

西藏改则县波龙斑岩型铜金矿床地球化学特征及成因浅析

李玉彬^{1, 2)}, 钟婉婷¹⁾, 张天平²⁾, 陈华安³⁾, 李玉昌²⁾, 陈红旗²⁾, 范安辉²⁾

1) 成都理工大学地球科学学院, 四川成都 610059;

2) 西藏自治区地质矿产勘查开发局第五地质大队, 青海格尔木 816000;

3) 成都地质矿产研究所, 四川成都 610081

摘 要: 波龙铜金矿床是喜马拉雅特提斯成矿域班-怒成矿带西段产出的大型铜金矿床, 是多龙铜金矿集区的重要组成部分, 找矿潜力巨大。波龙矿区内的含矿斑岩体基本上全岩矿化, 矿体呈不规则筒柱状产于早白垩世花岗闪长斑岩体中及其与下侏罗统曲色组砂岩的接触带内。目前控制矿体长度 1200 m, 向深部延伸大于 1000 m(倾向 200°), 最大连续厚度为 473.47 m, 未穿透矿体。矿体平面投影呈似椭圆状, 面积约 1.2 km²。本文通过对波龙铜金矿床地质、矿床地球化学特征的研究, 认为该矿床的形成与斑岩体侵位、岩浆期后成矿流体的演化有关, 矿床类型属于斑岩型铜金矿。矿石构造为斑岩铜矿典型的细脉-浸染状构造。金属矿物以黄铜矿为主, 次为黄铁矿、斑铜矿、辉钼矿、磁铁矿、镜铁矿等, 非金属矿物有石英、长石、绢云母、黑云母、硬石膏等。通过硅酸盐分析, 里特曼组合指数—戈蒂里图解表明波龙斑岩型铜金矿的花岗闪长斑岩属钙碱性系列, 形成于岛弧环境; 稀土元素地球化学特征反映以岩浆热液成矿作用为主。

关键词: 波龙; 斑岩型; 铜金矿; 地球化学特征; 矿床成因; 西藏

中图分类号: P588.13; P594.1 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2012.04.18

Geochemical Characteristics and Genesis of the Bolong Porphyry Copper-Gold Deposit in Gerze County, Tibet

LI Yu-bin^{1, 2)}, ZHONG Wan-ting¹⁾, ZHANG Tian-ping²⁾, CHEN Hua-an³⁾, LI Yu-chang²⁾,
CHEN Hong-qi²⁾, FAN An-hui²⁾

1) College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059;

2) No. 5 Geological Party, Tibet Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Golmud, Qinghai 816000;

3) Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu, Sichuan 610081

Abstract: The Bolong Cu-Au deposit with great prospecting potential is a large ore deposit in the western part of the Bangong Co-Nujiang River Metallogenic Belt of the Himalayan Tethyan metallogenic domain, and also an important part of the Duolong ore concentration area. The ore-bearing porphyries of the Bolong ore field were basically mineralized. The ore body in the irregular pipe columnar form was in early Cretaceous granodiorite porphyry and the contact zone with Lower Jurassic Quse Formation sandstone. The ore body is 1200 m in length and greater than 1000 m in downward extension (dipping 200°), and its maximum continuous thickness is 473.47 m. The ore body hasn't been penetrated by drilling. The planar projection of the ore body is oval-shaped and its area is approximately 1.2km². The authors studied geological and geochemical characteristics of the Bolong Cu-Au deposit and found that the formation of this deposit was related to porphyry emplacement and magmatic

本文由国家自然科学基金项目(编号: 41172077)和公益性行业科研专项(编号: 201011013-3)联合资助。

收稿日期: 2012-05-30; 改回日期: 2012-06-21。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 李玉彬, 男, 1982 年生。工程师。从事矿产勘查评价工作。E-mail: liyb73@163.com。

evolution of the ore-forming fluids. This deposit is a copper-gold porphyry deposit. Ore structure is typical porphyry copper veinlets-disseminated structure. Metallic minerals are mainly chalcopyrite and secondarily pyrite, bornite, molybdenite, magnetite, and specularite, whereas non-metallic minerals are quartz, feldspar, sericite, biotite, anhydrite, etc. The Bolong porphyry copper-gold deposit was formed in an island arc environment and its granodiorite porphyry was calc-alkaline series, as evidenced by silicate analysis and Rietmann combination index-Gotti graphic table. REE geochemical characteristics suggest that the mineralization was mainly magmatic hydrothermal mineralization.

Key words: Bolong; porphyry; copper-gold deposit; geochemical characteristics; mineral genesis; Tibet

西藏改则县波龙铜金矿床是班公湖-怒江成矿带西段产出的重要斑岩型矿床(图 1), 与其北东侧相距约 5 km 的多不杂铜金矿床共同组成多龙矿集区内的两大矿床。该矿床是青藏专项实施以来取得的重大找矿突破, 2005—2010 年施工 26 个钻孔, 钻探进尺约 13000 m, 其铜、伴生金资源量均达到大型以上规模, 受到国内外地质学家的广泛关注。文章通过对波龙铜金矿床地质特征和矿床地球化学特征的详细研究, 为区域找矿提供指导。

1 成矿地质背景

波龙铜金矿床位于羌塘-三江复合板片南缘的多不杂构造岩浆带中, 以多不杂为中心, 西至地堡

那木岗, 东至尔尔勤, 东西长约 60 km, 南北宽约 10 km(图 1), 面积约 600 km²。地层出露比较简单, 主要是下-中侏罗统曲色组(J_{1q})和色哇组(J_{1-2s})的一套滨海相碎屑岩建造, 该建造包含有中酸性浅成侵入岩, 中基性喷出岩等。其次有下白垩统美日切错组(K_{1m})的一套陆相火山喷发溢流沉积的安山岩、安山玄武岩、火山碎屑岩和古近系渐新统康托组(E_3k)的陆相山间断陷盆地沉积的紫红色砂砾岩(图 1)。区域上紧邻班公湖-怒江缝合带, 是西藏班公湖-怒江成矿带西段产出的大型矿床。

班公湖-怒江成矿带是喜马拉雅提斯成矿域主要成矿带之一, 是班怒洋向北俯冲、欧亚板片向南仰冲形成的良好的成矿地质背景, 多期次的构造-

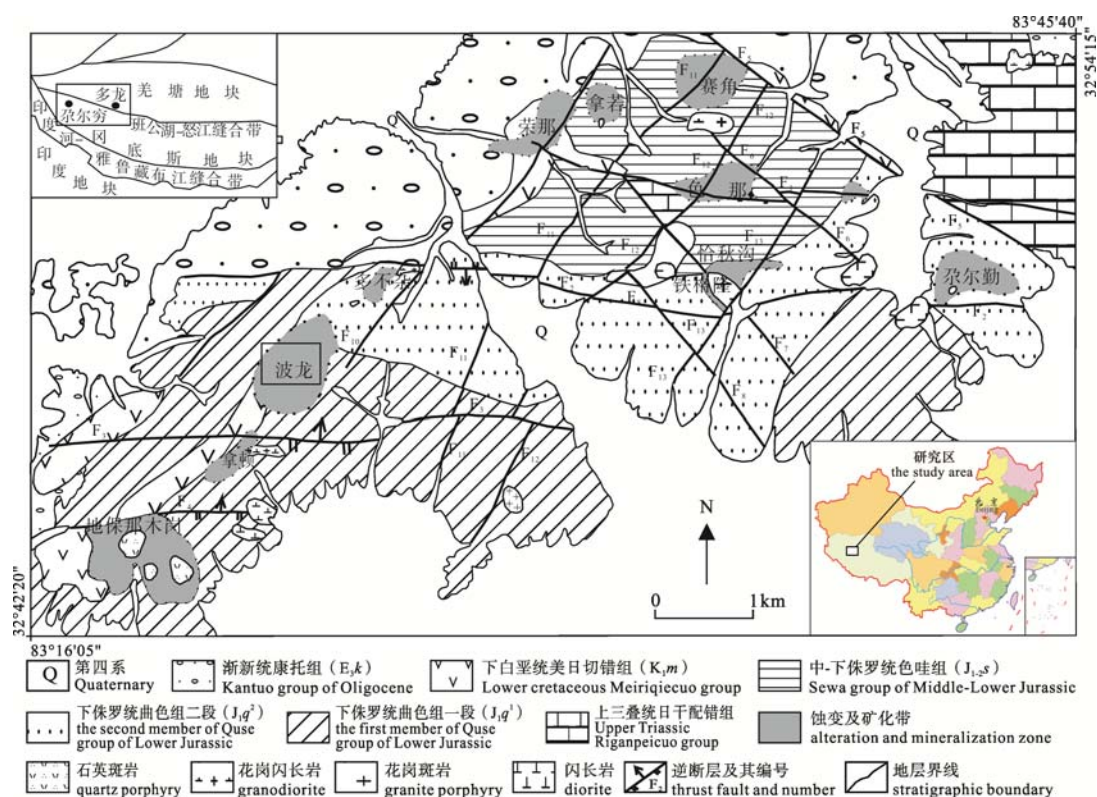


图 1 多龙矿集区地质略图(据李玉昌等, 2009; 李玉彬等, 2012 改绘)

Fig. 1 Generalized geological map of the Duolong ore concentration area (modified after LI Yu-chang et al., 2009; LI Yu-bin et al., 2012)

岩浆活动为岩浆侵位、成矿物质的运移聚集提供了通道。

2 矿床地质特征

2.1 矿体产出特征

波龙铜金矿床类型为斑岩型, 矿体呈不规则筒柱状产于早白垩世花岗闪长斑岩及其与下侏罗统曲色组砂岩的接触带内。矿体总体上为隐伏-半隐伏矿体, 分布于 155 勘探线至 187 勘探线之间(两勘探线间距 800 m), 矿体走向近东西向, 延长 1200 m, 倾向 200°, 向深部延伸大于 1000 m(图 2)。目前控制矿体标高在 4520 ~ 5150 m 之间(深部未控制圈闭矿体), 矿体在南、南东和南西方向厚度大, 187、171、155 勘探线尚未控制矿体南部边部, 在垂深方向, 矿体呈不规则柱状体向深部延展, 倾角近于直立, 南部向南倾陡, 北部向北陡倾, 矿体受矿化花岗闪长斑岩体控制(图 3)。矿体在北、西侧已控制边界。西侧 195 ~ 187 线间, 矿体宽度逐渐变小, 向南西方向尖灭; 中部 179 ~ 167 线为矿体的核心(凸起)部位, 东部 15 ~ 139 线间矿体逐渐贫化变薄、尖灭。矿体连续性非常好, 目前控制矿体最大连续厚度为 473.47 m(ZK15502), Cu 平均品位为 0.47×10^{-2} , 伴生 Au 平均品位为 0.22×10^{-6} , 品位变化系数为

28.64×10^{-2} , 垂深上品位变化不大。矿体厚度较稳定, 平均厚度为 295.03 m, 其变化系数为 40.12×10^{-2} 。

2.2 矿石特征

矿石构造以细脉-浸染状构造为主, 尚见团块状构造、块状构造等(图 4); 矿石结构按照成因分为结晶结构、交代结构、固溶体分离结构和表生结构四大类。矿床中氧化矿石较少, 主要发育于地表及近地表, 矿石矿物以孔雀石为主, 次为蓝铜矿, 呈网脉状、薄膜状、皮壳状、浸染状分布于岩石或充填于岩石裂隙中。原生矿石的物质成分比较复杂, 金属矿物以黄铁矿、黄铜矿为主, 可见磁黄铁矿、斑铜矿、辉钼矿、磁铁矿、镜铁矿等, 与世界典型斑岩铜矿的金属硫化物矿物组合基本一致; 非金属矿物以石英、长石、绢云母、黑云母、硬石膏居多, 其次是绿泥石、方解石、绿帘石、石膏等。

2.3 围岩蚀变

矿区蚀变类型主要发育有钾长石化、硅化、黑云母化、绢云母化、粘土化、石膏化、碳酸盐化、绿帘石化和绿泥石化等。与多不杂相比, 波龙矿区以发育强烈的绢云母化和粘土化、硅化为特点。矿区蚀变在地表表现为中心式面型分布, 以发育强烈的钾化和钾硅化为特征, 以矿体为中心, 由内向外依次可划分出钾硅化带→黄铁绢英岩化带→青磐岩

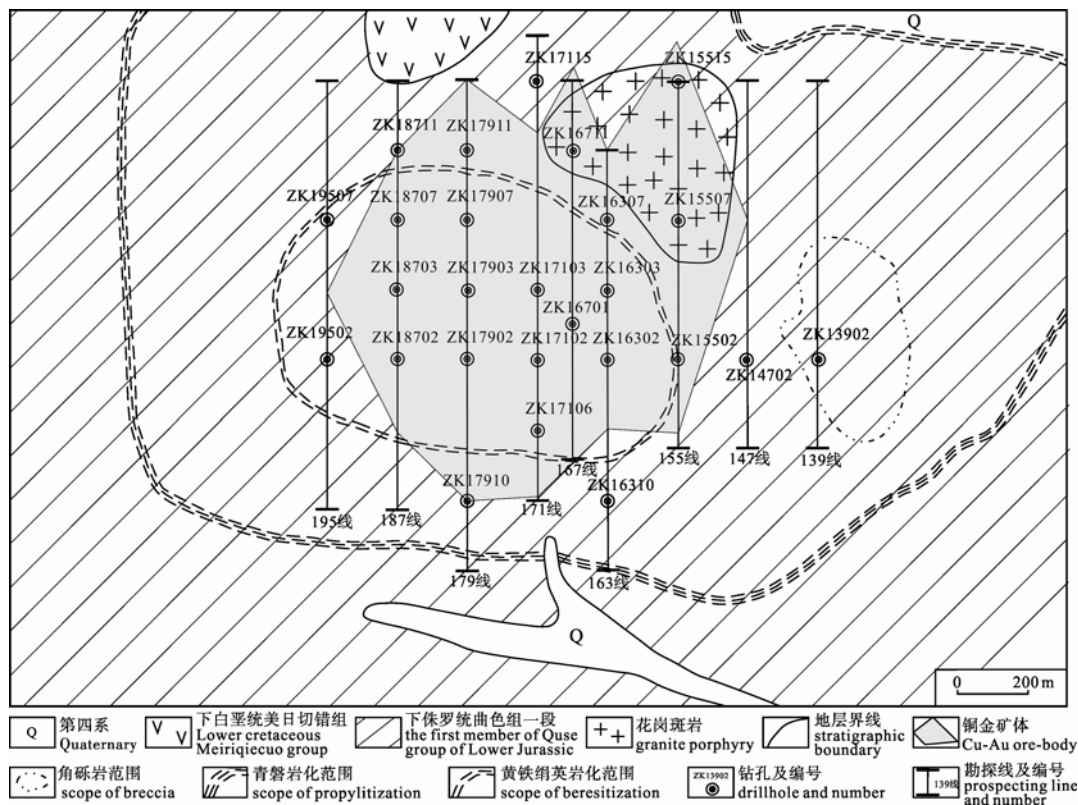


图 2 波龙铜金矿区地质图
Fig. 2 Geological map of the Bolong copper-gold deposit

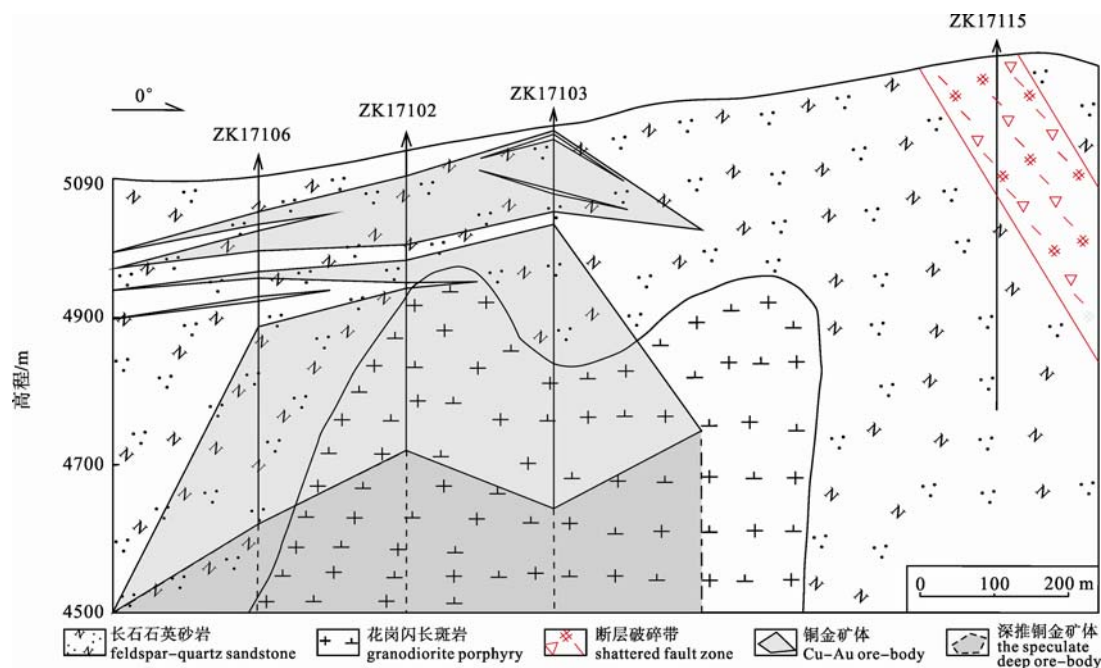


图3 波龙铜金矿 171 号勘探线剖面图

Fig. 3 Cross section along No.171 exploration line in the Bolong copper-gold deposit

化带, 泥化仅局部可见。钾硅化带分布于矿区中部, 大体上与强铜矿化范围相对应, 以强烈的钾长石化、硅化为特征; 黄铁绢英岩化带分布在钾硅化带外侧, 主要以绢云母化、粘土化为特征; 青磐岩化带主要分布于矿区东西两侧, 基本未见铜矿化现象。

3 矿床地球化学特征及成岩成矿时代

3.1 常量元素地球化学

波龙铜金矿床中花岗闪长斑岩 SiO_2 的质量分数在 57.31% ~ 66.27% 之间, 平均 61.99%, 为中酸性-酸性岩(表 1)。在 $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})-\text{SiO}_2$ 图解(图 5)中, 所有样品点均落入亚碱性(S)区, 根据 13 件岩体化学全分析结果(表 1)计算里特曼组合指数(σ)介于 0.44 ~ 2.67 之间, 其中 8 件样品 σ 值小于 1.65, 属钙性系列; 5 件样品 σ 值介于 1.65 ~ 3.14 之间, 属钙碱性系列。通过里特曼-戈蒂里图解(图 6)可见, 样品点均位于 B 区, 说明波龙铜金矿的花岗闪长斑岩形成于岛弧环境。

3.2 稀土元素地球化学

波龙铜金矿床花岗闪长斑岩稀土元素 C1 球粒陨石标准化图解(图 7)中可以看出, 稀土总量(ΣREE)介于 $78.03 \times 10^{-6} \sim 192.00 \times 10^{-6}$ 之间, $[\omega(\text{LREE})/\omega(\text{HREE})]=7.72 \sim 13.67$, $[\omega(\text{La})/\omega(\text{Yb})]_N=6.69 \sim 15.20$, 反映花岗闪长斑岩轻、重稀土之间分馏明显, 轻稀土元素相对富集。花岗闪长斑岩表现出平缓右倾趋势, 具有弱正铕异常特征(δEu 介于 1.00 ~ 1.26 之间),

铈显示无异常($\delta\text{Ce} \approx 1$)。铜金矿体部位稀土元素相对富集(吴德新, 2012)。稀土元素地球化学特征表明反映含矿花岗闪长斑岩以岩浆热液成矿作用为主。

3.3 波龙矿区辉钼矿 Re-Os 测年

波龙铜金矿辉钼矿与黄铜矿共同产出, 铜、金、钼元素是同一斑岩成矿系统的产物, 因此, 辉钼矿的年龄可以代表波龙铜金矿的成矿时代。波龙矿区石英-辉钼矿脉中辉钼矿等时线年龄为 $119.4 \pm 1.3 \text{ Ma}$ (祝向平等, 2011), 与多不杂铜金矿中辉钼矿的等时线年龄 $118.0 \pm 2.0 \text{ Ma}$ (余宏全等, 2009)相一致, 表明波龙铜金矿床与多不杂铜金矿床具有相同的成矿年龄, 可能受控于同一岩浆房分异的成矿流体, 其成矿时代为早白垩世晚期。

3.4 含矿斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄

波龙含矿斑岩——花岗闪长斑岩锆石加权平均年龄为 $121.1 \pm 1.8 \text{ Ma}$, 其 $\text{MSWD}=1.2$ (李金祥等, 2008)。多不杂的含矿斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄亦为 121 Ma 左右(李金祥等, 2008), 表明它们成岩时代一致, 也表明多龙斑岩铜金矿集区的含矿斑岩形成均在早白垩世晚期。

4 讨论

4.1 成矿地质背景及成岩成矿时限

通过对矿区花岗闪长斑岩的常量元素及稀土元素地球化学特征研究, 说明波龙铜金矿的花岗闪长斑岩形成于岛弧环境。波龙矿区辉钼矿 Re-Os 年龄

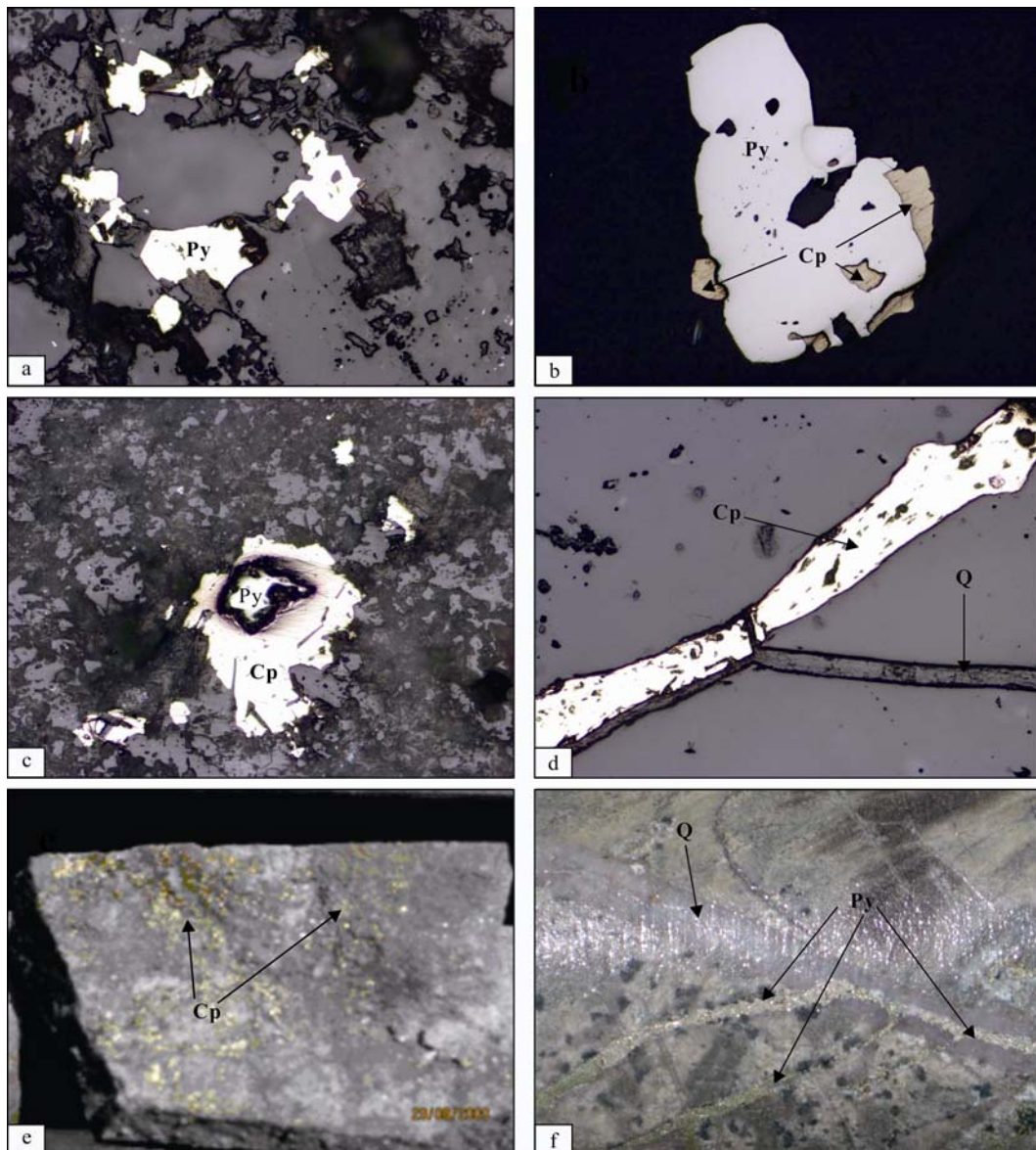


图4 波龙铜金矿矿石结构构造

Fig. 4 Texture and structure of ores in the Bolong copper-gold deposit

- a-黄铁矿的半自形-他形粒状结构(ZK17102-395 m); b-黄铜矿交代黄铁矿形成浸蚀结构(ZK16701-293 m); c-黄铁矿被黄铜矿交代呈残余结构(ZK16701-267 m); d-石英中的黄铜矿脉(ZK17102-395 m); e-黄铜矿呈浸染状构造(ZK17103-510 m); f-黄铜矿、石英在花岗闪长斑岩中形成脉状构造(ZK17103-296 m); Cp-黄铜矿; Py-黄铁矿; Q-石英
- a-subhedral-anhedra granular textures of pyrite (ZK17102-395 m); b-etching textures from chalcopyrite replacing pyrite (ZK16701-293 m); c-relict textures from chalcopyrite replacing pyrite (ZK16701-267 m); d-chalcopyrite veins in quartz (ZK17102-395 m); e-dissemination structure of chalcopyrite (ZK17103-510 m); f-veinlike structure of chalcopyrite and quartz in granodiorite porphyries (ZK17103-296 m); Cp-chalcopyrite; Py-pyrite; Q-quartz

为 119.4 ± 1.3 Ma(祝向平等, 2011), 花岗闪长斑岩年龄为 121.1 ± 1.8 Ma, 火山岩的微量地球化学特征限定其是一个大陆边缘岛弧环境(李金祥, 2008), 波龙铜金矿斑岩体主要来源于俯冲洋壳重熔(耿全如等, 2011), 同时亦表明班-怒洋至少在早白垩世仍存在向北的俯冲作用。

4.2 岩矿石蚀变和成矿元素组合

波龙铜金矿位于羌塘-三江复合板片南缘的多

不杂构造岩浆带中, 呈岩株状产出的花岗闪长斑岩是主要含矿岩体。由于斑岩体的侵位, 发育广泛的热液蚀变, 并具有良好的分带性。在各蚀变带相应发育一系列的细脉及细网脉, 与其他岛弧型斑岩铜金矿一样(唐菊兴等, 2009a, b, 2010a, b; 郎兴海等, 2010a, b, 2011, 2012), 矿区范围内以发育丰富的热液磁铁矿为特征, 铜、金沉淀与热液磁铁矿的形成关系密切, 显示岩浆-热液过渡演化过程中存在高氧

表 1 波龙铜金矿岩体主化学成分分析结果表(单位 $w \times 10^{-2}$)

Table 1 Analytical results of main elements of granitic pluton in the Bolong copper-gold deposit

样品编号	岩石类型	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	LoI
ZK17102-245	花岗斑岩	64.63	16.96	3.97	2.17	1.42	1.63	3.08	2.82	0.34	0.11	0.10	4.04
ZK15502-265	花岗闪长斑岩	66.27	17.05	2.23	1.56	1.04	1.15	3.21	0.48	0.39	0.12	0.12	6.18
ZK15502-274	花岗闪长斑岩	64.80	16.14	3.00	1.24	1.74	1.66	3.42	0.49	0.40	0.18	0.06	6.68
ZK15502-285	花岗闪长斑岩	59.41	15.76	3.40	2.15	3.01	2.55	3.32	0.44	0.35	0.11	0.11	9.08
ZK15502-300	花岗闪长斑岩	57.31	14.08	4.08	0.68	4.87	3.68	4.90	0.46	0.32	0.21	0.06	9.21
ZK15502-452	花岗闪长斑岩	60.46	15.03	6.27	0.80	2.41	2.44	5.49	0.61	0.39	0.08	0.06	5.77
ZK15502-458	花岗闪长斑岩	62.62	15.72	3.15	3.60	0.97	2.34	5.18	0.33	0.38	0.08	0.14	5.10
ZK15502-529	花岗闪长斑岩	59.16	16.30	8.07	1.29	1.55	1.53	3.81	0.37	0.39	0.18	0.14	7.00
ZK15502-532	花岗闪长斑岩	64.26	16.37	3.13	1.42	2.18	1.28	4.03	1.26	0.38	0.11	0.06	5.31
ZK15502-563	花岗闪长斑岩	64.55	16.34	3.63	0.30	2.70	1.26	3.77	2.34	0.38	0.14	0.04	4.42
ZK15507-18	花岗斑岩	58.50	17.53	8.40	0.44	0.61	2.16	1.49	1.12	0.69	0.05	0.01	8.94
ZK15507-24	花岗斑岩	61.31	18.07	6.35	0.82	0.55	1.75	1.90	1.17	0.71	0.06	0.01	7.17
ZK15507-25	花岗斑岩	60.66	18.25	6.56	0.49	0.52	2.22	1.81	1.17	0.74	0.06	0.02	7.41
ZK15507-28	花岗斑岩	59.71	17.91	7.86	0.30	0.39	1.74	2.23	1.19	0.75	0.04	0.01	7.80
ZK17103-364	花岗闪长斑岩	62.00	14.60	7.17	2.44	1.54	2.40	3.79	0.28	0.44	0.08	0.23	4.68
ZK17103-372	花岗闪长斑岩	62.70	13.47	6.09	1.78	2.15	1.68	6.55	0.70	0.38	0.12	0.08	4.00
ZK17103-449	花岗闪长斑岩	65.46	15.06	4.86	0.79	2.90	1.36	4.14	2.50	0.32	0.13	0.03	2.22

注: ZK17102-245(取自 ZK17102 的 245 m 处)样品数据引自赵元艺等, 2010。

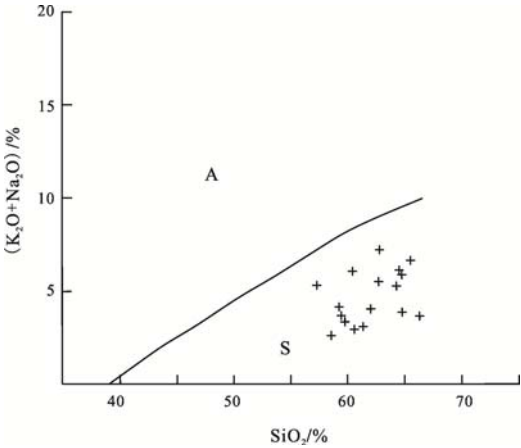


图 5 波龙铜金矿床花岗闪长斑岩的(K₂O+Na₂O)-SiO₂图解
Fig. 5 Diagram of (K₂O+Na₂O) versus SiO₂ of granodiorite porphyry in the Bolong copper-gold deposit

A-碱性区; S-亚碱性区

A-alkline area; S-subalkline area

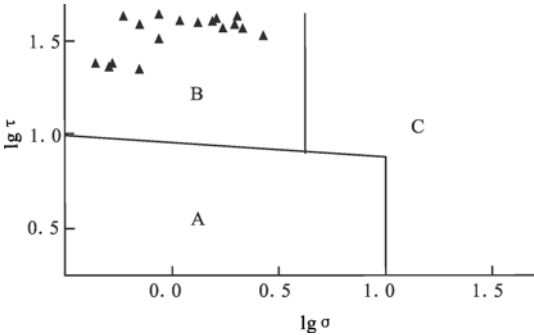


图 6 波龙铜金矿床花岗闪长斑岩的里特曼-戈蒂里图解
Fig. 6 Rittmann-Gottirly diagram of granodiorite porphyry in the Bolong copper-gold deposit

A-非构造带火山岩; B-造山带火山岩; C-碱性岩

A-volcanic rocks of nontectonic belts; B-volcanic rocks of orogenic belts; C-alkaline rocks

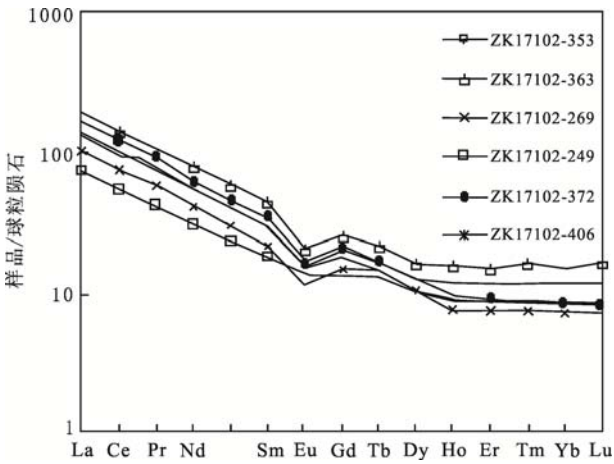


图 7 稀土元素配分模式图

Fig. 7 Normalized abundance patterns (NAP) of rare earth elements

逸度的环境, 导致成矿物质在高氧逸度环境中集中于流体中, 并随温压条件的改变而沉淀。

波龙斑岩型铜金矿矿体规模大(含矿斑岩全岩矿化)、铜品位较高、富金, 与巴布亚-新几内亚的奥克特迪斑岩型铜金矿、印度尼西亚的巴都希贾乌斑岩型铜金矿、菲律宾的马尔科珀斑岩型铜金矿成矿元素组合相同(芮宗瑶等, 2002), 均为 Cu-Au 组合。波龙斑岩型铜金矿矿体产于花岗闪长斑岩体内及其接触带中。通过对该矿床详细的野外填图和室内研究, 矿床中识别出钠长石化、黑云母化、钾长石化、硅化、绿泥石化、绢云母化、伊利石-水白云母化、高岭土化等蚀变类型, 蚀变范围大于 10 km²。由含

矿斑岩中心向外可划分出钾硅化带、黄铁绢英岩化带、青磐岩化带。

因此, 对该矿床的研究可以充分揭示本地区斑岩铜矿成矿特点, 丰富斑岩铜金矿成矿理论, 建立成矿模型和找矿标志, 对促进区域同类型矿床的勘查评价具有重要的实际意义。

5 结论

本论文通过对矿床地质、蚀变特征、岩石地球化学特征的研究, 结合前人的研究成果, 得到以下结论:

(1)波龙铜金矿与多不杂铜金矿属同一构造背景下的产物, 成岩成矿年龄基本一致。

(2)依据岩相学和岩石地球化学特征, 矿区岩石为正常的岛弧火山岩, 蚀变斑岩和闪长岩具有斑岩铜金矿成矿专属性特点。其微量地球化学特征和构造图解限定其是一个大陆边缘岛弧环境。

(3)矿体特征、矿石特征、矿区的蚀变特征与多不杂铜金矿相似, 2 个矿床之间发育类似的蚀变类型, 因此推测 2 个矿床之间存在隐伏的含矿斑岩。

致谢: 诚挚感谢西藏自治区地质矿产勘查开发局多吉院士、西藏自治区地质调查院刘鸿飞教授级高级工程师、张金树高级工程师、中国地质科学院矿产资源研究所唐菊兴研究员、姚佛军助理研究员的悉心指导和帮助!

参考文献:

- 耿全如, 潘桂棠, 王立全, 彭智敏, 张璋. 2011. 班公湖-怒江带、羌塘地块特提斯演化与成矿地质背景[J]. 地质通报, 30(8): 1261-1274.
- 郎兴海, 陈毓川, 唐菊兴, 李志军, 邓起, 黄勇, 陈渊, 张丽. 2010a. 西藏谢通门县雄村斑岩型铜金矿床成因讨论——来自元素的空间分布特征的证据[J]. 地质论评, 56(3): 384-402.
- 郎兴海, 唐菊兴, 陈毓川, 李志军, 邓起, 黄勇, 王成辉, 陈渊, 张丽. 2012. 西藏冈底斯成矿带南缘新特提斯洋俯冲期成矿作用——来自雄村矿集区 I 号矿体的 Re-Os 同位素年龄证据[J]. 地球科学, 37(3): 515-525.
- 郎兴海, 唐菊兴, 陈毓川, 李志军, 黄勇, 王成辉, 陈渊, 张丽. 2010b. 西藏谢通门县雄村斑岩型铜金矿集区 II 号矿体中辉钼矿 Re-Os 年代学及地质意义[J]. 矿物岩石, 30(4): 55-61.
- 郎兴海, 唐菊兴, 李志军, 黄勇, 陈渊, 张丽. 2011. 西藏谢通门县雄村斑岩型铜金矿集区 I 号矿体的蚀变与矿化特征[J]. 矿

床地质, 30(2): 327-338.

- 李金祥, 李光明, 秦克章, 肖波. 2008. 班公湖带多不杂富金斑岩铜矿床斑岩-火山岩的地球化学特征与时代: 对成矿构造背景的制约[J]. 岩石学报, 24(3): 531-543.
- 李金祥. 2008. 班公湖带多不杂超大型富金斑岩铜矿床的成岩成矿年代学、岩石学及高氧化岩浆-流体-成矿作用[D]. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所.
- 李玉彬, 多吉, 钟婉婷, 李玉昌, 强巴旺堆, 陈红旗, 刘鸿飞, 张金树, 张天平, 徐志忠, 范安辉, 索拉旺钦. 2012. 西藏改则县多不杂斑岩型铜金矿床勘查模型[J]. 地质与勘探, 48(2): 274-287.
- 李玉昌, 李玉彬, 范安辉, 辛连福, 索拉旺钦. 2009. 西藏班公湖-怒江成矿带西段铜多金属资源调查阶段性地质报告[R]. 拉萨: 西藏区地质调查院.
- 芮宗瑶, 秦克章, 张力生. 2002. 国内外斑岩型铜矿研究进展[M]. 北京: 中国地质调查局.
- 余宏全, 李进文, 马东方, 李光明, 张德全, 丰成友, 屈文俊, 潘桂棠. 2009. 西藏多不杂斑岩铜矿床辉钼矿 Re-Os 和锆石 U-Pb SHRIMP 测年及地质意义[J]. 矿床地质, 28(6): 737-746.
- 唐菊兴, 黄勇, 李志军, 邓起, 郎兴海, 陈渊, 张丽. 2009a. 西藏谢通门县雄村铜金矿元素地球化学特征[J]. 矿床地质, 28(1): 15-28.
- 唐菊兴, 黎凤佑, 李志军, 张丽, 唐晓倩, 邓起, 郎兴海, 黄勇, 姚晓峰, 王友. 2010a. 西藏谢通门县雄村铜金矿主要地质体形成的时限: 锆石 U-Pb、辉钼矿 Re-Os 年龄的证据[J]. 矿床地质, 29(3): 461-475.
- 唐菊兴, 王登红, 汪雄武, 钟康惠, 应立娟, 郑文宝, 黎枫佑, 郭娜, 秦志鹏, 姚晓峰, 李磊, 王友, 唐晓倩. 2010b. 西藏甲玛铜多金属矿床地质特征及其矿床模型[J]. 地球学报, 31(4): 495-506.
- 唐菊兴, 张丽, 黄勇, 王成辉, 李志军, 邓起, 郎兴海, 王友. 2009b. 西藏谢通门县雄村铜金矿主要地质体的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 28(6): 759-769.
- 吴德新, 赵元艺, 刘朝强, 许虹, 李玉昌, 李玉彬, 雷晓光. 2012. 西藏多不杂矿集区斑岩铜矿地球化学指标研究[J]. 地球学报, 33(2): 185-196.
- 赵元艺, 吕立娜, 崔玉斌, 刘琰, 刘妍, 宋亮. 2010. 区域成矿模型与典型矿床成因模型研究[R]. 北京: 中国地质科学院矿产资源研究所.
- 祝向平, 陈华安, 马东方, 黄瀚霄, 李光明, 李玉彬, 李玉昌.

2011. 西藏波龙斑岩铜金矿床的 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 27(7): 2159-2164.

References:

- GENG Quan-ru, PAN Gui-tang, WANG Li-quan, PENG Zhi-min, ZHANG Zhang. 2011. Tethyan evolution and metallogenic geological background of the Bangong Co-Nujiang belt and the Qiangtang massif in Tibet[J]. Geological Bulletin of China, 30(8): 1261-1274(in Chinese with English abstract).
- LANG Xing-hai, CHEN Yu-chuan, TANG Ju-xing, LI Zhi-jun, DENG Qi, HUANG Yong, CHEN Yuan, ZHANG Li. 2010a. A Discussion on Genesis of Xiongcu Porphyry Copper-Gold Deposit, Xietongmen, Xizang(Tibet)-Evidences From Elements Spatial Distribution Characteristics[J]. Geological Review, 56(3): 15-28(in Chinese with English abstract).
- LANG Xing-hai, TANG Ju-xing, CHEN Yu-chuan, LI Zhi-jun, DENG Qi, HUANG Yong, WANG Cheng-hui, CHEN Yuan, ZHANG Li. 2012. Neo-Tethys mineralization On the southern margin of the Gangdise metallogenic belt, Tibet, China: Evidence from Re-Os ages of Xiongcu orebody NO.I[J]. Earth Science, 37(3): 515-525(in Chinese with English abstract).
- LANG Xing-hai, TANG Ju-xing, CHEN Yu-chuan, LI Zhi-jun, HUANG Yong, WANG Cheng-hui, CHEN Yuan, ZHANG Li. 2010b. Re-Os Dating of Molybdenite from Orebody NO. II of the Xiongcu Porphyry Copper-Gold Metallogenic District, Xietongmen, Tibet and Its Geological Significance[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 30(4): 55-61(in Chinese with English abstract).
- LANG Xing-hai, TANG Ju-xing, LI Zhi-jun, HUANG Yong, CHEN Yuan, ZHANG Li. 2011. Alteration and mineralization of NO.I ore body in Xiongcu porphyry copper-gold metallogenic ore district, Xietongmen County, Tibet[J]. Mineral Deposits, 30(2): 327-338(in Chinese with English abstract).
- LI Jin-xiang, LI Guang-ming, QIN Ke-zhang, XIAO Bo. 2008. Geochemistry of porphyries and volcanic rocks and ore-forming geochronology of Duobuza gold-rich porphyry copper deposit in Bangonghu belt, Tibet: Constraints on metallogenic tectonic settings[J]. Acta Petrologica Sinica, 24(3): 531-543(in Chinese with English abstract).
- LI Jin-xiang. 2008. Geochronology, petrology and metallogenesis of high oxidized magma-hydrothermal fluid of Duobuza gold-rich porphyry copper deposit in Bangonghu belt, Northern Tibet[D]. Beijing: Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences(in Chinese with English abstract).
- LI Yu-bin, DUO Ji, ZHONG Wan-ting, LI Yu-chang, QIANG Ba-wang-dui, CHEN Hong-qi, LIU Hong-fei, ZHANG Jin-shu, ZHANG Tian-ping, XU Zhi-zhong, FAN An-hui, SUO La-wang-qin. 2012. An exploration model of the Duobuza porphyry Cu-Au deposit in Gaize Country, northern Tibet[J]. Geology and Exploration, 48(2): 274-287(in Chinese with English abstract).
- LI Yu-chang, LI Yu-bin, FAN An-hui, XIN Lian-fu, SUO La-wang-qin. 2009. The phased geological report of copper polymetallic deposits resources survey in the Western Bangong-Nujiang Metallogenic Belt, Tibet[R]. Lhasa: Tibet Geological Survey Institute(in Chinese).
- RUI Zong-yao, QIN Ke-zhang, ZHANG Li-sheng. 2002. Advances in the study of domestic and overseas porphyry copper deposits[M]. Beijing: China Geological Survey(in Chinese).
- SHE Hong-quan, LI Jin-wen, MA Dong-fang, LI Guang-ming, ZHANG De-quan, FENG Cheng-you, QU Wen-jun, PAN Gui-tang. 2009. Molybdenite Re-Os and SHRIMP zircon U-Pb dating of Duobuza porphyry copper deposit in Tibet and its geological implications[J]. Mineral Deposits, 28(6): 737-746(in Chinese with English abstract).
- TANG Ju-xing, HUANG Yong, LI Zhi-jun, DENG Qi, LANG Xing-hai, CHEN Yuan, ZHANG Li. 2009a. Element geochemical characteristics of Xiongcu Cu-Au deposit in Xietongmen County, Tibet[J]. Mineral Deposits, 28(1): 15-28(in Chinese with English abstract).
- TANG Ju-xing, LI Feng-ji, LI Zhi-jun, ZHANG Li, TANG Xiao-qian, DENG Qi, LANG Xing-hai, HUANG Yong, YAO Xiao-feng, WANG You. 2010a. Time limit for formation of main geological bodies in Xiongcu copper-gold deposit, Xietongmen County, Tibet: Evidence from zircon U-Pb ages and Re-Os age of molybdenite[J]. Mineral Deposits, 29(3): 461-475(in Chinese with English abstract).
- TANG Ju-xing, WANG Deng-hong, WANG Xiong-wu, ZHONG Kang-hui, YING Li-juan, ZHENG Wen-Bao, LI Feng-ji, GUO Na, QIN Zhi-peng, YAO Xiao-feng, LI Lei, WANG You,

- TANG Xiao-qian. 2010b. Geological Features and Metallogenic Model of the Jiama Copper-Polymetallic Deposit in Tibet[J]. Acta Geoscientica Sinica, 31(4): 495-506(in Chinese with English abstract).
- TANG Ju-xing, ZHANG Li, HUANG Yong, WANG Cheng-hui, LI Zhi-jun, DENG Qi, LANG Xing-hai, WANG You. 2009b. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotope ages of main geological bodies in Xiong-cun copper-gold deposit, Xietongmen County, Tibet, and their geological significance[J]. Mineral Deposits, 28(6): 759-769(in Chinese with English abstract).
- WU De-xin, ZHAO Yuan-yi, LIU Chao-qiang, XIU Hong, LI Yu-chang, LI Yu-bin, LEI Xiao-guang. 2012. Geochemical Indicators of Porphyry Copper Deposits in the Dobzha Ore Concentration Area, Tibet[J]. Acta Geoscientica Sinica, 33(2): 185-196(in Chinese with English abstract).
- ZHU Xiang-ping, CHEN Hua-an, MA Dong-fang, HUANG Han-xiao, LI Guang-ming, LI Yu-bin, LI Yu-chang. 2011. Re-Os dating for the molybdenite from Bolong porphyry copper-gold deposit in Tibet, China and its geological significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 27(7): 2159-2164(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Yuan-yi, LÜ Li-na, CUI Yu-bin, LIU Yan, LIU Yan, SONG Liang. 2010. The study of regional metallogenic model and typical ore genesis model[R]. Beijing: Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese).

中国地质科学院卢耀如院士荣获首次颁发的 海峡“6.18 特殊贡献奖”

2012年6月18日,在福建省召开的6.18项目成果交易会上,中国地质科学院卢耀如院士荣获首次颁发的海峡“6.18 特殊贡献奖”。

福建省科技人才辈出,两院院士人数达140多位。多数院士在福建省省外工作。自2000年开始,福建省正式开展了“八闽院士行”活动,使不少闽籍院士有了回家乡更好为福建发展做出贡献的机会。近几年,这一活动已扩大到非闽籍院士参加,有800多人次参加过这一活动。

2002年开始的“中国·福建项目成果交易会”,后期更改为“中国·海峡项目成果交易会”,“八闽院士行”活动与这一成果交易会相结合。多年来,大批境内外院士、专家学者积极参与“6·18”项目对接,促成科技成果在福建省落地转化,为增强福建省自主创新能力、推动科学发展跨越发展做出了重要贡献。2012年适逢“6·18”十周年,在本次成果交易会上,福建省为鼓励院士、专家对福建省的开发做出的贡献,授予50位专家院士“6.18 特殊贡献奖”,卢耀如院士作为闽籍院士获此殊荣。

近年来,卢耀如院士积极回福建开展有关福建省与海西经济区发展的科学研究工作,并积极参与海西经济区与福建省有关的水利与水资源、生态地质环境、高铁建设、新能源、地质灾害与防治、港口开发、地质公园和自然遗产等方面的调查研究工作。作为首个福建省院士工作站——将乐玉华洞院士工作站的院士,卢耀如为推动玉华古洞文化品牌策划与宣传提出了科学决策。多年来,积极向中央级福建省省委、福建省人民政府的领导提出了多项建议,并被采纳实施,为福建省及海西经济区的发展做出了突出贡献。同时,卢耀如院士也多次参加闽、台参加两岸有关科技交流。近年来,又担任中国工程院重大咨询项目“海西经济区生态环境安全与可持续发展研究”的项目组长,开展专项研究取得了突破,为福建省的发展建言献策。

本刊编辑部 采编