

文章编号: 0258-7106(2014)06-1151-20

青藏高原两个斑岩-浅成低温热液矿床成矿亚系列及其“缺位找矿”之实践*

唐菊兴¹, 王勤², 杨超¹, 丁帅², 郎兴海², 刘鸿飞³, 黄勇⁴, 郑文宝¹,
王立强¹, 高一鸣¹, 冯军⁵, 段吉琳^{1,6}, 宋杨¹, 王艺云², 林彬², 方向²,
张志², 杨欢欢²

(1 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037; 2 成都理工大学, 四川成都 610059; 3 西藏地质调查院, 西藏拉萨 850000; 4 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川成都 610081; 5 西藏金龙矿业股份有限公司, 西藏拉萨 850000; 6. 中国地质大学, 北京 100083)

摘要 斑岩-浅成低温热液型铜金矿床是西藏最新发现的组合矿床类型, 其具有巨大的找矿潜力。笔者在西藏多龙矿集区铁格隆南铜金矿床、雄村矿集区主要矿体系统地质编录、综合研究的基础上, 对其矿床地质背景、矿体形态产状、矿物组合、蚀变特征、成岩成矿年龄等进行了系统的总结, 在前人研究的基础上, 提出班怒成矿带与早白垩世岛弧型中-酸性火山岩-浅成岩组合有关的铜、金、银、铅锌矿床成矿亚系列, 以及冈底斯成矿带与早侏罗世—晚侏罗世岛弧型中-酸性火山岩-浅成岩组合有关的铜、金、银、铅锌矿床成矿亚系列, 是西藏最重要的寻找斑岩型-浅成低温热液型铜金矿的矿床成矿系列。依据“缺位找矿”理论, 预测多龙矿集区尕尔勤、地堡那木岗、铁格隆山是浅成低温热液型铜金矿床的进一步勘查评价区, 色那、拿顿角砾岩筒是寻找独立高硫化型浅成低温热液金矿床的重要靶区。铁格隆南浅成低温热液矿体叠加在斑岩型矿体之上, 高硫化型浅成低温热液矿床浅部发育多孔状硅帽和明矾石-地开石-高岭石蚀变组合, 金属矿物以硫砷铜矿-铜蓝-蓝辉铜矿-黝铜矿-黄铜矿-斑铜矿-黄铁矿等铜硫二元体系矿物组合为主, 其中黄铁矿-黄铜矿-斑铜矿形成较早, 矿床规模可突破1200万吨。雄村铜金矿集区发育低硫化型浅成低温热液多金属金矿体, 矿体呈脉状, 或在火山机构边缘构造中独立产出, 或叠加于斑岩型铜金矿体之上产出, 以绢云母化、叶蜡石化、伊利石化发育, 闪锌矿-黝铜矿-磁黄铁矿-黄铁矿为主要金属矿物组合为特征, 洞嘎、普钦木-嘎达是低硫化型浅成低温热液矿床的勘查评价区, 深部有找到斑岩型铜金矿的可能。上述2套矿床成矿系列亚系列都与燕山期斑岩铜金矿床的流体演化有关, 具有特殊的蚀变矿物、金属矿物组合, 寻找独立的浅成低温热液型金矿是下一步需要重视的找矿方向。

关键词 地质学; 斑岩-浅成低温热液型; 矿床成矿系列; 缺位找矿; 铜金矿; 多龙矿集区; 雄村矿集区

中图分类号: P618.41; P618.51

文献标志码: A

Two porphyry-epithermal deposit metallogenic subseries in Tibetan Plateau: Practice of “absence prospecting” deposit metallogenic series

TANG JuXing¹, WANG Qin², YANG Chao¹, DING Shuai², LANG XingHai², LIU HongFei³,
HUANG Yong⁴, ZHENG WenBao¹, WANG LiQiang¹, GAO YiMing¹, FENG Jun⁵, DUAN JiLin^{1,6},
SONG Yang¹, WANG YiYun², LIN Bin², FANG Xiang², ZHANG Zhi² and YANG HuanHuan²

* 本文得到公益性行业科研专项(编号:201511017)、973项目(编号:2011CB403103)、青藏专项(编号:12120114050401)、地质大调查项目(编号:12120113093700)和中铝资源西藏金龙矿业股份有限公司委托项目的联合资助

第一作者简介 唐菊兴, 男, 1964年生, 研究员, 博士生导师, 长期从事西藏主要成矿带矿床学研究及矿床勘查评价工作。

Email: tangjuxing@126.com

收稿日期 2014-08-12; 改回日期 2014-10-12. 秦思婷编辑。

(1 MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing, 100037, China; 2 College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 3 Tibet Institute of Geological Survey, Lhasa 850000, Tibet, China; 4 Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China; 5 Golden Dragon Mining Co., Ltd., Lhasa 850000, Tibet, China; 6 China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract

The porphyry-epithermal copper-gold deposit is a newly discovered deposit assemblage in Tibet, which has a great potential for prospecting. Based on the systematic geological records and comprehensive study of main orebodies of Duolong (especially south Tiegelong) and Xiongcu ore districts, the authors summarize such aspects as the geological setting of the deposit, the attitude of the orebody, the mineral assemblage, the alteration and the rock-forming and ore-forming ages. Based on previous studies, the authors hold that there are two kinds of deposit series which are most important in search for porphyry-epithermal copper-gold deposits in Tibet. They are copper, gold, silver, lead and zinc metallogenic sub-series in Bangong Co-Nujiang River metallogenic belt related to early Cretaceous island arc intermediate to felsic volcanic rocks and those in Gangdise metallogenic belt related to early-late Jurassic island arc intermediate to felsic volcanic rocks. Dependent on the theory of "absence prospecting", the authors predict that Gaerqin, Dibaonamugang and Tiegelong (all in the Duolong ore district) are further exploration areas for epithermal copper-gold deposits. Breccia pipes in Sena and Nadun are good sites for independent high-sulfidation epithermal gold deposits. Epithermal ores are superimposed on the porphyry orebodies in south Tiegelong, with the reserves of more than 10 million tons of copper. Porous silicon caps are developed in the shallow parts of the HS epithermal deposits. There are alunite, dickite and kaolinite alteration assemblages. Metal minerals are mainly dominated by the Cu_xS_y binary system, i. e., enargite, covellite, digenite, tetrahedrite, chalcopyrite, bornite, pyrite and some other minerals. Pyrite, chalcopyrite and bornite were formed earlier. There are low-sulfidation epithermal multi-metal gold orebodies in the Xiongcu copper-gold ore district. Orebodies are veinlike in form and independently occur in the marginal structure of the volcanic agency and can also be superimposed on the porphyry copper-gold orebody. Sericite, pyrophyllite and illite are well developed, and sphalerite, tetrahedrite, pyrrhotite and pyrite constitute the main metal mineral assemblage in the Xiongcu copper-gold ore district. Dongga, Puqinmu and Yada are the exploration targets for low-sulfidation epithermal deposits. It is possible to find copper-gold porphyry deposits in the depth. The above two types of metallogenic series and sub-series are related to fluid evolution of porphyry copper-gold deposits in Yaoshanion period. They have special alteration and metal mineral assemblages. Prospecting for an independent epithermal gold deposit is the next aim of study.

Key words: geology, porphyry-epithermal deposit, metallogenic series, absence prospecting, copper-gold deposit, Duolong ore district, Xiongcu ore district

西藏主要成矿带经历了特提斯洋的俯冲消亡、拉萨地体与羌塘地体的碰撞、亚洲大陆与印度大陆的碰撞-伸展等复杂的地质历史,从晚三叠世开始,大规模的岩浆活动持续至新近纪。陈毓川等(1999; 2006; 2007; 2010)提出矿床成矿系列的“缺位理论”,可以预测某一成矿区带地质演化历史进程中可能形成的矿床,王登红等(2010)总结提出青藏高原存在的燕山早期与岛弧岩浆活动有关的矿床成矿系列。唐菊兴等(2012)按照矿床成矿系列理论,总结了冈

底斯成矿带、班怒成矿带、藏南北喜马拉雅成矿带的矿床成矿系列和区域成矿谱系,构建了从晚古生代以来各个地质历史时期的矿床成矿系列和亚系列,班公湖-怒江成矿带与早白垩世岛弧型中酸性岩有关的铜、金、银、铅锌矿床成矿亚系列,以及冈底斯成矿带与早侏罗世—晚侏罗世岛弧型中酸性岩有关的铜、金、银、铅锌矿床成矿亚系列,是西藏最具潜力的斑岩型-浅成低温热液型铜金矿床的矿床成矿系列(图1),但确定了各成矿系列或亚系列中主要矿

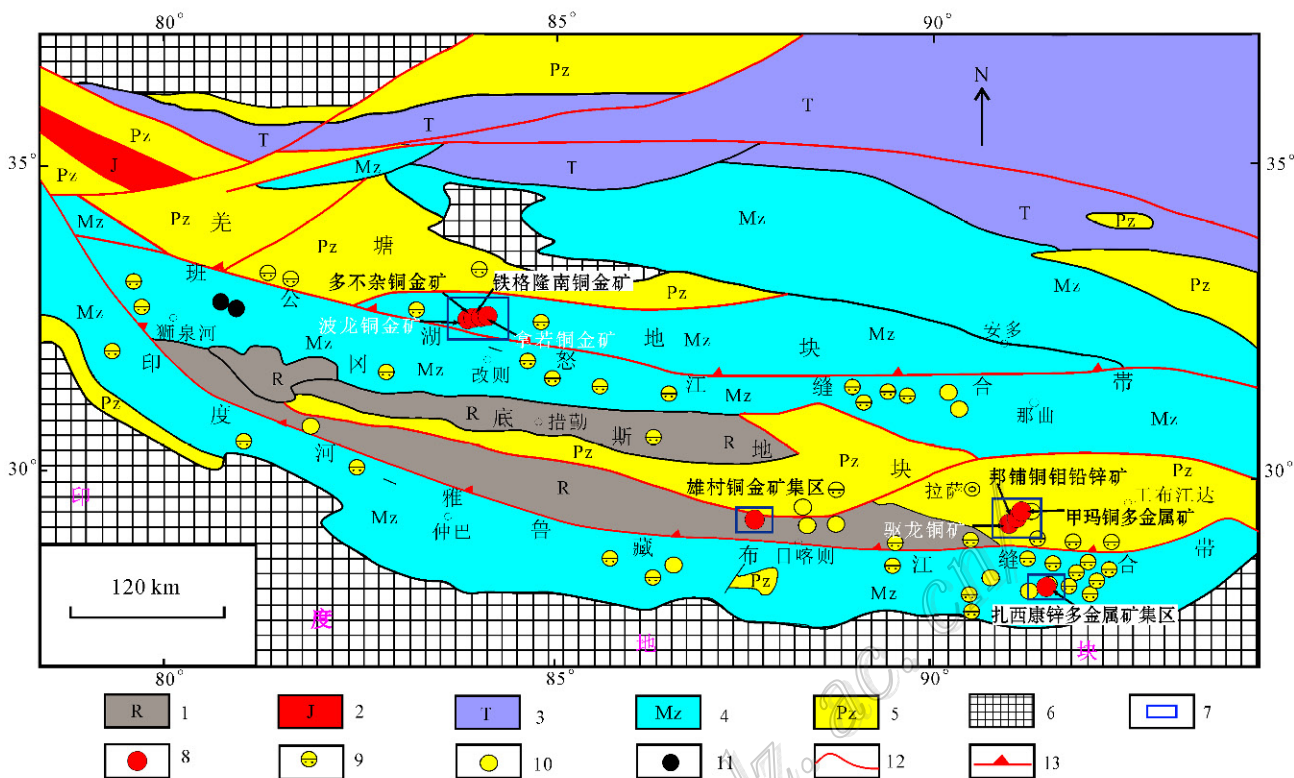


图 1 冈底斯成矿带-班公湖成矿带主要超大型铜多金属矿床或矿集区分布图(据曲晓明等, 2006 修改)

1—古近系; 2—侏罗系; 3—三叠系; 4—中生界; 5—古生界; 6—老变质基底; 7—矿集区; 8—超大型铜(钼、金、银)矿床(扎西康为超大型铅锌铋银矿床); 9—砂金矿; 10—岩金矿; 11—矽卡岩型铜金矿; 12—区域大断裂; 13—板块缝合带

Fig. 1 The distribution of main superlarge copper polymetallic deposits and ore districts in the Gandise-Bannu metallogenic belt (modified after Qu et al., 2006)

1—Paleogene; 2—Jurassic; 3—Triassic; 4—Mesozoic; 5—Paleozoic; 6—Old metamorphic basement; 7—Ore district; 8—Superlarge deposit; 9—Gold placer; 10—Rock gold mine; 11—Skarn copper-gold deposit; 12—Regional faults; 13—Suture zone

床类型为斑岩型、矽卡岩型铜金矿床, 并未发现典型的浅成低温热液型矿床。然而, 在冈底斯-班公湖-怒江成矿带广泛分布的陆缘弧、洋岛弧型火山岩, 是否形成类似于南美、菲律宾、印度尼西亚等超大型浅成低温热液型铜金矿床, 是一个基于矿床成矿系列“缺位找矿预测”的重大科技问题。2013 年以来, 通过对多龙整装勘查区和雄村矿集区详细的地质编录, 大量的成岩成矿年龄以及矿石学研究, 发现铁格隆南具有高硫化型浅成低温热液铜金矿体叠加在深部的斑岩型矿体之上的矿化特点(唐菊兴等, 2014), 雄村矿集区洞嘎金矿床、普钦木铜金矿床与雄村铜金矿床 I、II 号矿体存在成因上的联系, 显示其具有低硫化型浅成低温热液矿床的特征。西藏改则铁格隆南高硫化型浅成低温热液铜金矿床的发现, 表明在西藏寻找早白垩世以来的浅成低温热液型金矿床、铜(金)矿床的前景广阔。

1 区域地质背景

印支期—燕山期与沉积-构造岩浆作用有关的铜、金、铁、铅锌、银、钼矿床成矿系列组以及冈底斯成矿带内喜马拉雅期与构造岩浆、沉积作用有关的铜、金、铁、铅锌、银、钼、钨、铀、盐类矿床成矿系列组是西藏重要的 2 大成矿系列组(唐菊兴等, 2012), 其中与印支期—燕山期火山-中酸性岩有关的铜、金、铁、铅锌、银、钼矿床成矿系列(Mz-II)(唐菊兴等, 2012)包括了雄村式铜金矿、洞嘎式金矿、多不杂式铜金矿和铁格隆南式 4 大矿床式。班公湖-怒江成矿带与早白垩世岛弧型中酸性岩有关的铜、金、银、铅锌矿床成矿亚系列, 以及冈底斯成矿带与早侏罗世—晚侏罗世岛弧型中酸性岩有关的铜、金、银、铅锌矿床成矿亚系列是最重要的成矿亚系列。铁格隆

南(荣那矿段)浅成低温热液型-斑岩型铜(金)矿床位于西藏班怒带西段多龙矿集区内,大地构造位置属于羌塘-三江复合板片南缘,班公湖-怒江缝合带北缘(图1),主要产出晚三叠世的灰岩、早-中侏罗世的砂岩、火山岩和晚白垩世的山间盆地沉积。雄村铜金矿集区位于拉萨地体南缘的冈底斯火山-岩浆弧的中段,南侧紧邻日喀则弧前盆地(图1、图3),区内地层主要出露中-下侏罗统雄村组($J_{1-2}x$)火山-沉积岩。

2 西藏斑岩-浅成低温热液矿床成矿系列的厘定及基本特征

2.1 班怒成矿带与早白垩世岛弧型中酸性火山岩-浅成岩组合有关的铜、金、银、铅锌矿床成矿亚系列

2.1.1 矿区地质

该成矿亚系列属于与印支期—燕山期火山-中酸性岩有关的铜、金、铁、铅锌、银、钼矿床成矿系列(Mz-11)(唐菊兴等,2012)。铁格隆南(荣那矿段)浅成低温热液型-斑岩型铜(金)矿床位于西藏班怒带西段多龙矿集区内,在多龙矿集区内已控制了多不杂、波龙斑岩型铜(金)矿床(李玉彬等,2012a;2012b;余宏全等,2009;Li G M et al., 2012; Li J X et al., 2013; 2014; 祝向平等,2012)。2013~2014年,基本查明了铁格隆南铜(金)矿床、拿若铜(金)矿床的地质特征和资源潜力(唐菊兴等,2014;方向等,2014;Tang et al., 2014),地堡那木岗、拿顿、色那、赛角、铁格隆、尕尔勤等矿床(点)的勘查工作将逐步展开(图2)。矿集区内出露上三叠统日干配错组(T_3r)灰岩、大理岩;下侏罗统曲色组(J_1q)长石石英砂岩、粉砂岩夹硅质岩、灰绿色玄武岩、基性火山熔岩、英安岩等;中-下侏罗统色哇组($J_{1-2}s$)深灰色、灰色薄层状粉砂岩、中厚层长石石英砂岩、石英砂岩与灰白色薄层状泥质板岩互层;下白垩统美日切错组(K_1m)斑状石英安山岩、细晶石英安山岩、玄武岩;上白垩统阿布山组(?)、渐新统康托组(E_3k)和第四系(图2)。铁格隆南的含矿围岩为色哇组长石石英砂岩、粉砂岩(见杨超等,2014,图6)。

2.1.2 矿体形态、产状、规模

矿体呈北东-南西走向,倾向南东,为向北东侧伏的一个巨厚板状体。沿矿床走向方向长约2000 m,倾向方向约1000 m宽,最深的钻孔深度大于

1293 m,矿床的铜平均品位在0.5%以上(截止2014年7月底数据),伴生金平均品位大于0.07 g/t。矿床规模铜远景资源量超过1200万吨。

2.1.3 矿物和蚀变矿物组合

矿石以细脉浸染状构造为主,发育复杂的交代结构,金属矿物组合为:早阶段形成的黄铁矿、黄铜矿和斑铜矿;中低温阶段形成的铜蓝、蓝辉铜矿、硫砷铜矿、久辉铜矿、吉硫铜矿、斯硫铜矿和砷黝铜矿等。唐菊兴等(2014)和杨超等(2014)通过系统的镜下鉴定和电子探针分析发现了久辉铜矿、吉硫铜矿、斯硫铜矿等Cu-S二元体系的特殊矿物组合,与铜蓝、蓝辉铜矿一起构成典型的高硫化型浅成低温热液矿床的矿石矿物组合。

蚀变矿物组合(图2;见杨超等,2014,图6)由上部的多孔状石英-黏土矿物、明矾石-地开石-高岭石组合,到中-深部的石英-绢云母化,深部的钾化,矿体底板的青磐岩化(绿泥石-碳酸盐矿物),组成一套从高硫化型浅成低温热液蚀变到斑岩矿化蚀变组合。还发现了锐钛矿、金红石、磷锶铝石($SrAl_3(PO_4)_2(OH)_5(H_2O)$)、硬石膏、重晶石等特征蚀变矿物(杨超等,2014)。

矿体类型:上部为细脉浸染状浅成低温热液型矿体;中部为浅成低温热液型矿化叠加在斑岩型矿化之上的矿体(发育黄铁绢英岩化,仍可见蓝辉铜矿、铜蓝交代黄铜矿、黄铁矿);深部为斑岩型矿体(可见黑云母交代石英闪长玢岩中的角闪石,典型的黄铁绢英岩化,以黄铜矿为主)。金属矿物、蚀变组合的分布和演化特点也显示为斑岩铜金矿体叠加了高硫化型浅成低温热液铜金矿体的特征(Einaudi et al., 2003)(图4;见杨超等,2014,图6)。

2.1.4 成岩成矿年龄

杨超等(2014)和方向等(待刊)对铁格隆南矿区的岩浆岩进行了系统的年代学研究,钻孔中矿化岩体:花岗闪长斑岩(含矿)形成年代为(115.87 ± 0.41) Ma;石英闪长玢岩(含矿)形成年代为(120.2 ± 1.0) Ma(采用LA-ICP-MS锆石U-Pb定年方法,见方向等,待刊),表明铁格隆南矿床有2次侵入的斑岩体,均已矿化。石英闪长玢岩中辉钼矿Re-Os等时线年龄为(119.0 ± 1.4) Ma(方向等,待刊),略晚于石英闪长玢岩成岩年龄,因此,铁格隆南矿床的成矿与这2次侵入的斑岩体相关,成矿过程持续了至少约4 Ma。多不杂矿区含矿花岗闪长斑岩SHRIMP锆石U-Pb年龄为(121.6 ± 1.9) Ma(李金

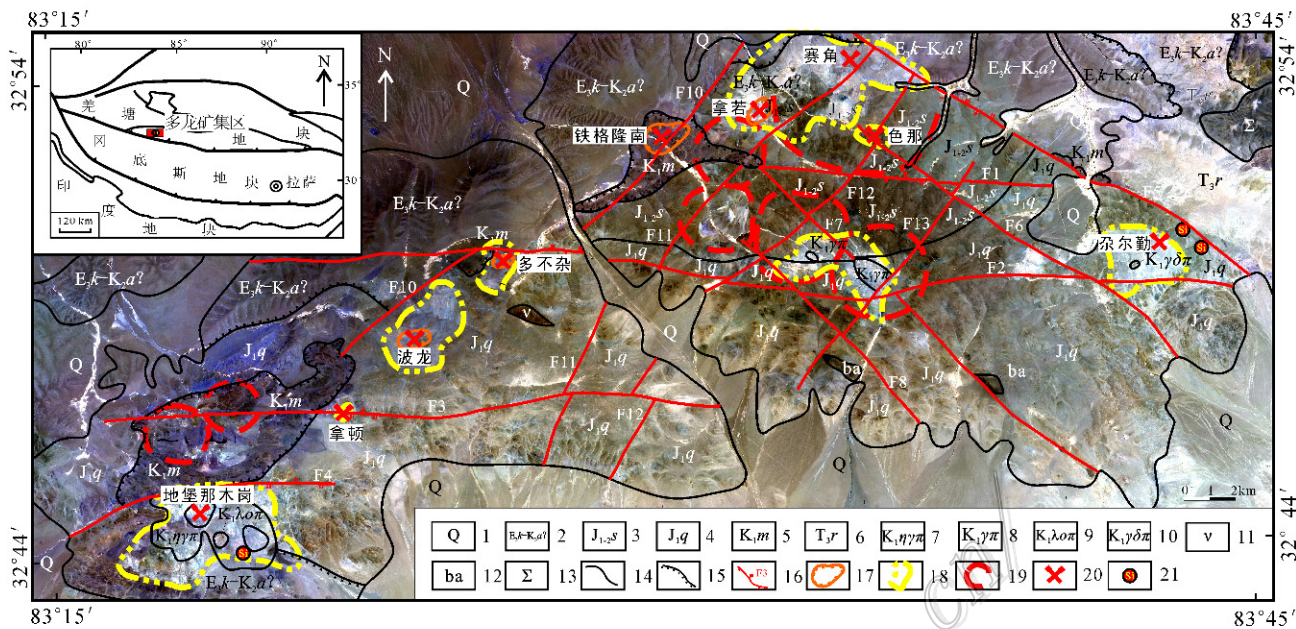


图2 多龙矿集区主要矿床分布图(蚀变和地层据遥感图像解译)

1—第四系残坡积物; 2—上渐新统康托组-上白垩统阿布山组(?)砂砾石层、砾岩及含砾砂岩(暂未定); 3—中-下侏罗统色哇组变质长石英砂岩夹粉砂质板岩; 4—下侏罗统曲色组变质长石英砂岩夹硅质岩、玄武岩、基性火山熔岩; 5—下白垩统美日切错组安山岩、火山角砾岩、安山质玄武岩; 6—上三叠统日干配错组灰岩; 7—早白垩世二长花岗岩斑岩; 8—早白垩世花岗岩斑岩; 9—早白垩世石英斑岩; 10—早白垩世花岗岩闪长斑岩; 11—辉长岩; 12—枕状玄武岩; 13—蛇纹石化橄辉岩; 14—地层整合接触界线; 15—地层不整合接触界线; 16—断层及编号; 17—经工程控制矿体范围; 18—地表蚀变范围; 19—遥感影像提取的环形构造; 20—矿床位置; 21—地表发现的硅帽位置

遥感影像据 2014 年 5 月 XX 日美国 GEOEYE 卫星数据, 321 波段假彩色合成, 分辨率 0.5 m

Fig. 2 Main deposits in the Duolong ore district (alteration and stratum interpreted from remote sensing image)

1—Quaternary residual-slope wash material; 2—Oligocene Cantor Formation-Upper Cretaceous Abushan Formation(?): gravel layer, conglomerate and gravel sandstone (not defined); 3—Low-middle Jurassic Sewa Formation: metamorphic feldspar quartz sandstone intercalated with silty slate; 4—Lower Jurassic Quse Formation: metamorphic feldspar quartz sandstone intercalated with siliceous rocks, basalt, mafic volcanic lava; 5—Lower Cretaceous Meiriqiecuo Formation: andesite, volcanic breccia, andesitic basalt; 6—Upper Triassic Riganpeicuo Formation: limestone; 7—Early Cretaceous monzonite porphyry; 8—Early Cretaceous porphyry; 9—Early Cretaceous quartz porphyry; 10—Early Cretaceous granodiorite porphyry; 11—Gabbro; 12—Pillow basalts; 13—Serpentinized peridotite; 14—Conformity; 15—Unconformity; 16—Fault; 17—Orebody controlled by engineering; 18—Alteration range at the surface; 19—Ring structure in remote sensing image; 20—Location of the deposit; 21—Silicon cap at the surface

According to the remote sensing data published by XX U.S. satellite in XX/05/2014, false color composite of 321 band, Resolution 0.5 m

祥等, 2008), 早期钾长石 Ar-Ar 蚀变年龄为 (115.7 ± 1.1) Ma (Li J X et al., 2011), 表明多不杂矿区的成矿过程也经历了 4~6 Ma (Li J X et al., 2013)。

2.2 冈底斯成矿带与早-中侏罗世岛弧型中酸性火山岩-浅成岩组合有关的铜、金、银、铅锌矿床成矿亚系列

2.2.1 矿集区地质特征

该成矿亚系列是冈底斯成矿带与印支期—燕山期火山-中酸性岩有关的铜、金、铁、铅锌、银、钼矿床成矿系列(Mz-1I)(唐菊兴等, 2012)之成矿亚系列之一。

区内地层主要出露中-下侏罗统雄村组($J_{1-2,x}$)火山-沉积岩(图3), 岩石组合为中酸性凝灰岩、火山角砾岩、流纹岩等火山岩夹砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩、泥质板岩和灰岩; 其次为下白垩统比马组(K_1b)火山-沉积岩, 岩性组合为安山岩、砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩、泥质板岩和灰岩(唐菊兴等, 2006; 2007; 2009a; 2009b; 2010; 2012; 张丽等, 2007; 郎兴海等, 2010a; 2010b; 2010c; 2011; 2012a; 2012b; 2012c; 2014; Lang et al., 2014; 黄勇等, 2011)(图3)。

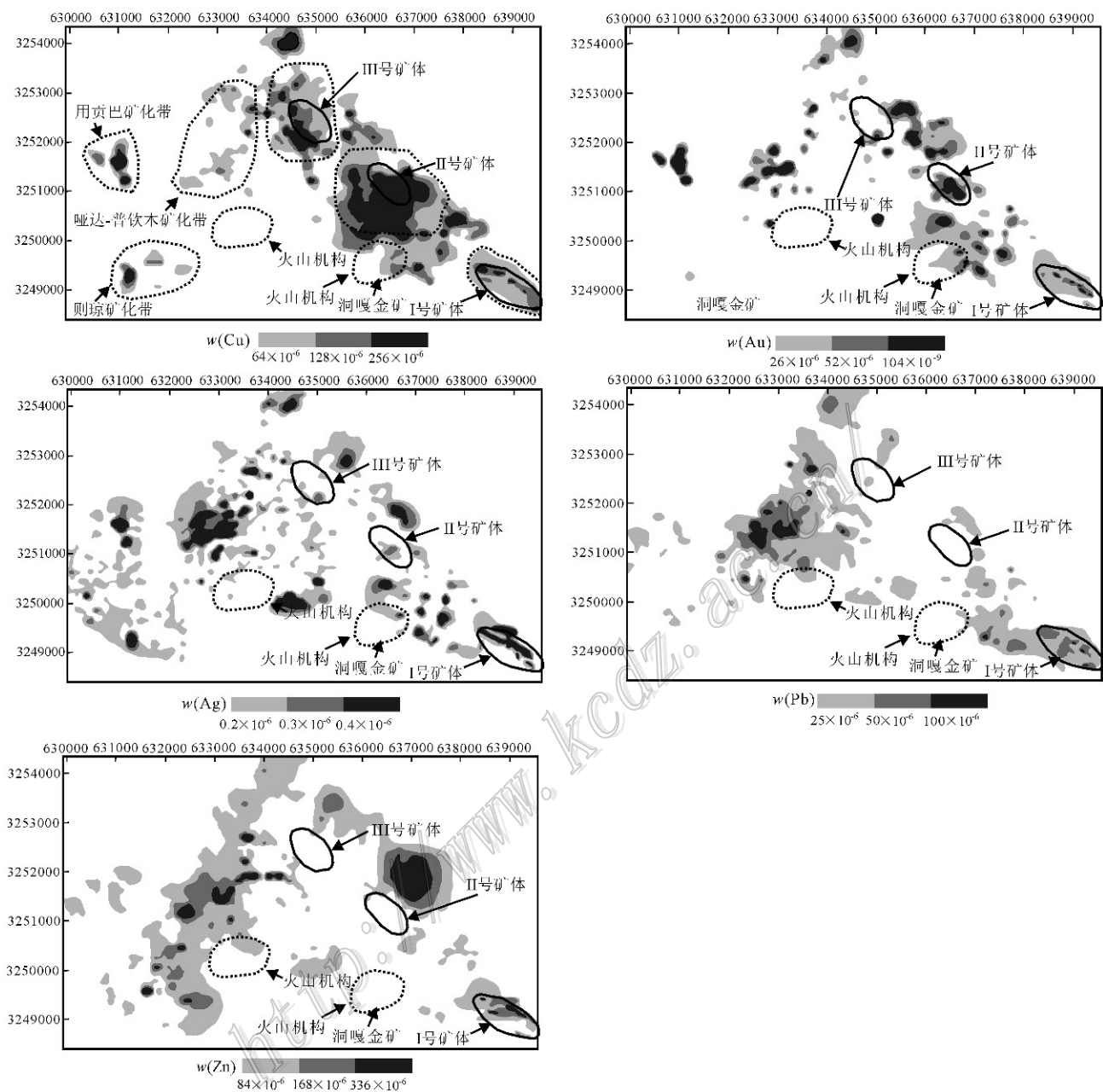


图 4 雄村矿区及其外围的土壤地球化异常图(据郎兴海等,2014 修改)

Fig. 4 Map showing soil geochemical anomalies in the Xiongacun ore district and its periphery area (after Lang et al., 2014)

单孔矿体厚度 100~300 m。II 号矿体走向方向长度大于 900 m,沿倾向方向延伸大于 500 m,一般单孔见矿厚度 200~500 m(唐菊兴等,2013)。III 号矿体正在勘查中。

已探明该矿床铜资源量 238 万吨、伴生金资源量 219.7 吨、伴生银资源量 1094.2 吨(331 + 332 + 333 类别)。

矿集区主要矿体类型有 2 种,斑岩及接触带雄村组凝灰岩中的细脉浸染状矿石主矿体;叠加在斑岩型矿体之上的多金属铜(金)矿体(图 5),或在火山角砾岩筒边缘的独立的多金属铜(金)矿体。前者为 I、II、III 号矿体;后者为 I 号矿体上部的多金属铜金矿体,和洞嘎铜金矿体和普钦木-哑达铜金矿体。

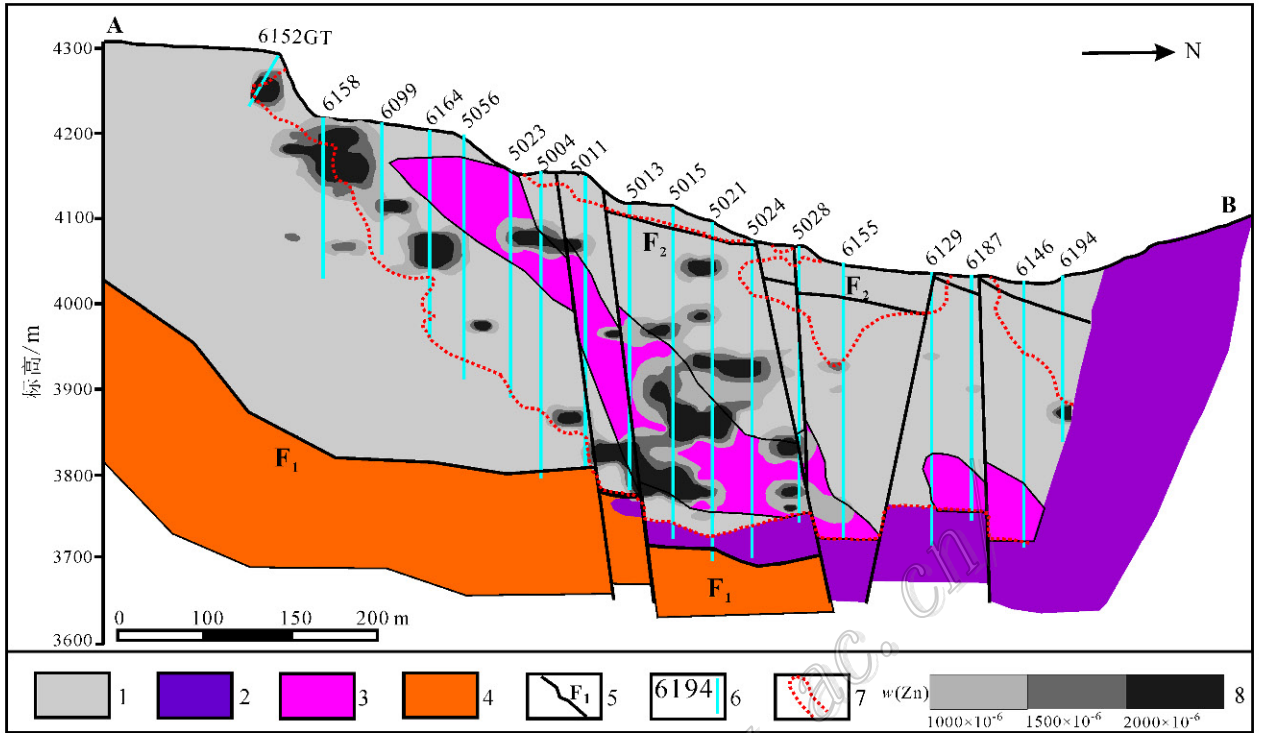


图5 雄村铜金矿床A-B剖面及Zn(Pb)矿化异常分布图

1—雄村组安山质-玄武质火山岩(J_{1x})(186~183 Ma); 2—始新世花岗闪长岩(46 Ma); 3—花岗闪长斑岩(167~161 Ma);
4—石英闪长岩(181~175 Ma); 5—断层; 6—钻孔及其编号; 7—铜(金)矿体; 8—Zn(Pb)异常

Fig. 5 A-B cross section and Zn content distribution profile in the Xiongcu copper-gold deposit

1—Xiongcu Formation: andesitic-basaltic rocks (J_{1x}) (186~183 Ma); 2—Eocene granodiorite (46 Ma); 3—Granodiorite porphyry (167~161 Ma); 4—Quartz diorite (181~175 Ma); 5—Fault; 6—Drill hole and its serial number; 7—Copper (-gold) orebody; 8—Zn(Pb) anomaly

2.2.3 金属矿物组合、蚀变组合

雄村I号铜金矿体的矿化主要呈浸染状-脉状或网脉状。由斑岩体中心向外,矿化分带依次划分为黄铁矿、黄铜矿、(磁黄铁矿)→黄铁矿、磁黄铁矿、(黄铜矿)→黄铁矿→闪锌矿(方铅矿),主要含矿脉的分布可依次划分为石英-硫化物脉→石英-红柱石-黑云母±白云母-硫化物脉→黄铁矿脉→多金属硫化物脉,主要含矿脉为石英-硫化物脉和石英-红柱石-黑云母±白云母-硫化物脉。雄村II、III号矿体矿石主要呈细脉-浸染状,主要脉体有绿泥石-黄铜矿脉、早期石英-硫化物脉、黑云母-磁铁矿-硫化物脉、石英-辉钼矿脉、阳起石脉、黄铁矿-黄铜矿脉、黄铁矿脉和石膏脉。其中,主要赋矿脉体为绿泥石-黄铜矿脉和早期石英-硫化物脉(张丽等,2007; 郎兴海等,2011)。

洞嘎金矿床的矿化特征为闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、碲铋矿、银金矿和胶黄铁矿,其中,铁闪锌矿、黄铜矿、胶黄铁矿中含金较高。

雄村I号铜金矿体的热液蚀变作用可分为早、晚2期。早期蚀变经历了弱的钾硅酸盐化蚀变阶段和强烈红柱石次生石英岩化蚀变阶段,晚期蚀变经历了黄铁绢英岩化蚀变阶段和青磐岩化蚀变阶段,晚期蚀变叠加于早期蚀变之上。由斑岩体中心向外,蚀变分带依次可划分为强硅化带→红柱石次生石英岩化带→绢英岩化带→青磐岩化带。主要赋矿蚀变带为强硅化带和红柱石次生石英岩化带(郎兴海等,2011)。

II、III号矿体的主要蚀变类型有钾硅酸盐化蚀变、钠化-钙化蚀变、黄铁绢英岩化蚀变和青磐岩化蚀变,其中,主要赋矿蚀变为钾硅酸盐化蚀变(黄勇等,2011)。

洞嘎金矿床的矿化和蚀变包括叶蜡石化、硅化(玉髓)、黏土化、碳酸盐化、绢云母化、青磐岩化。

金属矿物组合和蚀变组合显示具有低硫化浅成低温热液型矿床的矿物组合特征(图5、图6)。

高硫化型浅成低温热液矿床形成于强酸性、高氧逸度、中低温环境,由此形成复杂的 Cu-S 二元体系矿物组合、Cu-As-S 体系矿物组合、Cu-Fe-S 三元体系矿物组合及硫盐类矿物(Barton, 1970; Hedenquist et al., 1998; Einaudi et al., 2003; 刘羽等, 2011)。

图 5、图 6 展示了从斑岩成矿到高硫化型、低硫

化型浅成低温热液的矿化和蚀变矿物组合特征,随着温度、氧逸度的降低、硫逸度随之降低, pH 值从 2~4 的强酸性到 pH 值偏中性、偏碱性的变化。随着岩浆流体的演化,温度、氧逸度、硫逸度的降低、pH 值的升高,金属矿物、蚀变矿物、氧化还原性、硫化价态具有“倒 L 型”分布特点(图 6、图 7)(Meyer et al.,

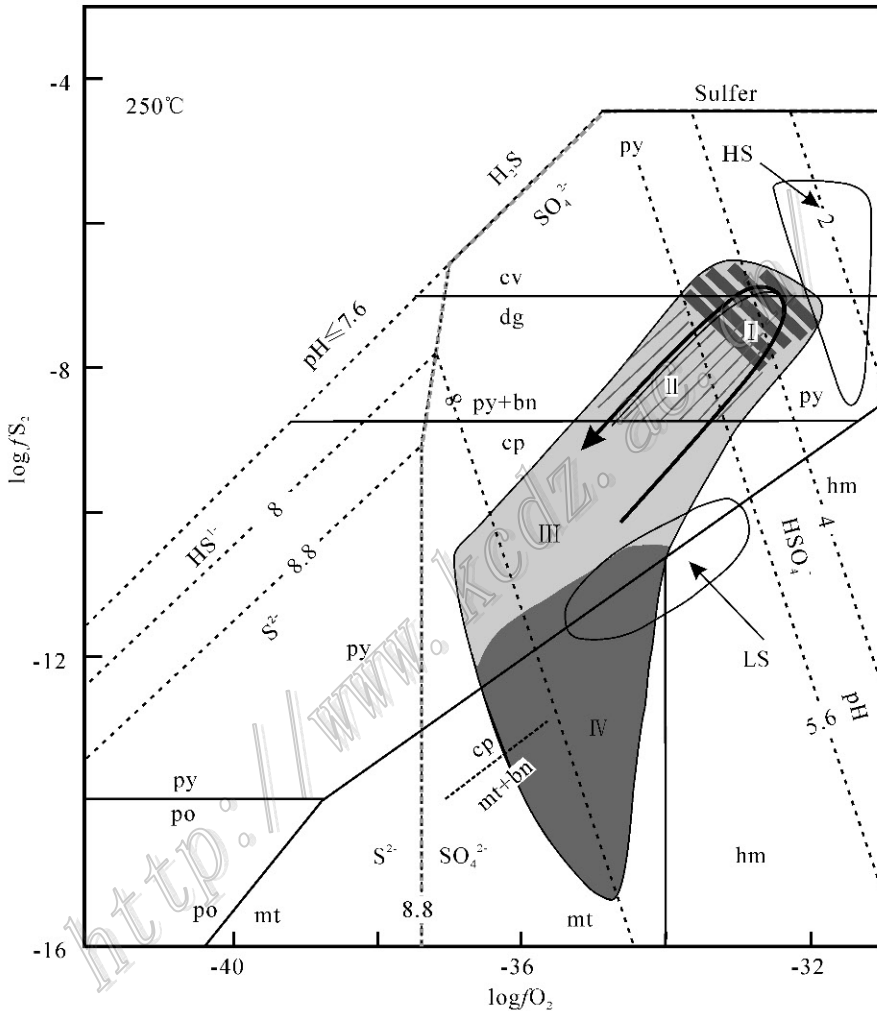


图 7 斑岩型和与斑岩有关的浅成低温热液型矿床的时空演化 250°C 时硫逸度-氧逸度图解(据 Einaudi et al., 2003)

I—铜蓝-蓝辉铜矿-辉铜矿-黄铁矿组合与高级泥化蚀变或者绢云母化蚀变伴生; II—辉铜矿-斑铜矿-黄铁矿组合,或者是黄铜矿-斑铜矿-黄铁矿的组合与环带状绢云母化和中级泥化蚀变伴生; III—黄铜矿-黄铁矿伴生环带状绢云母化(交代钾长石)和中级泥化蚀变; IV—黄铜矿-磁铁矿,或者是斑铜矿-磁铁矿伴生钾化蚀变(Meyer et al., 1967); 虚线为 pH 值线(S^{2-} 和 SO_4^{2-} 分界线处加粗)

bn—斑铜矿; cp—黄铜矿; cv—铜蓝; dg—蓝辉铜矿; po—磁黄铁矿; py—黄铁矿; hm—赤铁矿; Sufer—硫; LS—低硫化型矿床; HS—高硫化型矿床

Fig. 7 $\text{Log } f_{S_2}$ - $\text{Log } f_{O_2}$ diagram at 250°C illustrating the looping path through time and space in porphyry and porphyry-related vein deposits(after Einaudi et al., 2003)

I—Covellite, digenite, chalcocite, and pyrite with advanced argillic or sericitic alteration; II—Chalcocite, bornite, pyrite, or chalcopyrite, bornite, pyrite with zoned sericitic and intermediate argillic alteration; III—Chalcopyrite + pyrite with zoned sericitic (relict K feldspar) and intermediate argillation; IV—Chalcopyrite-magnetite, or bornite-magnetite with potassic alteration(after Meyer et al., 1967); Lines of constant pH are dashed (bolded where boundaries between aqueous sulfur species are signified)

bn—Bornite; cp—Chalcopyrite; cv—Covellite; dg—Digenite; po—Pyrrhotite; py—Pyrite; hm—Hematite; LS—Low sulfidation; HS—High sulfidation

1967; Einaudi et al., 2003)。越来越多的证据表明,浅成低温热液矿床作为其深部斑岩成矿系统的一部分在斑岩体的上部/侧上部发育(Hedenquist et al., 1994; 1998; Sillitoe, 2010; Richards, 2009; 2011)。浅成低温热液型矿床一般形成于火山弧,位于古潜水面以下50~700 m,形成温度160~270℃之间(最高可达300℃)(Hedenquist et al., 1998),发育丰富的对物理化学条件极其敏感的矿石/脉石矿物组合,矿床的具体类型可划分为高硫化型、中硫化型和低硫化型(John et al., 1999; John, 2001; Hedenquist et al., 2000)。Einaudi等(2003)总结了斑岩叠加浅成低温热液型矿床和独立浅成低温热液型矿床的不同空间位置矿物组合特征(表2),独立的浅成低温热液型矿床的形成可能与火山-次火山热液关系更为密切,但无论其产出的空间位置多么独特,浅成低温热液型矿床主要产出在斑岩成矿带。

高硫化型矿床以硫砷铜矿-蓝辉铜矿-铜蓝矿石矿物组合为标志,流体以发育明矾石-地开石-高岭土-多孔状石英(燧石)组合的强酸性环境为特征,发育大量对温度-压力-酸碱度-氧逸度十分敏感的矿物(Hedenquist et al., 2000; Seedorff et al., 2005)。形成的蚀变包括高级硅化、高级泥化和外围的青磐岩化等,在垂向上具有严格的分带性(Hedenquist et al., 2000; Sillitoe, 1997)。

在找矿指示性元素方面,Sb、As、Te、Se、Bi、Hg元素组合是十分重要的,但高硫化型矿区以Te-Sb-

As组合为主,低硫化型矿区以Se-As-Sb-Hg组合更为常见。

低硫化型浅成低温热液矿床以产出典型的冰长石-绢云母-玉髓-蛋白石组合的蚀变为其特征,常见蒙脱石-高岭石-伊利石-绿泥石化黑云母蚀变矿物组合,金属矿物常见闪锌矿、黝铜矿、黄铜矿,晚期或浅部可见雌黄、雄黄、辰砂(Hedenquist et al., 2000; Einaudi et al., 2003)。

3.2 中国主要的浅成低温热液型矿床

中国已经确定的超大型高硫化型浅成低温热液型矿床有台湾金瓜石金矿床(Tan, 1991; Wang et al., 1999; Wang, 2004)、福建紫金山铜(金)矿床(张德全等, 1991; 2005; 邱小平等, 2010; 刘羽等, 2011)、西藏阿里的铁格隆南(荣那矿段)铜(金)矿床(唐菊兴等, 2014)。紫金山矿集区、多龙矿集区以及金瓜石矿田已经控制或查明的资源潜力见表3,新发现的西藏铁格隆南(荣那矿段)的铜资源量和资源潜力已经远大于紫金山。紫金山矿床在深部发现铜为主的斑岩型矿体(华仁民, 1998; 邱小平等, 2010; 张锦章, 2013),而金瓜石仅仅发现上部成矿系统的浅成低温热液型金矿体。

金瓜石金矿体主要产出在角砾岩筒中,角砾岩筒呈柱状,直径10~50 m,向下延深100~200 m,著名的有八百干、葡萄等富金矿体。主要金属矿物硫砷铜矿、四方硫砷铜矿、铋硫砷铜矿、脆硫铋铜矿、辰砂,铋硫砷铜矿、脆硫铋铜矿发育在深部。矿体上部黄铁矿为立方体、中部为五角十二体、深部八面体。

表2 浅成低温热液型金-银矿床
Table 2 Epithermal Au-Ag deposits

矿床类型实例及特征	蚀变	硫化物形成次序		
		早期(深部)	中期(中部)	晚期(浅部)
高硫化型低温热液矿床: 黄铁矿-硫砷铜矿脉、“高级泥化”蚀变晕、铜的富集、有一些矿床存在斑岩铜矿的特征				
Lepanto 矿床、El Indio 矿床、Goldfield 矿床	多孔状残余石英“高级泥化”-“绢英岩、绢云母”、黄铁绢英岩化	硫砷铜矿+四方硫砷铜矿+黄铁矿	黄铜矿+砷黝铜矿+闪锌矿+方铅矿±黄铁矿	金硫化物或银硫化物
La Mexicana 矿床、Lahóca 矿床、Summitville 矿床	“高级泥化”-多孔状残余石英-黄铁矿	黄铁矿+砷黝铜矿+黄铜矿±金	砷黝铜矿+硫砷铜矿±脆硫铋铜矿、金+黄铁矿	黄铁矿+砷黝铜矿+脆硫铋铜矿,金硫化物或金+重晶石
中硫化型低温热液矿床: 贱金属硫化物和富金矿脉				
Pachuca 矿床、Fresnillo 矿床、Creede 矿床、Comstock Lode 矿床	冰长石“绢英岩、绢云母”、石英-绢云母-黄铁矿,“中高级黏土化”:蒙脱石-高岭石-伊利石、绿泥石化黑云母、稳定/亚稳定钾长石;“青磐岩化”:绿泥石、绿帘石、方解石、钠长石	闪锌矿+方铅矿+黄铁矿+黄铜矿+黝铜矿	银硫化物、±黄铜矿、金	闪锌矿(含1%~25%的FeS)
低硫化型低温热液矿床: 贫硫化物、富金(银)矿脉				
Sleeper 矿床、Midas 矿床、Mc Laughlin 矿床、Hishikari 矿床	“中高级黏土化”、蒙脱石-高岭石-伊利石、绿泥石化黑云母、稳定/亚稳定钾长石	黄铁矿-白铁矿	黄铁矿+金+硒银矿,银硫化物、玉髓(闪锌矿、黝铜矿、黄铜矿)	雌黄、雄黄、辰砂

注: 资料引自 Einaudi et al., 2003。

表3 中国主要超大型斑岩-浅成低温热液型铜(金)矿床规模一览表
Table 3 Major superlarge porphyry-epithermal copper (gold) deposits in China

勘查区、矿田(范围)及典型矿床	铜	金	银	资料来源
紫金山整装勘查区(64 km ²)				
紫金山矿集区	413.66万吨, 铜11万吨	399.82 t	6339 t	张锦章, 2013
紫金山	232.45万吨(品位: 0.36%)	336.8 t(含伴生金 46.03 吨)品位 0.2 g/t以上	4725.57 t(含铜矿体中伴生银 2389.11 t)	
多龙整装勘查区(东西长 60 km, 南北宽 10 km)				
多龙矿集区	控制 1624 万吨, 远景资源量 3000 万吨	控制伴生金 481 吨, 远景资源量 1000 t	控制伴生银 1393 t, 伴生银远景资源量 5000 t	综合, 截止到 2013 年底
铁格隆南(荣那矿段)	>500 万吨, 远景资源量 1300 万吨(332+333)	>50 t, 远景资源量 200 t(332+333)	>1000 t, 远景资源量 3000 t(332+333)	
台湾金瓜石矿田(5 km ²)				
金瓜石矿床	不详, 已开采 11 万吨	500~600 t(品位: 1~2 g/t), 与喷出的、次火山英安岩有关	不详	Tan, 1991; Wang et al., 1999; Wang, 2004

蚀变矿物主要有重晶石、明矾石、石英、玉髓、地开石、高岭石、绢云母等, 常见明矾石和四方硫砷铜矿呈条带状产出(Tan, 1991; Wang et al. 1999; Wang, 2004)。

新疆阿希金矿床是中国最重要的低硫化型浅成低温热液金矿床之一, 矿床围岩为下石炭统大哈拉军山组中基性-中酸性陆相火山岩系, 矿床赋存于沿火山口缘环状、放射状断裂充填的石英脉和蚀变岩中, 发育玉髓、蛋白石、绢云母、方解石、冰长石、叶蜡石和黏土矿物等蚀变, 冰长石-绢云母蚀变为其主要特征; 金属矿物主要为银金矿、硒银矿、黄铁矿、毒砂、白铁矿、方铅矿、深红银矿、闪锌矿、黄铜矿、黝铜矿、黄钾铁矾和角银矿等; 成矿温度集中在 140~240℃, 成矿深度小于 700 m(母瑞身等, 1996; 沙德铭等, 2003; 翟伟等, 2007)。以发育冰长石-绢云母组合, 条带状、皮壳状玉髓, 叶片状或板状石英假同晶(石英交代叶片状或板状方解石)(翟伟等, 2007)为特征, 这种假同晶系流体沸腾快速沉淀形成片状方解石, 随后溶解并被石英替代形成典型的交代假象结构——假同晶(Simmons et al., 1994), 与 Simmons 等(1994; 2000)描述的新西兰 Martha Hill 低硫化型浅成低温热液矿床产出的石英假同晶如出一辙。

3.3 缺位预测

3.3.1 高硫化型浅成低温热液矿床——多龙矿集区

多龙矿集区铁格隆南铜金矿床形成之后, 在 106~110 Ma 间, 羌塘地体南缘受冈底斯地体与羌塘地体碰撞拼贴的影响, 地壳发生一定的隆升。杨超等(2014)根据高级泥化带产出的石英脉、浅部斑岩体、深部斑岩体的石英斑晶的流体包裹体最大均一温度

来估计形成深度(Hedenquist et al., 1998): 明矾石-高岭石带流体包裹体均一温度为 190~352℃, 最高均一温度对应盐度为 2.74%, 估算成矿深度约为 500~600 m; 深部黄铁绢英岩化带的形成深度估算约 2.3 km; 浅部岩体(大部矿化)的侵位深度约为 1.2 km; 深部岩体(全部矿化)侵位深度约为 2.7 km。从钻孔的系统编录结果判断, 在 ZK0004、ZK0804、ZK1604 等多个钻孔, 在美日切错组安山岩之下直接就揭露出含矿岩体(石英闪长玢岩)(见杨超等, 2014, 图 6), 表明在成矿后, 铁格隆南斑岩型-浅成低温热液型矿体已经出露地表接受短暂的剥蚀, 而且至少剥蚀了 1000 m 左右。对角度不整合于矿化体之上的下白垩统美日切错组(K₁m)安山质、玄武质火山岩进行了系统的年龄测定, LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年约在 110 Ma 左右(未发表数据), 显示在 116 Ma 成矿后至 110 Ma 的陆相安山岩喷发的 6 Ma 期间内, 羌塘地体南缘已经开始隆升, 并接受剥蚀, 剥蚀掉的盖层和矿化体在 1000 m 左右, 因此, 部分高品位的浅成低温热液型铜(金)矿体、独立的金矿体可能已经被剥蚀。是否有残存的浅成低温热液型金矿体, 需要做进一步深入的研究。

美日切错组安山质、玄武质火山岩角度不整合覆盖在矿体之上, 起到了保护矿体不被进一步剥蚀的重要作用, 这也就是为何到目前为止, 在多龙矿集区仅仅在铁格隆南(荣那矿段)发现浅成低温热液型铜(金)矿体。正因为有成矿后火山岩的覆盖, 保护了成矿较浅的铁格隆南(荣那矿段)浅成低温热液型-斑岩型矿体免遭进一步的剥蚀, 使矿体得于较好的保存下来(图 8)。而多不杂、波龙矿床上部的浅成低温热液型铜(金)矿体已经剥蚀殆尽。

按照斑岩型-浅成低温热液型矿床成矿系列的

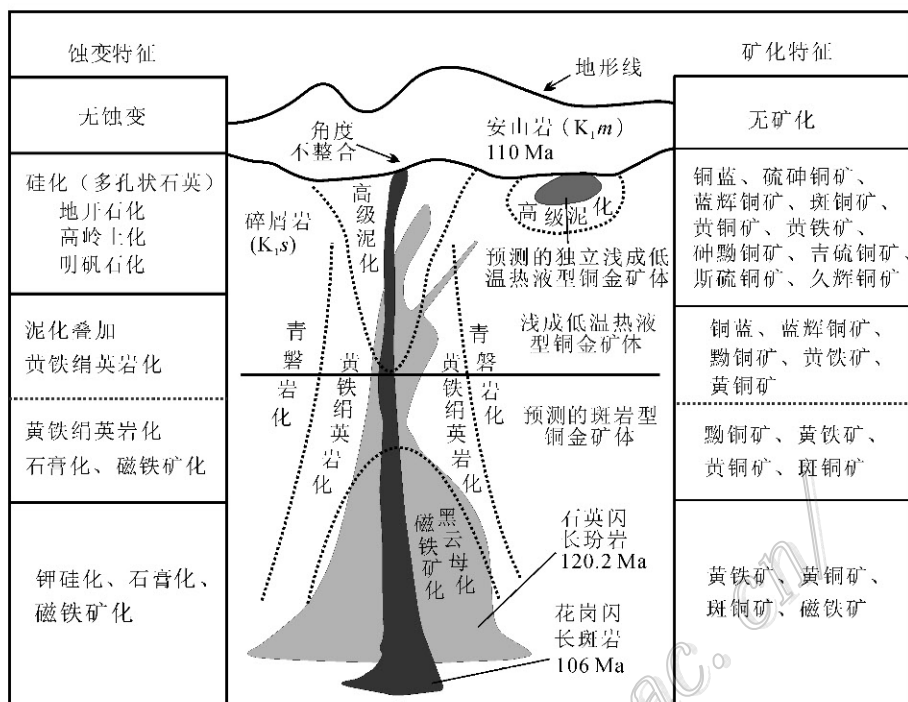


图 8 多龙矿集区铁格隆南铜(金)矿床蚀变、矿化特征及矿床预测简图

Fig. 8 Alteration, mineralization and prognosis of the South Tiegelong ore district in the Duolong ore concentration area

“缺位找矿”理论(陈毓川等, 2006; 2010), 多龙矿集区下一步找矿的重点方向为: ① 独立的浅成低温热液型金矿体(图 7): 这种独立的浅成低温热液型金矿体, 一般品位高, 与硫砷铜矿、砷黝铜矿、砷硫铜矿等紧密共生, 发育多孔状石英、燧石、明矾石、地开石、高岭石等蚀变, 重要的目标区是尕尔勤、地堡那木岗。② 独立的角砾岩筒型浅成低温热液型金矿(金瓜石式金矿): 在多龙矿集区已经发现的角砾岩筒有拿顿、色那, 但勘查思路不明, 导致不能很好地揭露和查明金矿体, 这类角砾岩筒矿体的规模一般不大, 但品位较富, 不能按照斑岩型铜金矿的勘查思路, 100 m × 100 m 的工程间距未必能达到勘查目的, 需要进行 25 m × 25 m 加密的钻孔探查, 方可找到富矿位置。如拿顿角砾岩筒, 有明矾石、泥化等蚀变(秦克章等, 2007), 近地表金的品位也较高。③ 斑岩型-浅成低温热液型铜金矿与火山机构之间的关系: 根据最新的遥感图像(图 2), 发现铁格隆山可能是一座古火山机构, 多龙矿集区的主要矿床围绕其展布, 火山机构外围发育大量放射状断裂, 因此, 铁格隆山一带的找矿潜力仍较大。

3.3.2 低硫化型浅成低温热液矿床——雄村矿集区

雄村矿集区的含矿围岩为雄村组玄武质、安山

质凝灰岩, 形成于 182~178 Ma(曲晓明等, 2007; 唐菊兴等, 2010; 黄勇等, 2011; 郎兴海等 2010c; 2012a; Lang et al., 2014), I 号矿体含矿岩体成岩年龄为 167~161 Ma, 成矿年龄为 161 Ma; II 号矿体含矿岩体的成岩年龄为 181~175 Ma, 成矿年龄为 173 Ma。

事实上, 关于冈底斯南缘早-中侏罗世的岩浆岩形成的动力学机制仍存在较大的争议(Zhu et al., 2013; 朱弟成等, 2008; 耿全如等, 2005; 2006; 董彦辉等, 2006; 侯增谦等, 2008; 纪伟强等, 2009)。雄村斑岩铜金矿床位于冈底斯成矿带南缘紧邻雅鲁藏布江缝合带, 距离班公湖-怒江缝合带超过 250 km, 尽管不是距离的问题, 但难于用北部班公湖-怒江洋向南俯冲来解释雄村铜金矿床形成的地球动力学机制。黄勇等(2014)系统研究了雄村矿集区产出的岩浆岩的锆石 Hf 同位素特征, 认为雄村矿集区早-中侏罗世花岗质岩浆岩具有高度亏损的 Hf 同位素组成, 展示出单一亏损地幔源区特征, 是部分熔融形成的玄武质岩浆上侵过程中未经历过硅铝质上地壳的同化混染, 即火山-岩浆岩形成于岛弧环境。岩浆岩的常量、微量元素以及 Sr-Nd 同位素研究也认为该期岩浆岩形成于岛弧背景(黄勇等, 2011), 含矿岩石亏损 Nd 同位素, $\epsilon_{Nd}(t)$ 介于 3.74~7.58 之间, 集中在

表4 近年来冈底斯南缘晚三叠世—早-中侏罗世岩浆岩成岩年龄

Table 4 Rock-forming ages of magmatic rocks from Late Triassic to Early Jurassic at the southern edge of Gandise

采样岩体或地点	成岩年龄	定年方法	资料来源
罗布莎、昂仁、林古嘎布岩体辉长岩墙	177 Ma、166 Ma、173 Ma	Sm-Nd 矿物内部等时线年龄	Zhou 等(2002)
当穷-林古嘎布放射虫硅质岩	晚二叠世	放射虫时代	莫宜学等(2005)
乌郁盆地黑云母花岗岩	188.1 Ma	锆石 U-Pb	Chu 等(2006)
达夜叶巴组流纹岩	174 Ma	锆石 U-Pb	董彦辉等(2006)
尼木-南木林-谢通门英云闪长岩、花岗岩闪长岩	184~168 Ma	锆石 U-Pb	Guo 等(2013)
门巴花岗岩	207 Ma	锆石 U-Pb	和钟铨等(2006)
雄村火山岩、含矿斑岩	182~161 Ma	锆石 U-Pb	曲晓明等, 2007; 唐菊兴等, 2009b; 2010; 黄勇等, 2011; 2014; 郎兴海等 2010c; 2012a; Lang et al., 2014; Tafti et al., 2009

5.54~5.96 之间(曲晓明等, 2007; Lang et al., 2014)。

近年来对雅鲁藏布江带蛇绿岩套、冈底斯南缘等的岩浆岩取得了一批重要年龄数据(表4), 这些岩浆岩年代学数据虽然目前不能肯定新特提斯洋的最早打开时间, 也不能肯定新特提斯洋盆在晚三叠世就开始了扩张历史, 但至少肯定在 184 Ma 新特提斯洋壳已经向雄村岛弧、叶巴岛弧的俯冲, 并形成与俯冲对应的岛弧型斑岩铜金成矿作用。

雄村 I、II、III 号铜金矿床、洞嘎金矿床、普钦木-哑达铜金矿床的成矿地质背景类似于现在的西南太平洋岛弧带, 该带南起所罗门地区, 经巴比亚新几内亚-西伊里安-加里曼丹-菲律宾-台湾-日本冲绳, 至勘察加半岛, 发现有 Grasberg、Lepanto-FSE、Panguana、Batu-Hijau、OK Tedi、金瓜石、Hishikarl 等斑岩型-浅成低温热液型铜金矿床(Kerrick et al., 2000)。Zhu 等(2013)提出受班怒洋的向南俯冲的影响, 拉萨地体在 210 Ma 已经与冈瓦纳古陆的澳大利亚大陆分离, 形成新特提斯弧后洋盆, 140 Ma 拉萨地体东部与羌塘先发生碰撞, 至 80 Ma 拉萨地体与羌塘地体完成全面的碰撞, 但在其系列的演化模型中未解释叶巴弧、雄村弧的存在和演化。Hébert 等(2012)通过对雅鲁藏布江带蛇绿岩套的研究, 提出 180 Ma 左右新特提斯洋盆中已经发育洋内弧, 这系列洋内弧首先在特提斯洋盆的东西部形成, 到早白垩世才发展成为成熟岛弧, 至 130 Ma 洋内弧又发生弧内裂谷伸展。笔者认为至少在 130~120 Ma 前叶

巴弧和雄村弧尚未与拉萨地体发生弧-陆的拼贴, 日喀则弧前盆地形成前, 雄村弧才与拉萨地体拼贴。雄村岛弧、叶巴岛弧可能是特提斯洋中分布的一些独立的洋内弧, 这些洋内弧与拉萨地体的拼贴时间较晚, 在 130~120 Ma 后才与拉萨地体拼贴, 使斑岩型-低硫化型浅成低温热液矿体得以保存下来未被剥蚀。但拉萨以东叶巴组的剥蚀强度大于日喀则以西的雄村组, 叶巴组分布区数十处砂金矿说明即使有产于叶巴组中的铜金矿化体也已有相当规模的剥蚀(图1、图9)。

雄村铜金矿集区下一步找矿的重点方向为: ① 斑岩型铜金矿外火山机构边缘的独立的多金属金矿体, 如洞嘎金矿床、普钦木-哑达金矿化带, 主要与闪锌矿、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、黝铜矿组合有关; 具有 Se、Te、Sb、Tl、Ag 等元素的富集; 发育葡萄状玉髓和隐晶质石英等硅化及绢云母化、绿泥石化等蚀变, 发育方解石、伊利石, 未见方解石的假同晶, 也未见低硫化型浅成低温热液金矿中常见的冰长石蚀变, 其原因可能是不稳定的冰长石已经被云母类矿物交代(Simon et al., 1999)。② 叠加在斑岩型铜金矿体之上的多金属金矿体, 如雄村 I 号矿体上部的多金属金矿脉, 这类脉体以发育闪锌矿+磁黄铁矿组合为特征。③ 普钦木-哑达一带深部是否有斑岩型铜金矿体, 需要进一步勘查评价。矿床预测简图见图9。

以上2类矿床的主要特征见表5。

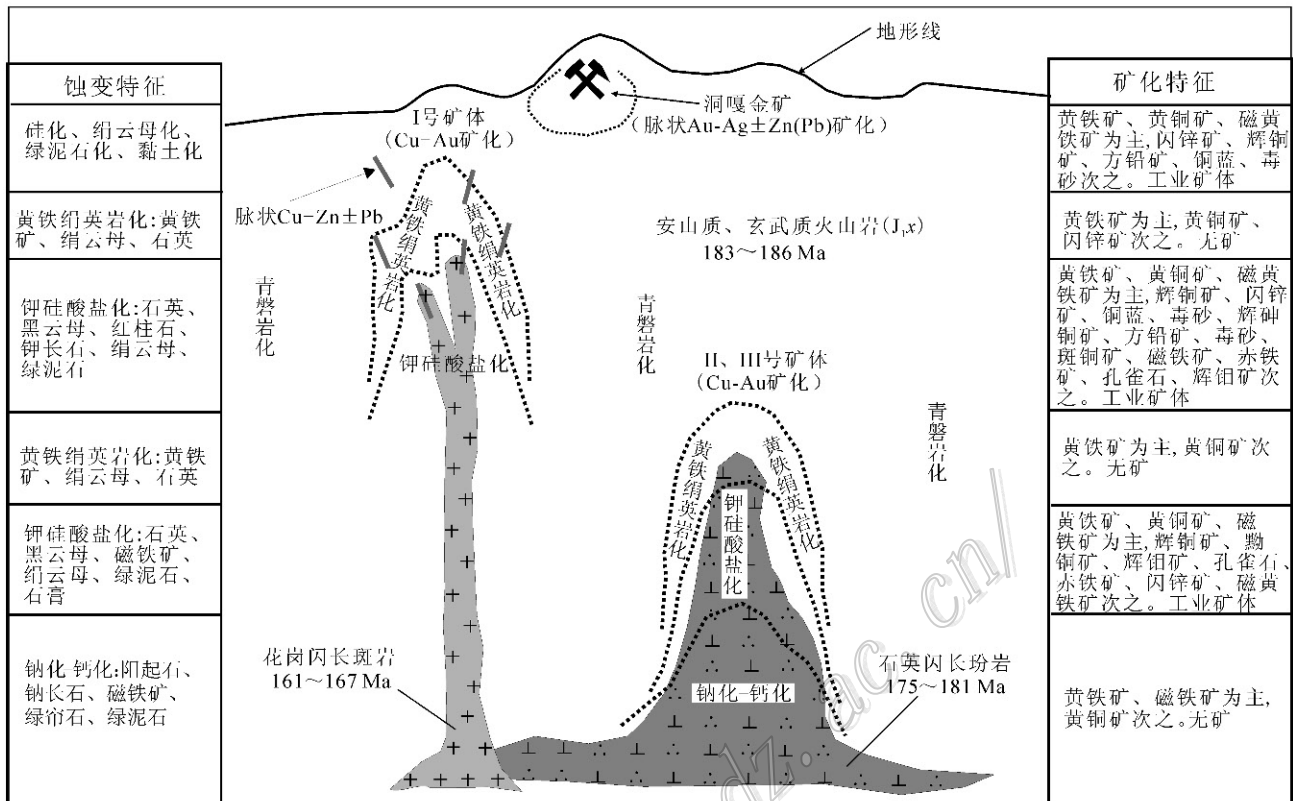


图 9 雄村矿集区铜(金)矿床蚀变、矿化特征及矿床预测简图
Fig. 9 Alteration, mineralization and prognosis of the Xiongcu ore district

表 5 西藏 2 类浅成低温热液型铜金矿床主要地质特征及矿床成矿亚系列

Table 5 Geological features and metallogenic sub-series of two types of epithermal copper-gold deposits in Tibet

对比项目	铁格隆南(荣那矿段)铜金矿床	雄村铜金矿床-洞嘎金矿床
构造背景	陆缘岛弧, 陆相火山口边缘断裂带	岛弧, 火山机构边缘
形成年代	120~116 Ma, 110 Ma 安山岩盖层	161~174 Ma
成矿岩体	中酸性侵入岩(花岗岩长斑岩, 石英闪长玢岩)	含眼球状石英斑晶的石英闪长岩、角闪石英闪长玢岩
容矿岩石	花岗岩长斑岩、石英闪长玢岩、长石石英砂岩、粉砂岩	玄武质、安山质凝灰岩, 含眼球状石英斑晶的石英闪长岩, 角闪石英闪长玢岩
金属矿物	黄铁矿、硫铜矿、铜蓝、蓝辉铜矿、砷黝铜矿、斜方蓝辉铜矿、斑铜矿、黄铜矿、吉硫铜矿、斯硫铜矿、久辉铜矿、辉铜矿、辉钼矿、方铅矿等	斑岩型: 黄铜矿、斑铜矿、闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿、磁铁矿、辉钼矿 多金属脉型: 闪锌矿、自然金、银金矿、碲铋矿、黄铜矿、黄铁矿、胶状黄铁矿
成矿元素	铜为主, 伴生金、银	斑岩型: 铜, 伴生金、银 多金属脉型: 金
蚀变矿物	石英-明矾石-地开石-高岭石-绢云母, 另有大量磷铋铅石、金红石、硬石膏和重晶石, 深部矿体底板见青磐岩化	斑岩型: ① I 号矿体, 钾硅酸盐化、红柱石次生石英岩化、黄铁绢英岩化、青磐岩化。② II、III 号矿体, 钾硅酸盐化蚀变、钠化-钙化蚀变、黄铁绢英岩化蚀变和青磐岩化蚀变
流体性质	斑岩: 中-高温, 高盐度, 高氧逸度; 浅成低温热液脉: 中低温, 中低盐度, 高氧逸度, 强酸性	斑岩: 中-高盐度, 高温, 高氧逸度; 多金属脉型: 中低盐度, 中低温, 偏中性
矿床规模	铜>800 万吨; 伴生金>100 吨, 铜远景资源量在 1200 万吨	I、II、III 号矿体及矿集区: 铜>300 万吨, 伴生金>300 t, 远景资源量铜>500 万吨, 伴生金>500 t
与斑岩体关系	斑岩体在矿体上、中、下部都可见, 均已经矿化, 深部为斑岩型矿化	斑岩及其接触带凝灰岩中为斑岩型矿化, 斑岩体上部叠加多金属脉型低硫化型浅成低温热液多金属-金矿体, 火山机构边缘发育低硫化型浅成低温热液多金属-金矿体
矿床类型	中深部斑岩型铜(金)矿体, 上部高硫化型浅成低温热液铜(金)矿体, 中部斑岩矿化叠加高硫-中硫化型浅成低温热液矿化	斑岩型、低硫化型浅成低温热液矿化
远景区	尕尔勤、铁格隆、地堡那木岗为高硫化型浅成低温热液金矿找矿远景区; 拿顿、色那为高硫化型浅成低温热液-隐爆角砾岩筒型金矿找矿远景区	普钦木、嘎达低硫化型浅成低温热液铜金矿找矿远景区, 嘎达、则莫多拉深部斑岩型铜金矿找矿远景区
矿床成矿系列	班公湖-怒江成矿带与早白垩世中酸性岩浆活动有关的铜金银矿床成矿亚系列, 代表班-怒洋向北俯冲, 羌塘地体与拉萨地体碰撞拼贴阶段的成矿作用	冈底斯成矿带与早-中侏罗世中酸性岩浆活动有关的铜金银矿床成矿亚系列, 代表特提斯洋壳向雄村岛弧俯冲阶段的成矿作用

4 结 论

(1) 西藏存在 2 个斑岩型-浅成低温热液型矿床成矿亚系列:班-怒成矿带与早-白垩世中酸性岩浆活动有关的铜金银矿床成矿亚系列,代表班公湖-怒江洋向北俯冲,羌塘地体与拉萨地体碰撞拼贴阶段的成矿作用;冈底斯成矿带与早中侏罗世中酸性岩浆活动有关的铜金银矿床成矿亚系列,代表的特提斯洋壳向雄村岛弧俯冲阶段的成矿作用。预测在西藏主要矿集区还可能发现中硫化型浅成低温热液矿床。

(2) 西藏的浅成低温热液型矿床包括高硫化型和低硫化型。高硫化型浅成低温热液铜(金)矿床以多龙矿集区铁格隆南(荣那矿段)为典型矿床,成岩成矿年龄为 120~116 Ma,主要金属矿物组合为黄铁矿、硫砷铜矿、铜蓝、蓝辉铜矿、砷黝铜矿、斑铜矿、黄铜矿及新发现吉硫铜矿、斯硫铜矿、久辉铜矿等 Cu-S 二元体系矿物。发育石英-明矾石-地开石、高岭石-绢云母,大量磷锶铝石、金红石、硬石膏和重晶石,深部矿体底板见青磐岩化。低硫化型浅成低温热液型铜金矿床以雄村矿集区的洞嘎金矿床、雄村铜金矿 I 号矿体为典型矿床,成岩成矿年龄为 161~174 Ma,矿体以多金属脉体产出或叠加在斑岩型矿体之上,以闪锌矿、自然金、银金矿、碲铋矿、黄铜矿、黄铁矿、胶状黄铁矿金属矿物组合产出,发育叶蜡石化、硅化(玉髓)、黏土化、碳酸盐化、绢云母化、青磐岩化。

(3) 按照矿床成矿系列“缺位预测”理论,预测多龙矿集区铁格隆南(荣那矿段)铜远景资源量在 1200 万吨以上,可能发现独立的富金矿体;预测雄村矿集区铜资源量将超过 500 万吨,伴生金将超过 500 吨。

志 谢 谨以此文并携从事西藏矿床地质学研究的徒孙,祝贺陈毓川先生八十华诞并从事地质工作 60 余年。尽管在陈先生身边工作和学习时间不长,从师先生仅十载有余,不敢说受陈先生的谆谆教诲,耳濡目染陈先生大家风范的时间长,但正所谓革命不分先后。难以忘记 2005~2009 年,先生不顾年事已高,数度赴西藏冈底斯成矿带、藏南北喜马拉雅成矿带,考察了雄村、甲玛、驱龙、亚贵拉、沙让、洞中拉、沙拉岗、浪卡子等矿床,亲耳聆听先生对矿床类

型、找矿潜力的正确判断,亲自示范野外地质工作方法,亲自到海拔 5400 m 的勘探现场指导勘查,并提出宝贵的勘查部署建议和研究方案,受益匪浅。正是学生践行陈先生提出并完善的矿床成矿系列理论,这支势单力薄的矿产资源研究所青藏研究团队在青藏高原高寒山区艰苦奋斗,在科技引领找矿突破的主战场上自得其乐,并以此为荣。期冀陈先生的矿床成矿系列理论精髓引领我们前行,光芒照在我们身上,温暖我们的心灵,先生的治学理念和科学思想在矿床学、区域成矿规律与找矿预测学等领域发扬光大、光芒四射。

参考文献/References

- 陈毓川. 1999. 中国主要成矿区带矿产资源远景评价[M]. 北京:地质出版社.
- 陈毓川,裴荣富,王登红. 2006. 三论矿床的成矿系列问题[J]. 地质学报, 80(10): 1501-1508.
- 陈毓川. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价[M]. 北京:地质出版社.
- 陈毓川,王登红. 2010. 重要矿产预测类型划分方案[M]. 北京:地质出版社.
- 丁 枫,郎兴海,胡正华,杨欢欢,王子正,张 丽. 2012. 西藏雄村铜金矿 I 号矿体赋矿凝灰岩的岩石地球化学特征及成因探讨[J]. 地球学报, 33(4): 546-558.
- 董彦辉,许继峰,曾庆高,王 强,毛国政,李 杰. 2006. 存在比桑日群弧火山岩更早的新特提斯洋俯冲记录么? [J]. 岩石学报, 22(3): 661-668.
- 方 向,唐菊兴,李彦波,王 勤,丁 帅,张 志,杨 超,李玉彬,陈红旗,卫鲁杰,尼 玛. 2014. 西藏多龙矿集区拿若铜(金)矿床成矿元素空间分布规律及地球化学勘查模型[J]. 中国地质, 41(3): 936-950.
- 方 向,唐菊兴,宋 杨,杨 超,丁 帅,王艺云,王 勤,张 志,杨欢欢,唐 攀. 西藏铁格隆南超大型浅成低温热液铜(金、银)矿床的形成时代及其地质意义[J]. 地球学报,待刊.
- 耿全如,潘桂棠,金振民,王立全,朱弟成,廖忠礼. 2005. 西藏冈底斯带叶巴组火山岩地球化学及成因[J]. 地球科学, 30(6): 747-760.
- 耿全如,潘桂棠,王立全,朱弟成,廖忠礼. 2006. 西藏冈底斯带叶巴组火山岩同位素地质年代[J]. 沉积与特提斯地质, 26(1): 1-7.

- 和钟铮,杨德明,郑常青,王天武. 2006. 冈底斯带门巴花岗岩同位素测年及其对新特提斯洋俯冲时代的约束[J]. 地质论评, 52(1): 100-106.
- 侯增谦,王二七. 2008. 印度-亚洲大陆碰撞成矿作用主要研究进展[J]. 地球学报, 29(3): 275-292.
- 华仁民. 1998. 热液矿床不同构造背景的古地热系统[J]. 矿床地质, 17(26): 977-980
- 黄勇,唐菊兴,郎兴海,张丽,陈渊. 2011. 雄村铜金矿床Ⅱ号矿体侵入岩-火山岩的地球化学特征:对岩石成因及构造背景的约束[J]. 矿床地质, 30(2): 361-373.
- 黄勇,丁俊,唐菊兴,张丽,郎兴海. 2012. 西藏雄村斑岩型铜金矿红柱石成因矿物学特征[J]. 地球学报, 33(4): 510-518.
- 黄勇,唐菊兴,张丽,郎兴海. 2014. 西藏雄村斑岩铜金矿集区火山-岩浆岩锆石铀同位素组成[J]. 地质学报, 88(8): 1528-1538.
- 纪伟强,吴福元,鍾孙霖,刘传周. 2009. 西藏南部冈底斯岩基花岗岩时代与岩石成因[J]. 中国科学(D辑), 39(7): 849-871.
- 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,陈毓川,唐菊兴,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Ⅰ号矿体的岩石地球化学特征:对成矿构造背景的约束[J]. 地质与勘探, 46(5): 887-898.
- 郎兴海,唐菊兴,陈毓川,李志军,黄勇,王成辉,陈渊,张丽. 2010c. 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.
- 郎兴海,唐菊兴,陈毓川,李志军,邓起,黄勇,王成辉,陈渊,张丽,周云. 2012a. 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,李志军,董树义,丁枫,王子正,张丽,黄勇. 2012b. 西藏谢通门县雄村铜金矿区及其外围的找矿前景地球化学评价[J]. 地质与勘探, 48(1): 12-23.
- 郎兴海,唐菊兴,李志军,黄勇,丁枫,王成辉,张丽,周云. 2012c. 西藏雄村斑岩型铜金矿集区Ⅰ号矿体的硫、铅同位素特征及其对成矿物质来源的指示[J]. 地球学报, 33(4): 459-470.
- 郎兴海,唐菊兴,李志军,董树义,丁枫,谢富伟,王子正,张丽,黄勇. 2014. 化探在西藏雄村矿区Ⅱ、Ⅲ号矿体发现中的作用[J]. 物探与化探, 38(4): 667-672.
- 李金祥,李光明,秦克章,肖波. 2008. 班公湖带多不杂富金斑岩同矿床斑岩-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.
- 李玉彬,多吉,钟婉婷,李玉昌,强巴旺堆,陈红旗,张金树,张天平,徐志忠,范安辉,索朗旺钦. 2012a. 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.
- 李玉彬,钟婉婷,张天平,陈华安,李玉昌,陈红旗,范安辉. 2012b. 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[J]. 地球学报, 33(4): 579-587.
- 刘羽,刘文元,王少怀. 2011. 紫金山金铜矿二元铜硫化物成分特点的初步研究[J]. 矿床地质, 30(4): 735~741.
- 莫宜学,董国臣,赵志丹,周肃,王亮亮,邱瑞照,张风琴. 2005. 西藏冈底斯带花岗岩的时空分布特征及地壳生长演化信息[J]. 高校地质学报, 11(3): 281-290.
- 母瑞身,田昌烈,杨芳林,刘海山,贾斌,沙德铭. 1996. 新疆阿希地区金矿概论[J]. 贵金属地质, 5(1): 5-21.
- 秦克章,李光明,张旗,李金祥,缪宇,肖波,张天平,多吉,李金高,陆彦. 2007. 西藏浅成低温金-银矿的成矿条件与可能产出区分析——从斑岩-浅成低温铜金成矿系统的角度[A]. 主编:陈毓川,毛景文,薛春纪. 第八届全国矿床会议论文集[C]. 北京:地质出版社. 666-670.
- 邱小平,蓝岳彰,刘羽. 2010. 紫金山金铜矿床深部成矿作用研究和找矿前景评价的关键[J]. 地球学报, 31(2): 209-215.
- 曲晓明,辛洪波. 2006. 藏西班牙湖斑岩铜矿带的形成时代与成矿构造环境[J]. 地质通报, 25(7): 792-799.
- 曲晓明,辛洪波,徐文艺. 2007. 三个锆石 U-Pb SHRIMP 年龄对雄村特大型铜金矿床容矿火成岩时代的重新厘定[J]. 矿床地质, 26(5): 512-518.
- 沙德铭,董连慧,母瑞身,田昌烈,贾斌. 2003. 西天山地区浅成低温热液型金矿地质特征及成矿模式[J]. 西北地质, 36(2): 50-59.
- 余宏全,李进文,马东方,李光明,张德全,丰成友,屈文俊,潘桂

- 梁. 2009. 西藏多不杂斑岩铜矿辉钼矿 Re-Os 和 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年及其地质意义[J]. 矿床地质, 28(6): 737-746.
- 唐菊兴, 李志军, 钟康惠, 孙传敏, 刘文周, 叶江, 徐仕海, 郭科, 丁枫, 郭文铂, 张廷斌, 张丽, 王志辉, 茅燕石, 郭娜, 郎兴海, 凌娟, 张峰, 崔晓亮, 黄厚辉, 黄勇, 王友. 2006. 西藏自治区谢通门县雄村铜矿勘探地质报告[R]. 成都: 成都理工大学档案馆.
- 唐菊兴, 李志军, 张丽, 黄勇, 邓起, 郎兴海, Lang J, Tafiti R. 2007. 雄村式斑岩型-浅成低温热液型铜金矿地质特征[J]. 矿物学报, (Z1): 127-128.
- 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, 张丽, 黄勇, 李志军, 邓启, 郎兴海, 王友. 2009b. 西藏谢通门县雄村铜金矿主要地质体的⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 28(6): 759-769.
- 唐菊兴, 黎凤信, 李志军, 张丽, 唐晓倩, 邓起, 郎兴海, 黄勇, 姚晓峰, 王友. 2010. 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, 多吉, 刘鸿飞, 郎兴海, 张金树, 郑文宝, 应立娟. 2012. 冈底斯成矿带东段矿床成矿系列及找矿突破的关键问题研究[J]. 地球学报, 33(4): 393-410.
- 唐菊兴, 李志军, 郎兴海, 黄勇, 钟康惠, 刘文周, 叶江, 臧文栓, 唐晓倩, 张丽, 张志, 郑文宝, 梁登逵, 张金树, 刘鸿飞, 郭文铂, 周云, 张廷斌, 丁枫, 杨毅, 胡志莲, 郭娜, 徐仕海, 郭科, 陈伟, 王艺云, 王红星, 米玛, 钟婉婷, 王勤, 林鑫, 杨欢欢. 2013. 西藏自治区谢通门县雄村铜矿区勘探报告[R]. 北京: 中国地质资料馆.
- 唐菊兴, 孙兴国, 丁帅, 王勤, 王艺云, 杨超, 陈红旗, 李彦波, 李玉彬, 卫鲁杰, 张志, 宋俊龙, 杨欢欢, 段吉琳, 高轲, 方向, 谭江云. 2014. 西藏多龙矿集区发现浅成低温热液型铜(金银)矿床[J]. 地球学报, 35(1): 1-10.
- 王登红, 陈郑辉, 陈毓川, 唐菊兴, 李建康, 应立娟, 王成辉, 刘善宝, 李立兴, 秦燕, 李华芹, 屈文俊, 王彦斌, 陈文, 张彦. 2010. 我国重要矿产地成岩成矿年代学研究新数据[J]. 地质学报, 84(7): 1030-1040.
- 杨超, 唐菊兴, 王艺云, 杨欢欢, 孙兴国, 冯军, 印贤波, 王勤, 丁帅, 方向, 李玉彬. 2014. 西藏铁格隆南高硫化型浅成低温热液-斑岩型 Cu-Au 矿床矿物、蚀变、流体特征初步研究[J]. 矿床地质, 33(6): 1287~1305.
- 翟伟, 孙晓明, 贺小平, 苏丽薇, 吴有良, 董艺辛. 2007. 新疆阿希低硫型金矿床流体地球化学特征与成矿机制[J]. 地质学报, 81(5): 659-669.
- 张丽, 唐菊兴, 邓起, 黄勇, 郎兴海. 2007. 西藏谢通门县雄村铜(金)矿床物质成分研究及其意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学学报), 34(3): 318-326.
- 张德全, 李大新, 赵一鸣, 陈景河, 李子林, 张克尧. 1991. 福建紫金山矿床——中国大陆首例石英-明矾石型浅成低温热液铜-金矿床[J]. 地质论评, 37(6): 481-491.
- 张德全, 丰成友, 李大新, 余宏全, 董英君. 2005. 紫金山地区斑岩-浅成热液成矿系统的成矿流体演化[J]. 地球学报, 26(2): 127-136.
- 张锦章. 2013. 紫金山矿集区地质特征、矿床模型与勘查实践[J]. 矿床地质, 32(4): 757-766.
- 朱弟成, 潘桂棠, 王立全, 莫宣学, 赵志丹, 周长勇, 廖忠礼, 董国臣, 袁四化. 2008. 西藏冈底斯带侏罗纪岩浆作用的时空分布及构造环境[J]. 地质通报, 27(4): 458-468.
- 祝向平, 陈华安, 马东方, 黄瀚霄, 李光明, 卫鲁杰, 刘朝强. 2012. 西藏多不杂斑岩铜金矿床地质与蚀变[J]. 地质与勘探, 48(2): 199-206.
- Barton P B. 1970. Sulfide petrology[J]. Mineralogical Society of America, Special Paper 3: 187-198.
- Chu M F, Chung S L, Song B, Liu D, O'Reilly S Y, Pearson N J and Wen D J. 2006. Zircon U-Pb and Hf isotope constraints on the Mesozoic tectonics and crustal evolution of Southern Tibet[J]. Geology, 34(9): 745-748. doi:10.1130/G22725.1
- Einaudi M T, Hedenquist J W and Inan E E. 2003. Sulfidation State of Fluids in Active and Extinct Hydrothermal Systems: Transitions from Porphyry to Epithermal Environments[J]. Society of Economic Geologists and Geochemical Society, Special Publication 10: 1-50.
- Guo L H, Liu Y L, Liu S W, Cawood P A, Wang Z H and Liu H F. 2013. Petrogenesis of Early to Middle Jurassic granitoid rocks from the Gangdese belt, Southern Tibet: Implications for early history of the Neo-Tethys[J]. Lithos, 179: 320-333.
- Hébert R, Bezarda R, Guilmette C, Dostal J, Wang C S and Liu Z F. 2012. The Indus-Yarlung Zangbo ophiolites from Nanga Parbat to

- Namche Barwa syntaxes, southern Tibet: First synthesis of petrology, geochemistry, and geochronology with incidences on geodynamic reconstructions of Neo-Tethys[J]. *Gondwana Research*, 22: 1429-1454.
- Hedenquist J W and Lowenstern J B. 1994. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits[J]. *Nature*, 370: 519-527.
- Hedenquist J W, Arribas A and Reynolds T J. 1998. Evolution of an intrusion center edhydrothermal system: Farsoutheast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines[J]. *Econ. Geol.*, 93(4): 373-404.
- Hedenquist J W, Arribas A R and Gonzalez E U. 2000. Exploration for Epithermal gold deposits. *SEG Reviews*, 13: 245-277.
- John D A, Garside L J and Wallace A R. 1999. Magmatic and tectonic setting of late Cenozoic epithermal gold-silver deposits in northern Nevada, with an emphasis on the Pah Rah and Virginia Ranges and the northern Nevada rift[A]. In: Kizis J A, ed. *Low-sulfidation gold deposits in northern Nevada*[C]. Geological Society of Nevada, 64-158.
- John D A. 2001. Miocene and early pliocene epithermal gold-silver deposits in the northern Great Basin, western USA: Characteristics, distribution, and relationship to magmatism[J]. *Econ. Geol.*, 96: 1827-1853.
- Kerrich R, Goldfarb R, Groves D I and Garwin S. 2000. The geodynamics of world-class gold deposits: Characteristics, space-time distribution, and origins[J]. *Society of Economic Geologists Reviews in Economic Geology*, 13: 501-551.
- Lang X H, Tang J X, Li Z J, Huang Y, Ding F, Yang H H, Xie F W, Zhang L, Wang Q and Zhou Y. 2014. U-Pb and Re-Os geochronological evidence for the Jurassic porphyry metallogenic event of the Xiongcuo district in the Gangdese porphyry copper belt, southern Tibet, PRC[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 79: 608-622.
- Li G M, Li J X, Qin K Z, Duo J, Zhang T P, Xiao B and Zhao J X. 2012. Geology and hydrothermal alteration of the duobuza gold-rich porphyry copper district in the bangongco Metallogenetic belt, northwestern Tibet[J]. *Resource Geology*, 62(1): 99-118.
- Li J X, Li G M, Qin K, Xiao B, Zhao J X and Chen L. 2011. Magmatic-hydrothermal evolution of the Cretaceous Duolong gold-rich porphyry copper deposit in the Bangongco metallogenetic belt, Tibet: Evidence from U-Pb and ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 41: 525-536.
- Li J X, Qin K, Li G M, Xiao B, Zhao J X, Cao M J and Chen L. 2013. Petrogenesis of ore-bearing porphyries from the Duolong porphyry Cu-Au deposit, central Tibet: Evidence from U-Pb geochronology, petrochemistry and Sr-Nd-Hf-O isotope characteristics[J]. *Lithos*, (160-161): 216-227.
- Li J X, Qin K Z, Li G M, Richards J P, Zhao J X and Cao M J. 2014. Geochronology, geochemistry, and zircon Hf isotopic compositions of Mesozoic intermediate-felsic intrusions in central Tibet: Petrogenetic and tectonic implications[J]. *Lithos*, 198-199: 77-91.
- Meyer C and Hemley J J. 1967. Wall-rock alteration[A]. In: Barnes H L, ed. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*[C]. New York: Holt, Rinehart and Winston. 166-235.
- Oliver J. 2006. Geological mapping of the Xietongmen property and continuous areas, Tibet, People's Republic of China[R]. Private Report to Continental Minerals Corp.
- Richards J P. 2009. Postsubduction porphyry Cu-Au and epithermal Au deposits: Products of remelting of subduction-modified lithosphere [J]. *Geology*, 37(3): 247-251.
- Richards J P. 2011. Economic geology: Hidden gold[J]. *Nature Geoscience*, 4(2): 73-74.
- Seedorff E, Dilles J H, Proffett J M, Einaudi M T, Zurcher L, Stavast W J and Barton M D. 2005. Porphyry deposits: Characteristics and origin of hypogene features[J]. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, 29: 251-298.
- Sillitoe R H. 1997. Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 44(3): 373-388.
- Sillitoe R H. 2010. Porphyry copper systems[J]. *Econ. Geol.*, 105: 3-41.
- Simmons S F and Christenson B W. 1994. Oregins of Calcite in a boiling geothermal system[J]. *American Journal of Science*, 294: 361-400.
- Simmons S E, Ahehart G, Simpson M P and Mauk J L. 2000. Origin of massive calcite veins in the Golden Cross low-sulfidation, epithermal Au-Ag deposit, New Zealand[J]. *Econ. Geol.*, 95: 99-112.
- Simon G, Kesler S E, Russell N, Hall C M, Bell D and Pinero E. 1999. Epithermal gold mineralization in an old volcanic arc: The Jacinto de-

- posit, Camaguey district, Cuba[J]. *Econ. Geol.*, 94: 487-506.
- Tafti R, Mortensen J K, Lang J R, Rebagliati M and Oliver J L. 2009. Jurassic U-Pb and Re-Os ages for the newly discovered Xietongmen Cu-Au porphyry district, Tibet, PRC: Implications for metallogenic epochs in the southern Gangdese belt[J]. *Econ. Geol.*, 104(1): 127-136.
- Tan L P. 1991. The chikuashih gold-copper deposit [J]. *Taiwan: society of Economic Geologists Newsletter*, (7): 22-24.
- Tang J X, Sun X G, Ding S, Wang Q, Wang Y T, Yang C, Chen H Q, Li Y, Li Y B, Wei L J, Zhang Z, Song J L, Yang H H, Duan J L, Gao K, Fang Xiang and Tan J Y. 2014. Discovery of the Epithermal Deposit of Cu (Au-Ag) in the Duolong Ore Concentrating Area, Tibet[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 35 (1): 6-10.
- Wang K L. 2004. Geochemical constraints for the genesis of postcollisional magmatism and the geodynamic evolution of the northern Taiwan region[J]. *Journal of Petrology*, 45(5): 975-1011.
- Wang Y, Sasaki M, Sasada M and Chen C H. 1999. Fluid inclusion studies of the Chinkuashih high sulfidation gold-copper deposits in Taiwan[J]. *Chemical Geology*, 154: 155-167.
- Zhou S, Mo X X, Mahoney J J, Zhang S, Guo T and Zhao Z. 2002. Geochronology and Nd and Pb isotope characteristics of gabbro dikes in the Luobusha ophiolite, Tibet[J]. *Chinese Science Bulletin (English edition)*, 47(2): 143-146. doi: CNKI:SUM:JXTW.0.2002-02-014.
- Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y, Dilek Y, Hou Z Q and Mo X X. 2013. The origin and pre-Cenozoic evolution of the Tibetan Plateau[J]. *Gondwana Research*, 23 (4): 1429-1454.

<http://www.kcdz.ac.cn/>