛弧-弧后盆地系格局。玄武质火山岩的缺失反映出岛弧带在俯冲早期处于挤压应力环境,地壳部位的“低密度坝”阻截了深部玄武岩岩浆的运移,于上-下地壳界面形成稳定的安山质火山岩,同一后期的中酸性浅成、超浅成斑岩侵位于此,伴随着大量矿产的产出。义敦岛弧北段由于俯冲过快而形成张性弧,在火山喷发和海底热液活动影响下形成大型块状硫化物矿床。南段俯冲速度相对慢而形成角度较缓的压性弧,伴随着大量中酸性斑岩铜矿的产出^[22-23]。甘孜-理塘蛇绿混杂岩和晚三叠世火山-岩浆弧的发育标示着俯冲造山作用的发生,岛弧基底为张性环境下的陆壳基底,由镁铁质-超镁铁

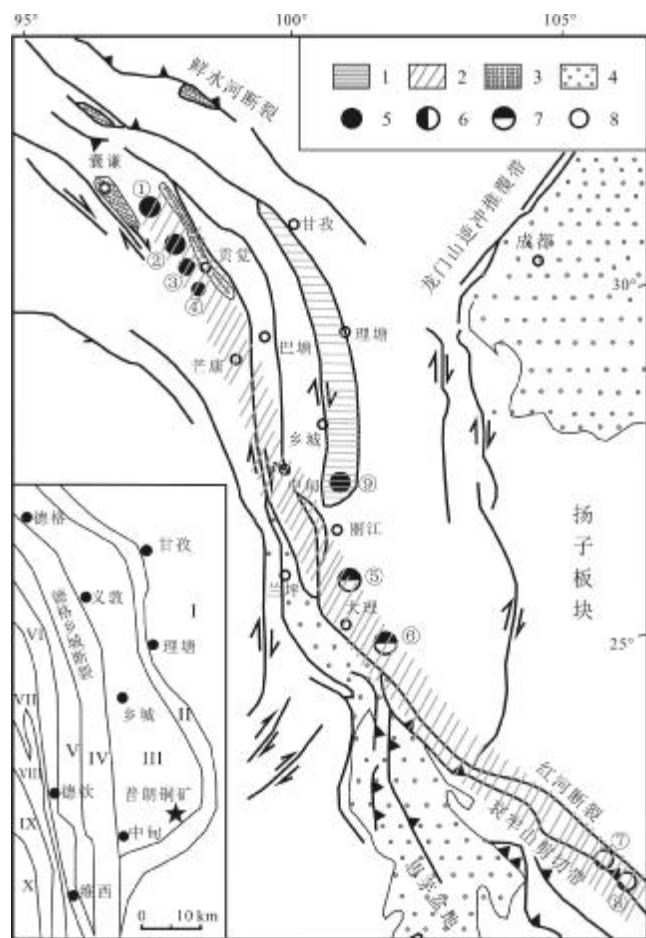


图1 普朗铜矿大地构造位置图

Fig. 1 Geotectonic location map of Pulang copper deposit

I—扬子陆块 (Yangtze block); II—甘孜—理塘结合带 (Garze-Litang junction zone); III—义敦岛弧带 (Yidun island arc belt); IV—中咱微陆块 (Zhongzan microblock); V—金沙江结合带 (Jinsha River junction zone); VI—江达—维西板块结合带 (Jiangda-Weixi junction zone); VII—昌都—兰坪陆块 (Changdu-Lanping block); VIII—三达山—景洪山火山弧 (Sandashan Mountain-Jinghong Mountain volcanic arc); X—保山地块 (Baoshan block); IX—澜沧江结合带 (Lancang River junction zone); 1—义敦岛弧带 (Yidun island arc belt); 2—新生代铜金矿带 (Cenozoic Cu-Au belt); 3—中生代盆地 (Mesozoic basin); 4—新生代盆地 (Cenozoic basin); 5—铜矿床 (Cu deposit); 6—铜钼矿床 (Cu-Mo deposit); 7—铜金矿床 (Cu-Au deposit); 8—金铅锌银多金属矿床 (Au-Pb-Zn-Ag polymetallic deposit); ①玉龙铜矿 (Yulong Cu deposit); ②马拉松多铜矿 (Malasongduo Cu deposit); ③多霞松多铜矿 (Duoxiasongduo Cu deposit); ④马牧普铜矿 (Mamupu Cu deposit); ⑤北衙金矿 (Beiya Au deposit); ⑥马厂箐铜钼金矿 (Machangqing Cu-Mo-Au deposit); ⑦哈播金矿 (Habo Au deposit); ⑧长安金矿 (Chang'an Au deposit); ⑨普朗铜矿 (Pulang Cu deposit)

质岩体、辉长—辉绿岩墙、枕状—块状玄武岩组成,而后的燕山期碰撞造山作用则以同碰撞花岗岩和隆起造山作用为典型特征,产出A型花岗岩^[24]。

2 矿床地质特征

矿区主要出露三叠系尼汝组(Tn^2)碳酸盐岩、图姆沟组(T_3t)火山—碎屑岩建造及第四系,以图姆沟组分布最为广泛,以板岩、绢云板岩、变质砂岩等为主,受岩体及全干力达断裂影响而向南倾斜(图2)。矿区岩浆

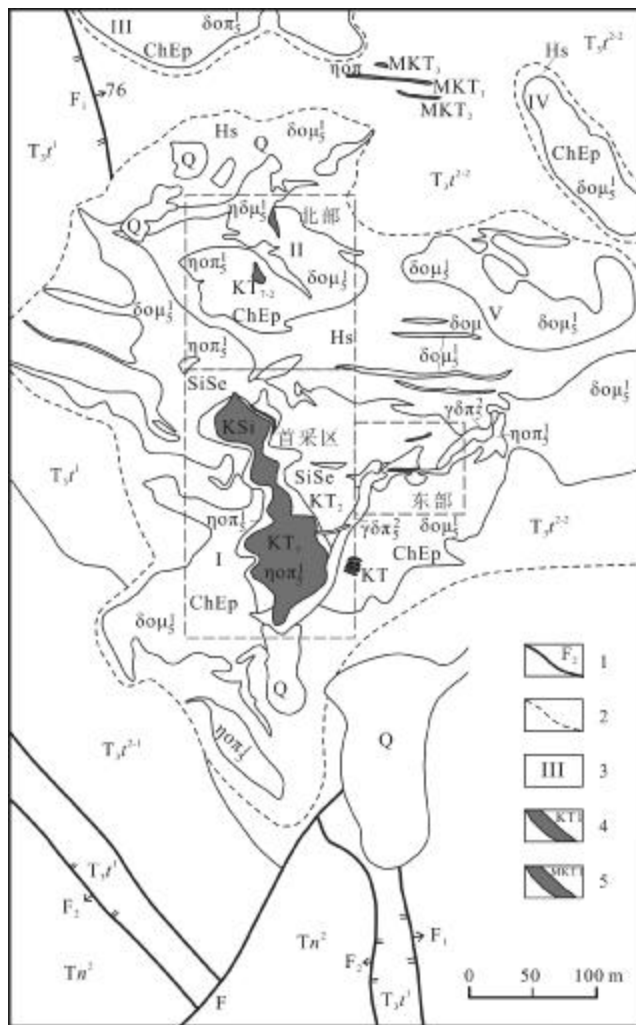


图2 普朗铜矿地质简图

Fig. 2 Geological map of Pulang copper deposit

Q—第四系冰碛物、残坡积物 (Quaternary glacial till and eluvium); T_3t^{2-2} —图姆沟组二段第二层 (2nd layer of 2nd mem. of Tumugou fm.); T_3t^{2-1} —图姆沟组二段第一层 (1st layer of 2nd mem. of Tumugou fm.); T_3t^1 —图姆沟组一段 (1st mem. of Tumugou fm.); $\delta\mu_1$ —石英闪长玢岩 (quartz diorite porphyry); $\gamma\delta\pi_2$ —花岗闪长斑岩 (granodiorite-porphyry); $\eta\sigma\pi_1$ —石英二长斑岩 (quartz monzoporphyry); $\delta\mu_5$ —石英闪长玢岩 (quartz diorite porphyry); $\eta\delta\mu_{51}$ —二长闪长岩 (monzodiorite); Hs—角岩 (化)带 (hornstone/hornfelsic belt); ChEp—青磐岩化带 (propylitized belt); SiSe—硅化绢云母化带 (silicified-sericitized belt); KSi—钾化硅化带 (potassic-silicified belt); 1—断裂 (fault); 2—蚀变界线 (alteration boundary); 3—岩体编号 (rock body number); 4—矿体 (orebody); 5—铅锌矿体 (Pb-Zn orebody)

岩以中部普朗复式岩体规模最大,呈不规则状侵位于图姆沟组砂板岩和安山岩中,地表出露面积达 12 km²,平面上呈不规则卵形.普朗 I 号侵入岩为安山岩同源的印支期中酸性浅成斑岩,与成矿关系密切,赋存矿区最大规模 KT1 矿化体,矿体中心矿化连续,向四周有分枝现象.矿床蚀变分带控制着矿(化)体规模,自含矿斑岩体中心向两侧、顶部可划分为强硅化带→钾长石-黑云母化带→石英、绢云母化带→泥化带→青磐岩化带/角岩化带,依次产出筒状-透镜状-大脉状矿体,其中钾硅酸盐化和石英绢云母化过渡带为蚀变最强烈地段,平面上对应着矿化富集地段.

3 矿区构造成矿系统

3.1 断裂构造特征

前已述及,区内构造线方向主要为 NNW 向,为甘孜-理塘洋壳俯冲过程中形成的压性构造带,与俯冲碰撞带方向一致,是区内关键的控岩控矿构造^[25].矿区位于普朗向斜东翼,与区域构造线方向一致,断层、次级褶皱及节理裂隙发育.普朗背斜核部受普朗复式岩体侵入而呈构造穹隆状,两翼分布图姆沟组地层(T_{3t}),围绕中酸性岩体广泛发育角岩化蚀变.矿区断裂构造严格控制着斑(玢)岩及矿(化)体的空间分布,其中黑水塘断裂(F₁)呈 NW 向斜贯矿区,两盘地层均为图姆沟组,中部被普朗中酸性斑(玢)岩复式岩体侵位,可见构造角砾岩和构造挤压透镜体沿断裂带呈断续状分布,充填物主要为围岩碎屑、围岩角砾(图 2).F₄、F₅ 为区域全干力达断裂的次级断层,发育多组同向微断层,沿断面发育断层泥和金属硫化物.红山断裂(F₂)、F₃ 断层为首采区 NWW 向断裂组,为碳酸盐物

质、围岩碎屑及少量断层泥充填.由表 1 可知,矿区内断裂构造具多期活动特征,各断层在三维空间内相互切错呈不连续状、不规则状(图 3).

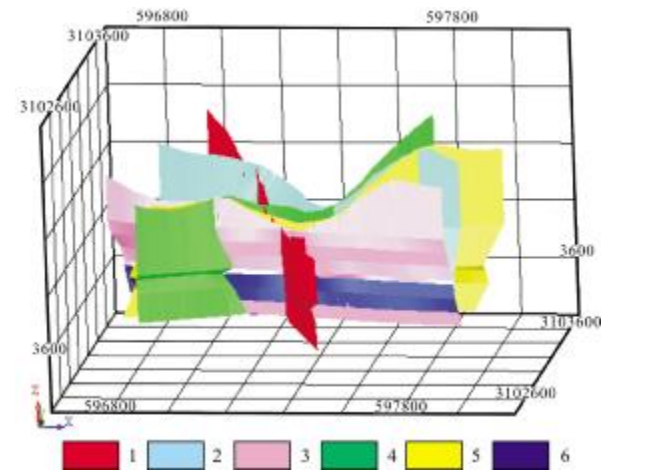


图 3 普朗铜矿区断层三维地质模型

Fig. 3 3D geological model of faults in Pulang copper orefield
1—F₁ 断层(F₁ fault); 2—F₂ 断层(F₂ fault); 3—F₃ 断层(F₃ fault); 4—F₄ 断层(F₄ fault); 5—F₅ 断层(F₅ fault); 6—破碎带(fracture zone)

3.2 节理裂隙特征

受岩体多次侵位及断裂构造持续活动的影响,岩体内及断裂旁侧节理裂隙发育,多见 2~5 mm 宽裂隙呈相互交错、穿插网脉状产出,沿普朗斑岩体与围岩中节理面常见黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿等.由图 4 看出,矿区内主要发育 250~348°、348~70°、115~175°和 200~240°四组优势节理组,以倾向 322~338°节理最发育.裂隙频率多集中于 10 条/m,局部矿(化)体内可达 50 条/m,自岩体中心向外逐渐减少,在平面上呈“Y”字型展布(图 4).矿区内裂隙成因复杂,发育断裂构造派生的剪切裂隙及与穹隆构造相伴而生的“X”共轭剪裂

表 1 普朗铜矿区主要断层性质统计表

Table 1 Properties of major faults in Pulang copper orefield

断层	产状	断层性质	长度/m (破碎带宽度/m)	断层充填物	穿切关系
F ₁	走向 NW,倾向 NE,倾角 61~88°	正	>450 (0.1~2)	围岩碎屑、角砾,断层泥	较早期
F ₂	走向 NW,倾向 SW,倾角 64~87°	张扭性	>570	碳酸盐物质、围岩碎块、断层泥	较晚期
F ₃	走向 NW,倾向 NE,倾角 63~85°		>520	碳酸盐物质、围岩碎屑、断层泥	较晚期
F ₄	走向 NE,倾向 SE,倾角 58~82°	逆	>580 (0.1~2)	碳酸盐物质、断层泥及围岩碎屑	被 F ₂ 、F ₃ 切错
F ₅	走向 NE,倾向 NW,倾角 37~78°	逆	>540	碳酸盐物质、石英、断层泥	被 F ₂ 、F ₃ 切错

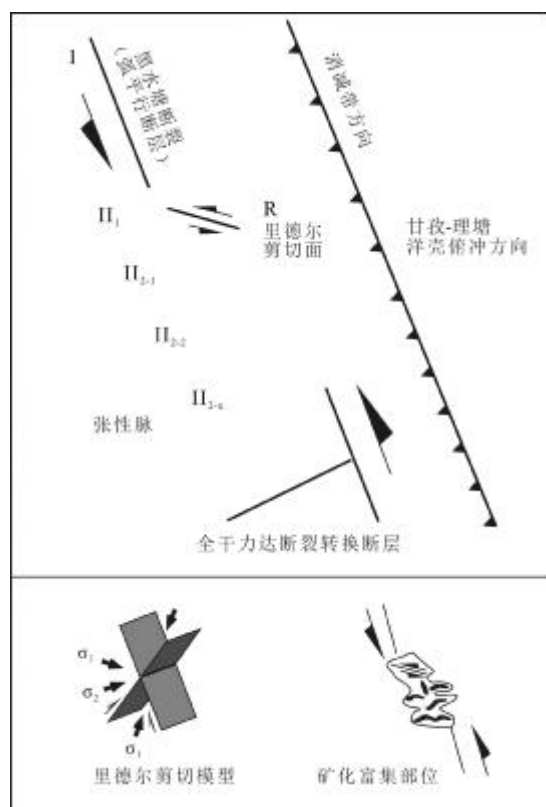


图4 普朗铜矿构造形成机制

Fig. 4 Formation mechanism of structure in Pulang copper deposit

隙。斑岩体内的原生冷缩裂隙、次生裂隙兼具张节理、剪节理特征,属于岩浆活动、成岩作用关系密切的复合型节理,为含矿热液提供了良好的运移通道和存储空间。

3.3 矿区构造微观特征

普朗铜矿床中不同构造组合形式(图4)如下: I级构造,为矿区断裂构造,即弧平行断裂黑水塘断裂及转换断层全干力达断裂; II级构造,包括走向为 NWW 的左行剪切断层(部分右行,以逆断层为主,部分为正断层)(II1)、以 NWW 向为主的张性节理(II2-1)及其近 $\text{S}\text{-N}$ 向的张性脉变种(II2-2),以及由于应力状态不同而形成的张性节理(II2-x); III级构造,应力持续作用下形成的连接构造、张性节理、挠曲、羽裂(III1)。岩体在侵位过程中,后期岩浆活动对早期岩体的顶蚀作用及岩体本身的冷凝收缩及后期部分地下水、变质水加入的水力致裂及微裂隙网络是相互联系的,它们共同组成了普朗铜矿床的断裂-节理脉系统。

区内节理构造多发育于石英闪长玢岩、矿化石英二长斑岩中,可见同一岩体内发育多组裂隙(裂隙)(图5),长轴方位多为 NE 、 NEE 向,与里德尔剪切模型

中张性构造发育的有利部位相符。而近 $\text{E}\text{-W}$ 向、 NNW 向($280\sim 290^\circ$)为节理优选方向,表明普朗铜矿床中弧平行断裂的次级张性构造,将其划定为 II2-1 (图6)。

研究中观察到,部分张性断层、节理裂隙的长轴方向并非为里德尔剪切模型中张性构造有利部位,而是趋于顺时针 45° 夹角。随着同生于消减平行断层构造剪切作用的增强,先前赋存的脉体在逐步旋转过程中逐渐增厚,压性的形成机制亦随之转换为张性机制为主的新张性环境,促使张性裂隙两端加长而成拉长的“S”状,该作用机制下扩充形成的 II2 容矿空间更利于矿质沉淀富集。此外,由于普朗复式岩体遭受了多期次的构造作用,早期岩体及岩体对容矿斑岩体的各方向力形成了岩体受力的各向异性,局部地段的张应力转换为压应力,以致张性脉体的不统一性(II2-x),尤以雁列脉体的转变最为显著。总体上,矿区在应力持续作用下形成的构造系统为早期岩体的顶蚀作用及岩体本身的冷凝收缩的微裂隙提供沉淀场所,致使普朗铜矿垂向上呈“穹隆”状,矿化富集部位则呈“多葫芦”状。此外,由于还原性流体中 Cu 元素溶解度较之氧化性流体中低,而 Au 元素不受氧化还原条件影响,导致普朗铜矿 Cu 品位偏低而伴生大量 Au 、 Mo 矿化。

3.4 矿区构造裂隙-脉分布规律

构造裂隙-脉是矿体产出位置差异的决定要素^[26-27]。本次研究对矿区 10~14 线共 9 个钻孔中构造裂隙-脉数量进行统计分析,发现成矿主阶段裂隙-脉在矿(化)体中非常发育,主要集中分布于石英二长斑岩体中,矿体膨大区域显示不同的集中发育中心,裂隙-脉所占比例自岩体中心往外逐渐降低。此外,各钻孔自浅部至深部裂隙-脉发育程度、矿化强度呈逐渐增强的演化趋势。图7可看出: 1) 浅部的成矿早阶段裂隙-脉分布部分张性裂隙,几乎不含矿; 2) 成矿主阶段裂隙-脉产出形式丰富,可见充填石英黄铁矿张性裂隙切穿早期无矿化石英脉,亦或细小黄铁黄铜矿脉切错斜长石斑晶,表明成矿主阶段裂隙-脉是早阶段形成的石英脉受后期区域剪切作用而再次张开、错开的裂隙构造; 3) 成矿晚阶段裂隙-脉则多分布于矿体边部,多切断成矿主阶段石英黄铜矿裂隙而充填绿泥石,矿化微弱。由此可看出,矿区成矿主阶段的裂隙-脉主要集中于矿体中上部,成矿受岩浆自身收缩冷凝

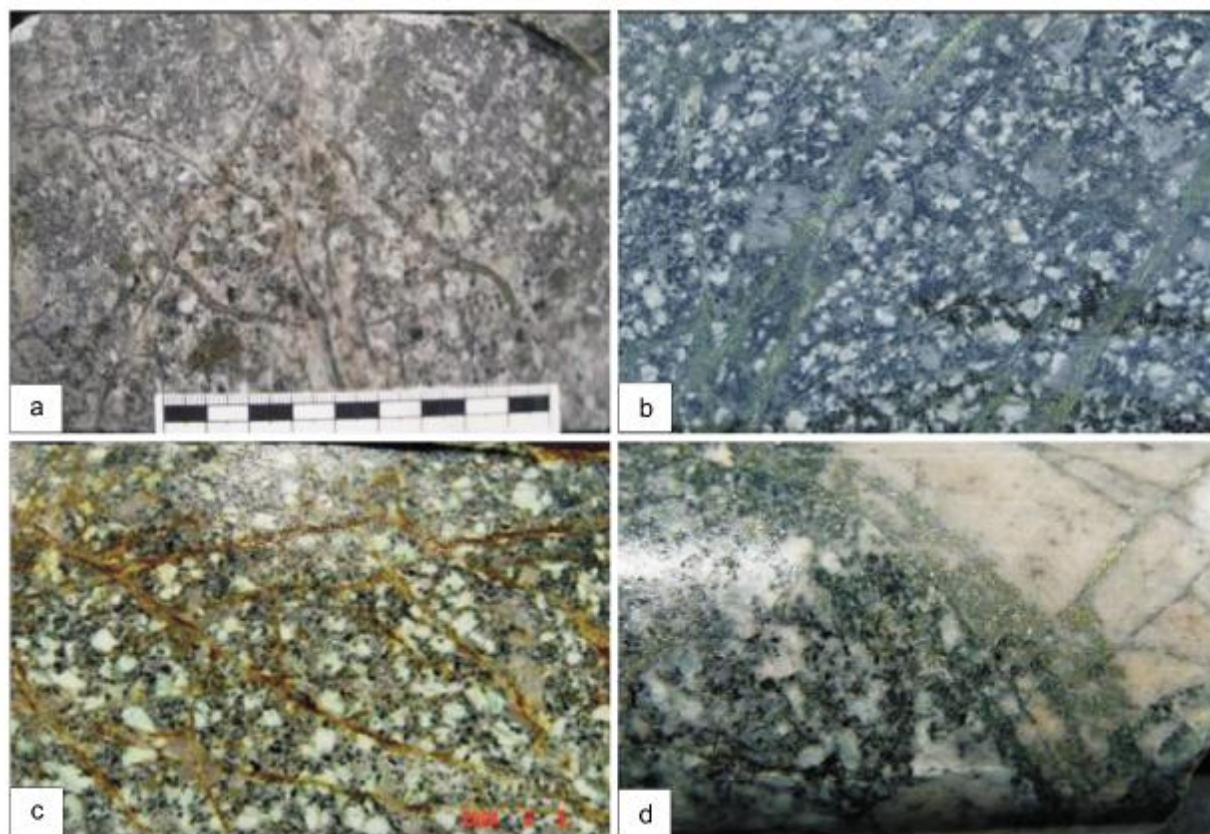


图5 普朗铜矿复式斑岩体节理(裂隙)显微特征

Fig. 5 Microphotographs of joints/fissures in the composite porphyry bodies of Pulang copper orefield

a—石英闪长玢岩中发育的密集裂隙 (dense fissures in quartz diorite porphyry); b—铜矿化石英二长斑岩中的密集裂隙 (dense fissures in copper mineralized quartz monzoporphyry); c—风化石英闪长玢岩发育的3组节理(joints developed in weathered quartz diorite porphyry); d—钾化石英二长斑岩铜矿石中发育的3组裂隙(fissures developed in potassic quartz monzoporphyry copper ore)

外,区域剪切作用亦贯穿整个成矿过程,为矿化富集、沉淀提供有利条件。

4 构造控矿特征

4.1 断裂控矿特征

前已述及,区域大断裂的持续活动控制着岩浆岩的侵入就位,构造裂隙的发育程度直接影响着矿床的规模。从区域上看,构造+褶皱组合为深部岩浆向地壳浅部升移、定位提供空间。普朗铜矿总体产出在 NWW 向黑水塘断裂与 NEE 向构造的交汇部位,多组断裂构造相交构成的复杂裂隙系统为后期岩浆活动及成矿热液的循环创造了良好条件。石英闪长玢岩、石英二长斑岩沿 NWW 向断裂呈条带状侵入就位(图 8a),晚期的花岗闪长斑岩则沿 NE 向的全力干达断裂侵入(图 8b),矿质沿同向次级断裂和裂隙系统形成大脉状铜矿体。

岩体侵入后,NEE、NWW 向两组控矿断裂仍处于

活动期,不同程度控制着蚀变、矿化强度。后期侵位的石英二长斑岩呈“蝌蚪”状沿黑水塘断裂展布。钾化、硅化为主的围岩蚀变呈带状与断裂平行展布,在岩体中心形成钾化硅化带(KSi)、绢英岩化带(Sise)和青磐岩化带(ChEp)(图 2)。含矿热液沿断裂上部 and 两侧运移过程中,断层上盘活动强度较下盘更强,这主要是断裂上盘对流循环天水的汇入所致,以全干力达断裂(F_4)的大脉状铜矿体和强烈蚀变最为显著。此外,本次研究对断裂构造与矿(化)体的分布距离进行了统计,结论是 53% 的矿床受控于断裂构造 4.2 km 范围内,进一步表明断裂构造对普朗铜矿分布有明显控制作用,即 NW 向断裂控制岩体分布,次级 NEE、NE 向断层和 NWW 向断裂构造交汇复合部位为成矿提供场所,并在空间上表现主 8~10 km 的等距性。

4.2 褶皱构造控矿特征

受区域印支期壳-幔型中酸性岩浆活动和斑(玢)

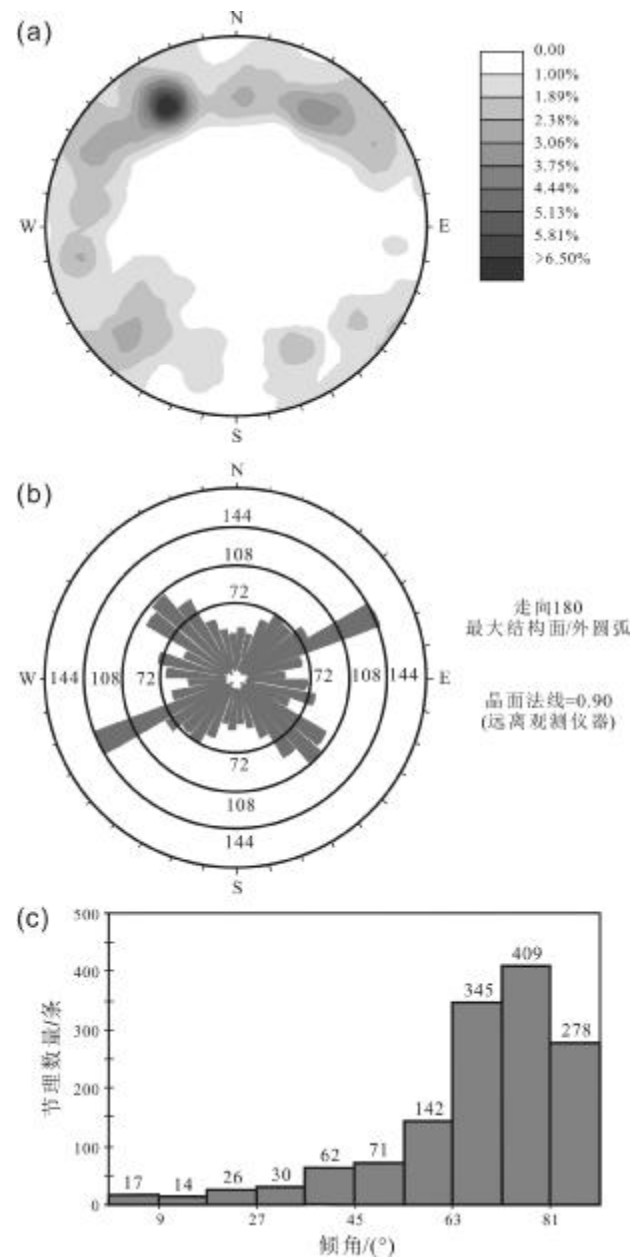


图 6 普朗铜矿区 3720 中段容矿裂隙统计特征

Fig. 6 Statistical characteristics for ore-hosting fissures in No. 3720 level of Pulang copper orefield

a—裂隙密度图(fissure density); b—裂隙走向图(fissure strike); c—裂隙倾角分布图(histogram distribution of fissure dip)

岩体的控制,区内矿床分布亦表现出一定的规律性:沿背斜(背形)构造轴部多形成斑岩型铜矿,向斜构造核部多发育以夕卡岩化为主的铜多金属矿床,远离岩体的围岩中形成热液型富 Ag、Au 的 Pb-Zn(Cu)矿床或 Au(Ag)矿床。矿区总体产出于普朗向斜东翼的普朗背形构造中。由此可见,普朗铜矿是区内构造、岩浆、围岩、流体诸多因素耦合的斑岩型铜矿床。当岩浆多侵

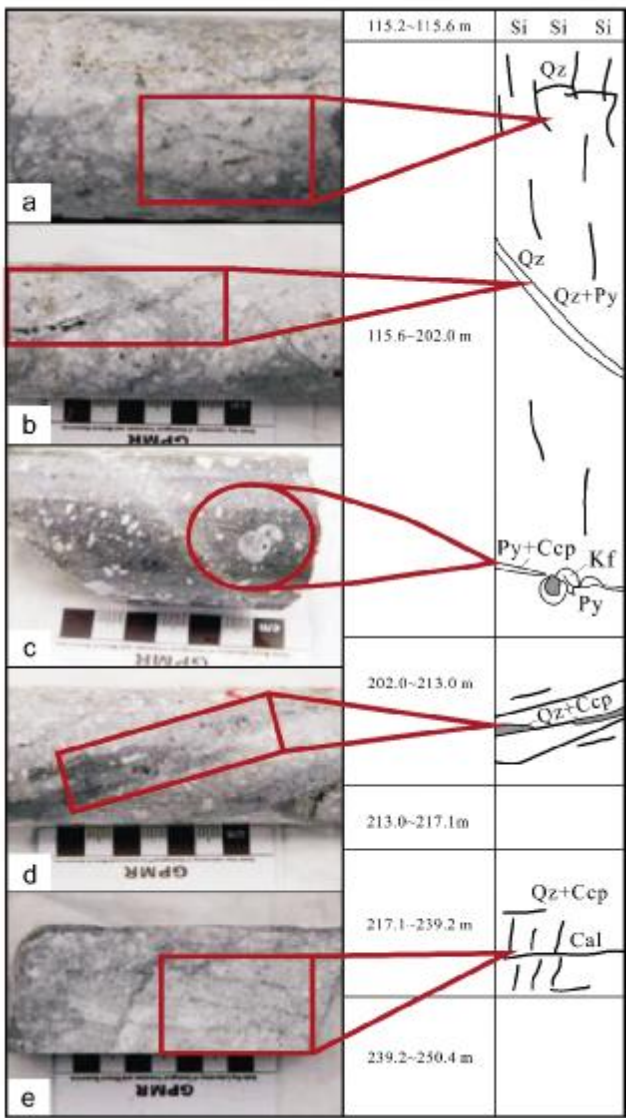


图 7 普朗铜矿不同阶段裂隙-脉垂向分布(ZK1003)

Fig. 7 Vertical distribution of fissure-vein of Pulang copper

deposit in different stages

a—成矿早阶段高角度张性石英裂隙(high-angle tensional quartz fissure in the early stage of mineralization); b—高角度张性石英-黄铁矿裂隙,切穿早阶段石英脉 (high-angle tensional quartz-pyrite fissure cutting through early-stage quartz vein); c—成矿主阶段黄铜-黄铁矿裂隙,切穿了钾长石,钾长石内部可见黄铁矿颗粒 (chalcopyrite-pyrite fissure in the main mineralization stage cutting through potash feldspar); d—充填石英-黄铜矿裂隙,被后期剪切作用错开拉长 (fissure filled with quartz-chalcopyrite, leaped and stretched by later shearing); e—成矿晚阶段充填绿泥石的裂隙,错断了含矿化的石英-黄铁矿裂隙 (chlorite-filled fissure in the late mineralization stage leaping the fissure with mineralized quartz-pyrite)

位至浅部图姆沟组的火山岩及火山沉积岩层中,成矿流体于有利背斜轴部形成斑岩型铜矿床;当侵位深度



图8 普朗铜矿复式岩体构造特征

Fig. 8 Structural characteristics of composite rock body in Pulang copper deposit

较大时,曲嘎寺组中的大量碳酸盐岩为夕卡岩型铜多金属矿床的形成提供条件,向斜构造轴部则为主要的赋矿空间。总体上,褶皱严格控制着成矿岩体的产出。

4.3 节理裂隙控矿特征

前已述及,普朗矿床是俯冲造山作用的代表产物,成矿与岩浆热液活动关系密切,构造裂隙的发育直接影响着矿化富集程度^[28-29]。从区域上看,复背斜构造利于深部岩浆向地壳浅部升移,但受格咱深大断裂活动的影响,岩浆热液迅速运移至地表,而深大断裂旁侧的次一级构造裂隙发育为浅成-超浅成岩侵入创造了极为有利的条件,致使岩浆活动集中发育于断裂东侧。受断裂构造和岩浆多期次持续活动的影响,普朗复式斑(玢)岩内及断裂旁侧节理(裂隙)发育。前人认为延伸较长、深度较大且张开较宽的复合型节理度成矿最有利^[24]。据本次研究统计,裂隙平面延伸可达0.2~2 m,节理(裂隙)显示出明显的多向性,以NW、NE向节理发育最甚。矿区内张节理为主的复合型节理(裂隙)系统为矿质的运移、扩散及沉淀提供良好的导矿和储矿空间,裂隙构造的发育程度与铜金属矿化呈明显的正相关,各向裂隙互相穿插,裂隙内充填石英-黄铁矿、绢云母、长英质等矿物。先前形成的微细浸染状矿石在热液活动的促使下形成富铜的石英脉型富矿体。矿区东矿段的厚大富脉状矿体即是近E-W向次级构造裂隙内的产物。

5 结论

通过大量野外调查工作及室内分析整理,系统厘定普朗矿区区域构造演化、矿区构造特征和构造控矿

规律,认为:1)区内一级断裂构造具有重要的导岩、导矿作用,次级断裂构造是含矿岩浆热液的运移通道,次级同生、派生断裂、裂隙带及更低序次的微构造节理(裂隙)则是容矿和储矿场所;2)区内NE向主干断裂、褶皱控制着斑(玢)岩体空间展布,次一级NEE向断裂与主干断裂交汇部位是与矿化关系密切的杂岩体分布区,断裂在区域上呈等间距展布,间距8~10 km。普朗铜矿即是产于多向构造交汇-叠合地段;3)矿床东矿段为典型构造(裂隙)控制所形成的脉状铜矿体,已在西部首采区揭露大量与矿(化)体展布方向一致的断层、节理及裂隙构造,并沿该组构造发育脉状、细脉状及细脉浸染状矿化,故东矿段KT5、KT10沿E4线倾向延伸方向是寻找裂隙“大脉状”富矿体的有利靶区。此外,矿床北矿段76线以北已探获热液脉型铅锌矿资源 40×10^4 t以上,沿成矿石英二长斑岩脉体发育地段探寻裂隙脉状矿是下步勘查工作的重点。

参考文献(References):

- [1]侯增谦,杨志明. 中国大陆环境斑岩型矿床:基本地质特征、岩浆热液系统和成矿概念模型[J]. 地质学报, 2009, 83(12): 1779-1817.
Hou Z Q, Yang Z M. Porphyry deposits in continental settings of China: geological characteristics, magmatic-hydrothermal system, and metallogenic model[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(12): 1779-1817.
- [2]罗照华,卢欣祥,陈必河,等. 碰撞造山带斑岩型矿床的深部约束机制[J]. 岩石学报, 2008, 24(3): 447-456.
Luo Z H, Lu X X, Chen B H, et al. The constraints from deep processes on the porphyry metallogenesis in collisional orogens[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(3): 447-456.
- [3]芮宗瑶,张立生,陈振宇,等. 斑岩铜矿的源岩或源区探讨[J]. 岩

- 石学报, 2004, 20(2): 229–238.
- Rui Z Y, Zhang L S, Chen Z Y, et al. Approach on source rock or source region of porphyry copper deposits[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2004, 20(2): 229–238.
- [4] 刘江涛, 杨立强, 吕亮. 中甸普朗还原性斑岩型铜矿床: 矿物组合与流体组成约束[J]. *岩石学报*, 2013, 29(11): 3914–3924.
- Liu J T, Yang L Q, Lü L. Pulang reduced porphyry copper deposit in the Zhongdian area, Southwest China: constrains by the mineral assemblages and the ore-forming fluid compositions[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(11): 3914–3924.
- [5] 祝向平, 陈华安, 马东方, 等. 西藏波龙斑岩铜金矿床钾长石和绢云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J]. *矿床地质*, 2013, 32(5): 954–962.
- Zhu X P, Chen A H, Ma D F, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of hydrothermal K-feldspar and hydrothermal sericite from Bolong porphyry Cu-Au deposit in Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 2013, 32(5): 954–962.
- [6] 冷成彪, 张兴春, 秦朝建, 等. 滇西北雪鸡坪斑岩铜矿流体包裹体初步研究[J]. *岩石学报*, 2008, 24(9): 2017–2028.
- Leng C B, Zhang X C, Qin C J, et al. Study of fluid inclusions in quartz veinlets in the Xuejiping porphyry copper deposit, Northwest Yunnan, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(9): 2017–2028.
- [7] 曾普胜, 侯增谦, 李丽辉, 等. 滇西北普朗斑岩铜矿床成矿时代及其意义[J]. *地质通报*, 2004, 23(11): 1127–1131.
- Zeng P S, Hou Z Q, Li L H, et al. Age of the Pulang porphyry copper deposit in NW Yunnan and its geological significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 2004, 23(11): 1127–1131.
- [8] 李文昌, 刘学龙, 曾普胜, 等. 云南普朗斑岩型铜矿成矿岩体的基本特征[J]. *中国地质*, 2011, 38(2): 403–414.
- Li W C, Liu X L, Zeng P S, et al. The characteristics of metallogenic rocks in the Pulang porphyry copper deposit of Yunnan Province[J]. *Geology in China*, 2011, 38(2): 403–414.
- [9] 刘学龙, 李文昌, 尹光侯, 等. 云南格朗岛弧普朗斑岩型铜矿年代学、岩石矿物学及地球化学研究[J]. *岩石学报*, 2013, 29(9): 3049–3064.
- Liu X L, Li W C, Yin G H, et al. The geochronology, mineralogy and geochemistry study of the Pulang porphyry copper deposits in Geza arc of Yunnan Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(9): 3049–3064.
- [10] 曹殿华, 王安建, 李文昌, 等. 普朗斑岩铜矿岩浆混合作用: 岩石学及元素地球化学证据[J]. *地质学报*, 2009, 83(2): 166–175.
- Cao D H, Wang A J, Li W C, et al. Magma mixing in the Pulang porphyry copper deposit: evidence from petrology and element geochemistry[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(2): 166–175.
- [11] 王守旭, 张兴春, 秦朝建, 等. 滇西北中甸普朗斑岩铜矿流体包裹体初步研究[J]. *地球化学*, 2007, 36(5): 467–478.
- Wang S X, Zhang X C, Qin C J, et al. Fluid inclusions in quartz veins of Pulang porphyry copper deposit, Zhongdian, northwestern Yunnan, China[J]. *Geochimica*, 2007, 36(5): 467–478.
- [12] 曹康, 许继峰, 陈建林, 等. 云南普朗超大型斑岩铜矿床含矿斑岩成因及其成矿意义[J]. *矿床地质*, 2014, 33(2): 307–322.
- Cao K, Xu J F, Chen J L, et al. Origin of porphyry intrusions hosting superlarge Pulang porphyry copper deposit in Yunnan Province: implications for metallogenesis [J]. *Mineral Deposits*, 2014, 33(2): 307–322.
- [13] 庞振山, 杜杨松, 王功文, 等. 云南普朗复式岩体锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2009, 25(1): 159–165.
- Pang Z S, Du Y S, Wang G W, et al. Single-grain zircon U-Pb isotopic ages, geochemistry and its implication of the Pulang complex in Yunnan Province, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(1): 159–165.
- [14] 冷成彪, 张兴春, 王守旭, 等. 云南中甸地区两个斑岩铜矿成矿斑岩的地球化学特征——以雪鸡坪和普朗斑岩铜矿床为例[J]. *矿物学报*, 2007, 27(3): 414–422.
- Leng C B, Zhang X C, Wang S X, et al. Geochemical characteristics of porphyry copper deposits in the Zhongdian area, Yunnan as exemplified by the Xuejiping and Pulang porphyry copper deposits [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2007, 27(3): 414–422.
- [15] 刘学龙, 李文昌, 张娜, 等. 滇西北普朗斑岩铜矿与成矿有关的花岗岩与全球埃达克岩的对比: 大数据研究的初步结果[J]. *岩石学报*, 2018, 34(2): 289–302.
- Liu X L, Li W C, Zhang N, et al. Comparative study on mineralization-related granite of Pulang porphyry copper deposit in northwestern Yunnan and global adakite: The preliminary results of big data research[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2018, 34(2): 289–302.
- [16] 孙贵荣, 董建春. 香格里拉欠虽铜铁矿床地质特征及成矿预测[J]. *云南地质*, 2009, 28(3): 263–267.
- Sun G R, Dong J C. The geological characteristics of Qiansui Cu-Fe deposit in Xianggelila and metallogenetic prognosis[J]. *Yunnan Geology*, 2009, 28(3): 263–267.
- [17] 曾普胜, 王海平, 莫宣学, 等. 中甸岛弧带构造格架及斑岩铜矿前景[J]. *地球学报*, 2004, 25(5): 535–540.
- Zeng P S, Wang H P, Mo X X, et al. Tectonic setting and prospects of porphyry copper deposits in Zhongdian island arc belt [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2004, 25(5): 535–540.
- [18] 侯增谦, 杨岳清, 曲晓明, 等. 三江地区义敦岛弧造山带演化和成矿系统[J]. *地质学报*, 2004, 78(1): 109–120.
- Hou Z Q, Yang Y Q, Qu X M, et al. Tectonic evolution and mineralization systems of the Yidun arc orogen in Sanjiang Region, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2004, 78(1): 109–120.
- [19] 任江波, 许继峰, 陈建林, 等. “三江”地区中甸弧普朗成矿斑岩地球化学特征及其成因[J]. *岩石矿物学杂志*, 2011, 30(4): 581–592.

- Ren J B, Xu J F, Chen J L, et al. Geochemistry and petrogenesis of Pulang porphyries in Sanjiang region[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2011, 30(4): 581–592.
- [20]侯增谦, 曲晓明, 周继荣, 等. 三江地区义敦岛弧碰撞造山过程: 花岗岩记录[J]. *地质学报*, 2001, 75(4): 484–497.
- Hou Z Q, Qu X M, Zhou J R, et al. Collision-orogenic processes of the Yidun arc in the Sanjiang region: record of granites [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2001, 75(4): 484–497.
- [21]李艳军, 魏俊浩, 陈华勇, 等. 义敦岛弧带早白垩世 A 型花岗岩成因: 锆石 U–Pb 年代学、地球化学及 Hf 同位素制约[J]. *大地构造与成矿学*, 2014, 38(4): 939–953.
- Li Y J, Wei J H, Chen H Y, et al. Petrogenesis of the Xiasai Early Cretaceous A-type granite from the Yidun island arc belt, SW China: constraints from zircon U–Pb age, geochemistry and Hf isotope [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2014, 38(4): 939–953.
- [22]邓军, 王长明, 李龚健, 等. 复合成矿系统理论: 揭开西南特提斯成矿之谜的关键[J]. *岩石学报*, 2019, 35(5): 1303–1323.
- Deng J, Wang C M, Li G J, et al. The theory of composite metallogenic system: key of recovering metallogenic mystery in the SW Tethys [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2019, 35(5): 1303–1323.
- [23]曾普胜, 李文昌, 王海平, 等. 云南普朗印支期超大型斑岩铜矿床: 岩石学及年代学特征[J]. *岩石学报*, 2006, 22(4): 989–1000.
- Zeng P S, Li W C, Wang H P, et al. The indosinian Pulang superlarge porphyry copper deposit in Yunnan, China: petrology and chronology [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(4): 989–1000.
- [24]曾普胜, 莫宣学, 喻学惠, 等. 滇西北中甸斑岩及斑岩铜矿[J]. *矿床地质*, 2003, 22(4): 393–400.
- Zeng P S, Mo X X, Yu X H, et al. Porphyries and porphyry copper deposits in Zhongdian area, Northwestern Yunnan [J]. *Mineral Deposits*, 2003, 22(4): 393–400.
- [25]郭欣, 杜杨松, 庞振山, 等. 云南普朗斑岩铜矿蚀变带成矿流体特征及其成矿意义[J]. *现代地质*, 2009, 23(3): 465–471.
- Guo X, Du Y S, Pang Z S, et al. Characteristics of the ore-forming fluids in Alteration zones of the Pulang porphyry copper deposit in Yunnan Province and its metallogenic significance [J]. *Geoscience*, 2009, 23(3): 465–471.
- [26]赵文津. 大型斑岩铜矿成矿的深部构造岩浆活动背景[J]. *中国地质*, 2007, 34(2): 179–205.
- Zhao W J. Deep tectono-magmatic setting for metallogenesis of large porphyry copper deposits [J]. *Geology in China*, 2007, 34(2): 179–205.
- [27]姚春亮, 陆建军, 郭维民, 等. 斑岩铜矿若干问题的最新研究进展[J]. *矿床地质*, 2007, 26(2): 221–229.
- Yao C L, Lu J J, Guo W M, et al. The latest advances in researches on porphyry copper deposits [J]. *Mineral Deposits*, 2007, 26(2): 221–229.
- [28]申萍, 潘鸿迪. 中亚成矿域斑岩铜矿床基本特征[J]. *岩石学报*, 2015, 31(2): 315–332.
- Shen P, Pan H D. Characteristics of the porphyry Cu deposits in the central Asia metallogenic domain [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2015, 31(2): 315–332.
- [29]尹大胜, 方维萱, 郭玉乾. 云南东川铜矿田面山—四棵成矿带裂隙构造控矿规律[J]. *金属矿山*, 2019, 48(5): 117–123.
- Yin D S, Fang W X, Guo Y Q. Metallogenic regularity of fracture structure of Mianshan-Sikeshu metallogenic belt in Dongchuan copper orefield [J]. *Metal Mine*, 2019, 48(5): 117–123.

(上接第 185 页/Continued from Page 185)

- [21]刘国华, 傅伯杰, 吴钢, 等. 环渤海地区土壤有机碳库及其空间分布格局的研究[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(9): 1489–1493.
- Liu G H, Fu B J, Wu G, et al. Soil organic carbon pool and its spatial distribution pattern in the circum Bohai region [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(9): 1489–1493.
- [22]郭晶晶, 夏学齐, 杨忠芳, 等. 长江流域典型区域土壤碳库变化及其影响因素[J]. *地学前缘*, 2015, 22(6): 241–250.
- Guo J J, Xia X Q, Yang Z F, et al. Changes of soil carbon pool in typical areas of Changjiang drainage basin and its influencing factors [J]. *Earth Science Frontiers*, 2015, 22(6): 241–250.
- [23]陈富荣, 梁红霞, 邢润华, 等. 安徽省土壤固碳潜力及有机碳汇(源)研究[J]. *土壤通报*, 2017, 48(4): 843–851.
- Chen F R, Liang H X, Xing R H, et al. Soil carbon sequestration potential and organic carbon sink/Source in Anhui Province [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2017, 48(4): 843–851.
- [24]王诚煜, 李玉超, 于成广, 等. 辽宁西部沿海地区土壤碳库时空分布特征及其影响因素[J]. *地质调查与研究*, 2019, 42(3): 208–218.
- Wang C Y, Li Y C, Yu C G, et al. Temporal and spatial distribution characteristics of soil carbon pool in western coast of Liaoning Province and its influencing factors [J]. *Geological Survey and Research*, 2019, 42(3): 208–218.