

西藏尕尔穷—嘎拉勒铜金矿集区成矿规律、 矿床模型与找矿方向

唐菊兴¹⁾, 张 志²⁾, 李志军²⁾, 孙 燕²⁾, 姚晓峰³⁾, 胡正华⁴⁾,
王红星²⁾, 宋俊龙²⁾, 何 林⁵⁾

1) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;

2) 成都理工大学, 四川成都 610059;

3) 中国地质大学(北京), 北京 100083;

4) 江西省地质调查研究院, 江西南昌 330000;

5) 西藏自治区地质矿产勘查开发局第二地质大队, 西藏拉萨 850000

摘 要: 尕尔穷—嘎拉勒铜金矿集区位于西藏班公湖—怒江成矿带西段南缘的北冈底斯北侧, 矿体类型丰富(斑岩型、矽卡岩型及铁氧化物铜金建造型), 金品位较高(最高可达 205 g/t), 构造位置独特, 研究意义重大。通过对矿集区成矿地质条件的系统总结及对前人研究资料的系统分析, 查明了矿石特征, 发现了大量自然金、金属互化物, 总结了成矿规律, 认为成矿主要与晚燕山期侵位的石英闪长岩及花岗闪长岩有关, 成岩与成矿之间演化时间在 1 Ma 左右, 区内矿化具有上铜金下钼的垂向分带特征, 矿床 S、Pb 同位素显示成矿物质具有壳幔混合的源区特征。在准铝质-微弱过铝质钙碱性-高钾钙碱性岩浆岩的侵位、分馏演化过程中, 在岩体隆起部位及其与白垩纪碳酸盐的内外接触带形成斑岩-矽卡岩型铜金(钼)矿体, 在岩体边缘构造破碎带(F₁ 断层)内形成铁氧化物铜金建造型矿体, 由此建立了岩浆岩-地层-构造控制的斑岩-矽卡岩-铁氧化物铜金建造“三位一体”矿床模型。结合以上研究, 提出矿集区应予以重视的找矿方向。

关键词: 尕尔穷—嘎拉勒矿集区; 成矿规律; 矿床模型; 斑岩-矽卡岩型矿体; 班公湖—怒江成矿带

中图分类号: P618.41; P618.51; P612 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2013.04.01

The Metallogensis, Deposit Model and Prospecting Direction of the Ga'erqiong-Galale Copper-gold Ore Field, Tibet

TANG Ju-xing¹⁾, ZHANG Zhi²⁾, LI Zhi-jun²⁾, SUN Yan²⁾, YAO Xiao-feng³⁾,
HU Zheng-hua⁴⁾, WANG Hong-xing²⁾, SONG Jun-long²⁾, HE Lin⁵⁾

1) Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

2) Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059;

3) China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083;

4) Jiangxi Institute of Geological Survey, Nanchang, Jiangxi 330000;

5) No. 2 Geological Party, Tibet Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration, Lhasa, Tibet 850000

Abstract: Located in the south of western Bangong Co-Nujang River metallogenic belt of north Gangdise, the Ga'erqiong-Galale copper-gold ore field possesses lots of ore body types (porphyry type, skarn type and iron oxide-copper-gold type) and high gold grade (up to 205 g/t) and unique structural position, thus having great research significance. According to systematic summary of ore concentration areas and systematic analysis of data,

本文由国家自然科学基金项目(编号: 41172077)、国家 973 项目(编号: 2011CB403103)、国土资源部公益性行业科研专项项目(编号: 201011013-3)联合资助。获中国地质科学院 2012 年度十大科技进展第八名。

收稿日期: 2013-04-08; 改回日期: 2013-06-06。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 唐菊兴, 男, 1964 年生。博士, 研究员。主要从事矿床勘查研究。E-mail: tangjuxing@126.com。

the authors identified ore characteristics, found a large number of native gold and intermetallic compounds, and summarized the metallogensis. It is considered that metallization was mainly associated with emplacement of quartz diorite and granodiorite in the late phase of Yanshanian period, the evolution time between diagenesis and mineralization was about 1 Ma, and the mineralization in the area was characterized by the vertical zoning of copper-gold in the upper part and molybdenum in the lower part. S, Pb isotopes suggest that the metallogenic material had characteristics of crust-mantle mixing. During the emplacement and fractionation evolution of metaluminous-weak peraluminous calc-alkaline-high-K calc-alkaline magmatite, the porphyry-skarn type copper-gold-molybdenum ore bodies were formed in the area of pluton uplifting and along the contact zone between the pluton and the Cretaceous carbonate, whereas iron oxide-copper-gold type ore bodies were formed at the edge of pluton's tectonic fracture zone (F_1 fault). On such a basis, the authors have established the porphyry-skarn-iron oxide-copper-gold type "three-position" mineralization deposit model of magmatite-strata-ore-controlling structure. Based on these data, the authors indicate the prospecting direction in search for new ore bodies in the ore field.

Key words: Ga'erqiong-Galale ore field; metallogensis; deposit model; porphyry-skarn ore body; Bangong Co-Nujiang River metallogenic belt

尕尔穷—嘎拉勒矿集区大地构造位置位于班公湖—怒江缝合带西段, 岩浆及构造活动强烈, 成矿地质条件得天独厚。班公湖—怒江结合带的构造演化过程与时限争论较多, 至今尚无定论。早期有地质学家认为该结合带的演化仅限于班公湖—怒江特提斯洋向羌塘板块下的单向(向北)俯冲(Pearce et al., 1988; Kapp et al., 2003; 蒋光武等, 2009), 邱瑞照等(2004)认为特提斯洋盆于早侏罗世打开, 中侏罗世开始向冈底斯—念青唐古拉板片的单向(向南)俯冲, 洋盆最终在早白垩世末封闭。随着地质调查及研究的不断深入, 越来越多的地质学者认为该构造带具有双向俯冲的特征(李光明等, 2007; 康志强等, 2010; 杜德道等, 2011), 尽管俯冲演化的时限尚存在一定的争论, 但“双向俯冲”的观点取得一定认可。耿全如等(2011)在综合总结前人研究资料及野外实地调查基础上, 提出了目前认可度较高同时也是本文所支持的区域构造背景——班公湖—怒江特提斯洋在中侏罗世至早白垩世向北、向南双向俯冲, 在晚白垩世碰撞缝合。

至今为止, 在区域上已发现的矿床类型主要为矽卡岩型铁铜金(钼)矿及斑岩型铜金矿, 如材玛矽卡岩型铁多金属矿、弗野矽卡岩型铁矿、鲁玛矽卡岩型铁矿、丁玛日矽卡岩型铜金矿、尕尔穷—嘎拉勒斑岩-矽卡岩型铜金(钼)矿集区, 以及多龙斑岩型铜金矿集区。该成矿带内已发现矿床成岩成矿年龄表明从俯冲到碰撞, 均有相应的成矿事件发生, 位于该带北缘的多龙超大型铜金矿是俯冲期成矿作用的典型矿床, 而南缘的尕尔穷—嘎拉勒铜金(钼)矿集区则是碰撞期成矿作用的产物, 但仍带有弧岩浆的特征(张志等, 2013a)。

尕尔穷—嘎拉勒矿集区内已经勘查评价了 2 个大型矽卡岩型铜金矿, 同时也是班—怒成矿带碰撞期成矿事件的典型代表(唐菊兴等, 2013; 张志等, 2013a, b)。作为班—怒成矿带 2 大重要的矿集区之一, 与多龙矿集区形成了班怒带重要的勘查基地, 作者及相关研究者对区内矿床地质特征(唐菊兴等, 2009; 李志军等, 2011a, 2012; 胡正华等, 2012)、成岩成矿时代(李志军等, 2011b; 姚晓峰等, 2012b, 2013; 吕立娜等, 2011)、岩体地球化学特征(邓世林等, 2011; 雷传扬等, 2012; 张志等, 2013a)、成矿物质来源(姚晓峰等, 2012a)、矽卡岩特征及其成因(宋俊龙等, 2012; 张志等, 2013b, c)、岩石地球化学异常特征(王红星等, 2012)、成矿元素赋存状态及空间分布规律(姚晓峰等, 2011; 张志等, 2012)、矿石特征及金属互化物的发现(王友, 2010; 肖渊甫等, 2012a)等方面均进行了较为详细的研究。本文综合以上研究, 总结了区内矿床成矿地质条件与成矿规律, 构建了矿床形成的时空格架, 详细介绍了研究进展, 建立具有班—怒成矿带斑岩-矽卡岩型矿床找矿的矿床模型, 并在矿集区圈定了找矿靶区, 为区域找矿指明了方向。

1 矿床地质特征

尕尔穷—嘎拉勒矿集区位于西藏阿里地区革吉县境内, 区内现已勘查出尕尔穷斑岩-矽卡岩型铜金钼矿床及嘎拉勒矽卡岩型铜金(钼)矿床, 岩浆岩主要为燕山晚期中酸性侵入岩, 出露地层主要为白垩系及第四系(图 1)。

1.1 尕尔穷矿床

尕尔穷矿区出露地层主要为白垩系多爱组(K_1d)

及第四系(Q)。区内侵入岩主要为燕山晚期酸性花岗岩类,按侵位时序从早至晚主要可见石英闪长(玢)岩、花岗闪长岩、花岗斑岩等。石英闪长岩、花岗闪长岩主要以岩株形式产出,而花岗斑岩主要以岩脉、岩枝形式产出,其中石英闪长(玢)岩与成矿关系最为密切,矿区主矽卡岩型铜金矿体便产于石英闪长岩与大理岩或灰岩接触带矽卡岩内。区内构造主要可见断裂构造及褶皱构造,以断裂构造为主。区内断裂主要可见F₁、F₂、F₃三条断层,F₁与F₂断层走向北东—南西向,F₃断层走向北西—南东向。其中F₁断层与成矿关系密切,其既为成矿提供了矿质运移通道,同时又提了容矿空间,为对成矿有利的导矿容矿构造。

尔穷矿区矿体主要有I、II和III号三个矿体(图1),其中I号矿体为矿区主矿体。I号与II号矿体为斑岩-矽卡岩型铜金钼矿体,在石英闪长岩与大理岩或灰岩的接触带钙质矽卡岩内形成了铜金矿体,而在深部石英闪长玢岩中出现规模较小的斑岩型钼矿体,总体表现出上铜金下钼的分带特征。III号矿体赋存于F₁断层构造破碎带内,为铁氧化物铜金矿体(似IOCG),构造蚀变岩型铜金矿体成矿元素品位普遍较高,其中Au最高可达205 g/t,矿区金属矿物

主要可见黄铜矿、斑铜矿、磁铁矿、赤铁矿、辉钼矿、自然金、金矿物、银矿物等(王友,2010),脉石矿物主要为矽卡岩矿物。围岩蚀变主要可见矽卡岩化、青盘岩化以及角岩化等(表1)。

肖渊甫等(2012a)在对矿区进行矿石特征研究的过程中,发现了罕见金属Ni-Cr-Fe、Cu-Zn互化物,认为Ni-Cr-Fe互化物具有形成条件及物质来源的重要的示踪性,揭示成矿过程经历了高温高压、强还原的条件,同时还指示该矿床成矿流体可能具有地幔-地核物质的参与。而罕见产于矽卡岩型矿床中Cu-Zn互化物的发现亦具有重要的科学研究意义,丰富了此类矿物形成地质环境的界定,并指出此类互化物常形成于成矿作用发生的早期,而且是在成矿体系中硫逸度较低、高温、还原的环境下形成的。

1.2 嘎拉勒矿床

嘎拉勒矿区出露地层主要可见下白垩系朗久组(K₁l)、下白垩系捷嘎组(K₁jg)及第四系松散堆积物(Q)(图1)。矿区构造主要可见断裂与褶皱构造,以断裂构造为主,在主矿体周围分布有F₁、F₂、F₃、F₄四条断层,F₁断层走向北东东—南西西向,F₂断层走向北西西—南东东向,F₃与F₄断层走向近南北向,其中F₁与F₂断层为对矿体具有一定破坏作用的断

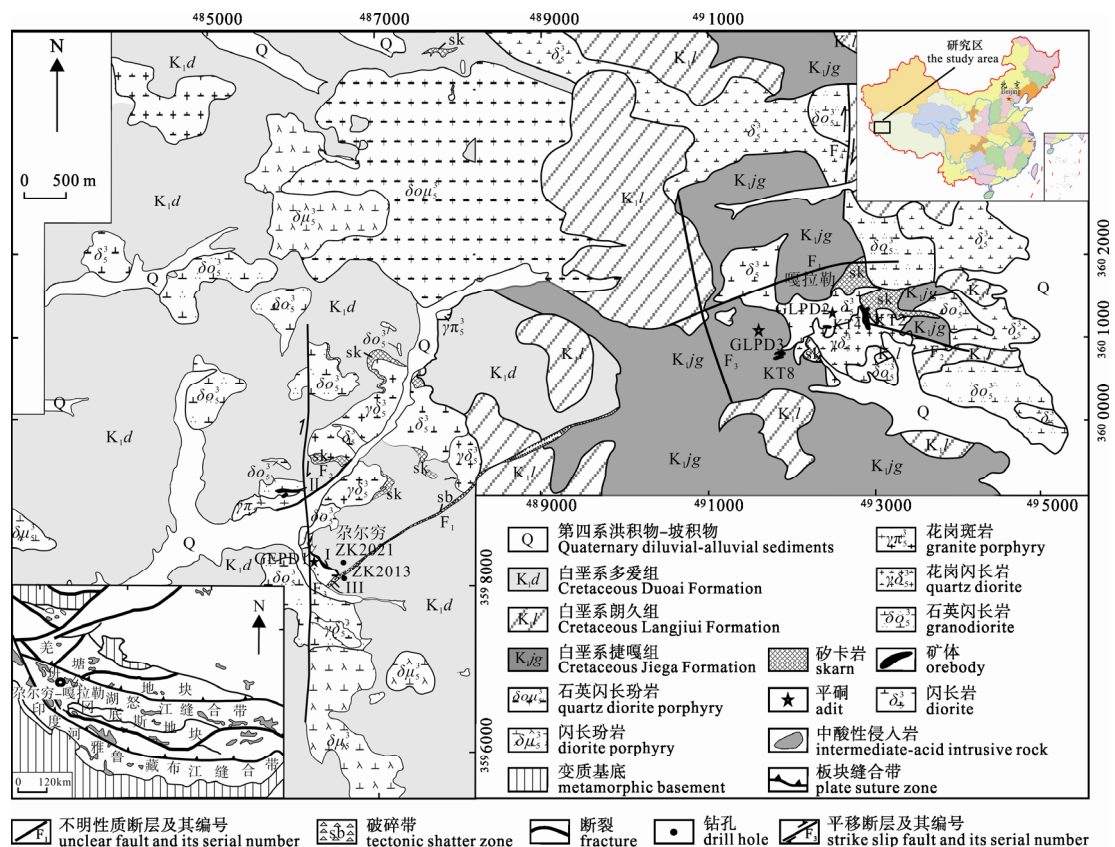


图1 西藏尔穷—嘎拉勒铜金矿集区地质简图(据唐菊兴等,2009,2013修编)

Fig. 1 Generalized geological map of the Ga'erqiong-Galale Cu-Au ore field, Tibet (modified after TANG et al., 2009, 2013)

层, F_3 与 F_4 断层性质暂不明。区内岩浆岩按侵入时序从早到晚可见巨斑状石英闪长岩(似斑状结构)、闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、花岗斑岩等。巨斑状石英闪长岩以岩脉、岩枝形式产出, 而其它岩性则多以岩株形式产出。其中花岗闪长岩与成矿关系最为密切, 矿区主矽卡岩型铜金矿体便产于花岗闪长岩与白云岩或白云质大理岩接触带矽卡岩内。矿区已发现有 10 余个矿体, 其中 KT2、KT4、KT8 号矿体为矿区主矿体, 矿体均产于花岗闪长岩与白云岩接触带矽卡岩内, 其产状多随接触带矽卡岩形态的变化而变化, 主要呈似层状、层状、港湾状及不规则状产出。金属矿物主要可见磁铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、蓝辉铜矿、铜蓝、褐铁矿、钛铁矿、赤铁矿、金矿物、银矿物等, 非金属矿物主要为镁质矽卡岩矿物, 由橄榄石、透辉石、金云母、滑石、蛇纹石、绿泥石、绿帘石等组成。围岩蚀变主要可见矽卡岩化、大理岩化、硅化、绿泥石

化、绿帘石化、角岩化等(表 1)。

2 成矿规律

2.1 矿床在空间上的展布规律

区内尕尔穷、嘎拉勒两个大型铜金矿床, 呈北东—南西向分布, 矿床受北东—南西向近平行分布的断裂构造控制, F_1 是矿集区重要的导矿容矿构造, 因此, 在矿集区外围要注意北东向构造控岩控矿作用。

2.2 成矿时代

矿集区尕尔穷矿床成矿母岩石英闪长玢岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 平均年龄为 (87.1 ± 0.4) Ma, MSWD=0.88(图 2A)(姚晓峰等, 2013); 花岗斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 平均年龄为 (83.2 ± 0.7) Ma, MSWD=0.51(图 2B)(姚晓峰等, 2012b); 辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄为 (86.87 ± 0.50) Ma, MSWD=0.52(图 2E), 模式年龄为

表 1 尕尔穷—嘎拉勒铜金钼矿集区矿床地质特征简表
Table 1 Geological features of the Ga'erqiong-Galale Cu-Au-Mo ore field

	尕尔穷铜金矿	嘎拉勒铜金矿
地层	白垩系多爱组, 主要由灰岩、大理岩、火山角砾岩、凝灰岩及角岩组成 第四纪残坡积物、洪冲积物	白垩系则弄群上部朗久组, 主要由流纹质-英安质火山碎屑岩、角闪石英粗安岩组成; 下白垩系捷嘎组, 主要由泥晶灰岩、生物介壳灰岩、白云质大理岩组成。 第四纪残坡积物、洪冲积物
构造	矿区构造主要表现为北东—南西及近南—北方向的 3 条断裂构造。其中 F_1 断层为对成矿有利的导矿及容矿构造。区内褶皱构造较少发育	矿区构造发育, 可见呈东西向、北东—南西向等 4 条断裂, 以东西向断裂构造为主。褶皱主要为背斜褶皱, 轴面向南倾斜, 枢纽近东西向
岩浆岩	矿区岩浆岩以燕山期中酸性侵入岩为主, 早期为石英闪长(玢)岩、花岗闪长岩、花岗闪长斑岩; 晚期为花岗斑岩及细晶岩(邓世林等, 2011; 姚晓峰等, 2012b, 2013)	矿区岩浆岩从早到晚依次可见灰黑色-灰色闪长岩-石英闪长(玢)岩, 灰白色花岗闪长(斑)岩及晚期灰白色花岗斑岩。其中成矿母岩花岗闪长岩成岩时代为燕山晚期(吕丽娜等, 2011)
矿(化)体类型	矽卡岩型矿体(Cu+Au+Ag)、构造蚀变岩型矿体(Cu+Au+Ag)、斑岩型矿(化)体(Mo±Cu)	矽卡岩型矿体(Cu+Au+Ag)、构造角蚀变岩型矿体(Cu?+Au?), 斑岩型矿(化)体(Mo±Cu)
主要矿体形态与产状	号矿体走向北西—南东向, 倾向北东, 走向上大于 900 m, 倾向上大于 400 m, 局部可见“先陡后缓”现象, 主要呈似层状、透镜状产出; 号矿体总体上为一透镜体; 号矿体走向北东—南西向, 倾向因 F_1 断层倾向多变而多变, 走向上大于 600 m, 倾向上大于 200 m, 主要呈似层状产出	KT2 矿体走向为近南北向, 倾向近东, 倾角 $70^\circ \sim 80^\circ$ 之间, 主要呈层状、透镜状产出。KT4 矿体走向近东西向, 倾向北东, 倾角在 $60^\circ \sim 70^\circ$ 之间, 主要呈似层状、透镜状及部分不规则状产出; KT8 矿体走向近东西向, 倾向南西, 倾角 $55^\circ \sim 60^\circ$ 之间, 主要呈透镜状、层状及似层状产出
成矿元素组合	Cu、Au、Mo、Ag、Fe	Cu、Au、Mo、Ag、Fe
成矿母岩	石英闪长岩	花岗闪长岩
控矿构造与地层	F_1 断层、接触带构造、白垩系多爱组(K_1d)	接触带构造、白垩系捷嘎组(K_1jg)
围岩蚀变	矽卡岩化、绢云母化、硅化、钾化、绿帘石化、绿泥石化、碳酸盐化和泥化等	矽卡岩化、大理岩化、硅化、绿泥石化、绿帘石化、角岩化、绢云母化、高岭土化等
主要金属矿物及金属互化物	黄铜矿、斑铜矿、蓝铜矿、辉铜矿、辉钼矿、黄铁矿、磁黄铁矿、磁铁矿、赤铁矿、金矿物、银矿物 Fe-Cr-Ni, Cu-Zn	磁铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、蓝辉铜矿、铜蓝、褐铁矿、钛铁矿、赤铁矿、金矿物、银矿物等
主要非金属矿物	石榴子石、透辉石、透闪石、硅灰石、斜长石、石英、方解石、黑云母、绢云母、绿泥石、绿帘石等	蛇纹石、透辉石、橄榄石、金云母、绿帘石、绿泥石、透闪石、方解石、石英、黑云母、阳起石等
规模	大型	大型
矿床类型	斑岩-矽卡岩型	矽卡岩(斑岩)型

(86.79 ± 0.47) Ma(图 2F)(李志军等, 2011b)。尕尔穷矿床从岩体侵位至成矿经历了 1 Ma 左右的演化时间, 石英闪长岩/石英闪长玢岩侵位早于花岗斑岩, 晚期侵入的花岗斑岩对矿体具有一定的穿插。

矿集区嘎拉勒矿床成矿母岩花岗闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 平均年龄为(86.52 ± 0.41) Ma, MSWD=0.51(图 2C), 巨斑状石英闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 平均年龄为(131 ± 17) Ma, MSWD=0.85(图 2D)(吕立娜等, 2011)。早期侵入的

巨斑状石英闪长岩与成矿无关, 矿区主矿体的形成与晚期花岗闪长岩侵位于碳酸盐地层密切相关。

矿集区内矿床均属于燕山晚期的产物, 其大地构造位置属于班公湖—怒江特提斯洋俯冲消亡后, 与北冈底斯—念青唐古拉板块碰撞背景, 成岩成矿时代在 90~85 Ma, 为班—怒成矿带碰撞过程中北冈底斯带伸展背景的成矿事件。

2.3 控矿岩浆岩地球化学特征

尕尔穷矿区成矿母岩为石英闪长岩, 嘎拉勒矿

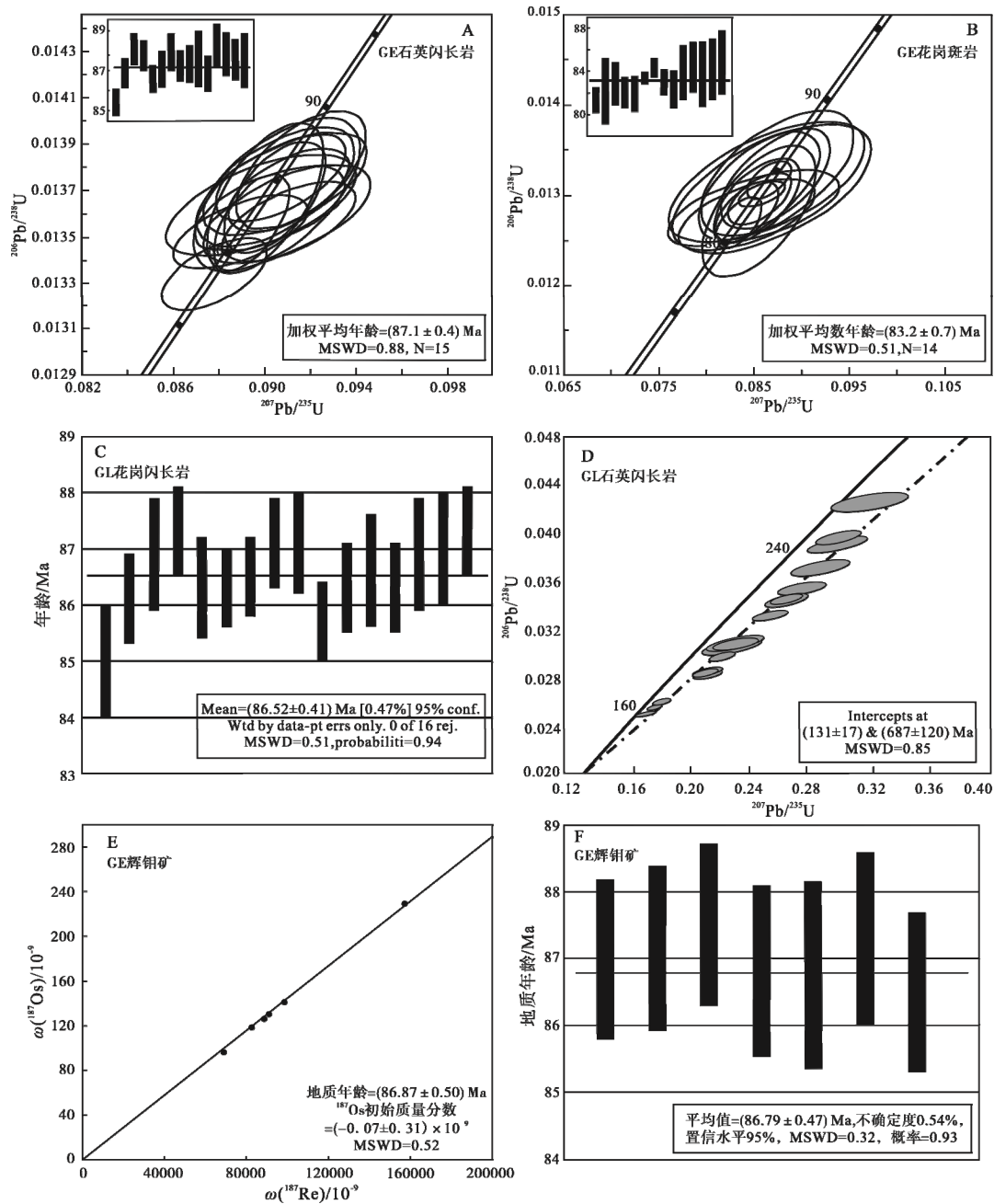


图 2 尕尔穷—嘎拉勒铜金矿集区成岩成矿年龄图解(据李志军等, 2011b; 吕立娜等, 2011; 姚晓峰等, 2012b, 2013) (GE-尕尔穷; GL-嘎拉勒)

Fig. 2 Rock-forming and ore-forming age diagram of the Ga'erqiong-Galale Cu-Au ore field (after LI et al., 2011; LÜ et al., 2011; YAO et al., 2012b, 2013) (GE-Ga'erqiong; GL-Galale)

区成矿母岩为花岗闪长岩,二者主量元素变化范围较大,但相对集中, $\omega(\text{SiO}_2)$ 介于 57.39%~66.96%之间, Na_2O 含量普遍高于 K_2O ,碱值 $\omega(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 在 4.86%~6.69%之间, $\omega(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 介于 14.82~16.91 之间, A/CNK (铝饱和指数)大多数小于 1,属于准铝质-微弱过铝质钙碱性-高钾钙碱性岩石系列的 I 型花岗岩(张志等,2013a)。

微量元素与稀土元素配分曲线均呈右倾型,稀土元素总量介于 111.45×10^{-6} ~ 176.04×10^{-6} 之间, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 介于 6.56~28.92 之间,轻重稀土分馏较明显,大离子亲石元素 Rb、Sr(GE 花岗斑岩除外)、Th 等相对富集,而 Ta、Nb、Hf、Zr、Yb、Ti 等高场强元素则相对亏损,各岩石类型均具 Nb、Ta、Ti 负异常,显示出具有寻找铜金(钼)矿潜力的岩浆岩亲缘性特征。

尕尔穷矿区石英闪长岩内锆石区域分析点的初始 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值为 0.282820~0.283016, $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值在 3.5~10.5 之间,显示出起源于具有幔源印记的初生地壳的花岗岩成矿专属性(姚晓峰等,2012b)。

2.4 成矿物质来源

2.4.1 S、Pb 同位素指示的物质来源

尕尔穷矿区金属硫化物样品(黄铜矿、黄铁矿)的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化于 -2.9‰~0.5‰ 之间,平均值为 -1.1‰,分布较为集中,变化范围较窄,硫同位素组成比较稳定,具有均一化程度高、数据点分布集中的特点。 $\delta^{34}\text{S}$ 频率直方图具有塔式分布特征,表明矿区硫为单一来源,具有幔源硫特征。 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 主要分布于 38.384~39.134 之间,平均值为 38.7628; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 主要分布于 15.577~15.725 之间,平均值为 15.644; $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 主要分布于 18.112~18.615 之间,平均值为 18.407; μ 值($^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$)在 9.44~9.69 之间。铅的上述各同位素比值十分稳定,变化较小,在构造环境判别中多数样品落于上地壳与造山带演化曲线之间,表明矿区铅主要来自地壳基底物质,具上地壳与地幔混合的造山带铅特征(姚晓峰等,2012a)。综上所述,尕尔穷矿区成矿物质主要来自具幔源特征物质,并受到上地壳物质的混染。

嘎拉勒矿床的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 介于 18.5101~18.747 之间,平均值为 18.6226; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 介于 15.619~15.7232 之间,平均值为 15.6673; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 介于 38.598~39.1903 之间,平均值为 38.8770,在构造环境判别图解中落于造山带与上地壳演化线附近(吕立娜,2012),相对于尕尔穷矿区的铅同位素特征,明显受上地壳物质的影响较大,表明其物质来源更

多地加入了地壳物质。

2.4.2 辉钼矿中 Re 含量所指示的物质来源

辉钼矿中 Re 是呈类质同象的形式替代钼,且其主要富集在地幔中,因此 Re 含量的多少往往对成矿物质的来源具有一定的指示作用(毛景文等,1999; 黄典豪等,1985; 郭保健等,2006; 李厚民等,2009)。尕尔穷矿区辉钼矿 Re 含量在 20.17×10^{-6} ~ 261.01×10^{-6} 之间,平均值为 145.14×10^{-6} ,指示矿区成矿物质可能来自壳幔混源物质,与矿床 S、Pb 同位素研究成果基本一致。

3 矿床模型

将尕尔穷—嘎拉勒矿集区内主要矿床特征、矿床产出大地构造背景、矿集区矿床模型,描述如下(图 3):

晚白垩世班怒洋关闭后,冈底斯—念青唐古拉板片与南羌塘—三江复合板片之间的弧-陆碰撞作用,班公湖残余洋盆向南俯冲,同时,南侧狮泉河小洋盆也向北俯冲消减(曹圣华等,2006),使得地壳发生重熔,中酸性岩浆沿构造裂隙上侵就位,首先在嘎拉勒矿区形成巨斑状石英闪长岩(131 Ma),与碎屑岩接触形成角岩化,未成矿;随后,地壳重熔岩浆受幔源岩浆混染,再次沿构造裂隙上侵,此次的岩浆携带大量成矿流体,就位于尕尔穷、嘎拉勒矿区碳酸盐岩地层中,在与碳酸盐岩接触部位发生接触交代矽卡岩化,矿质沉淀形成矽卡岩型铜金矿体。含矿热液中的金银等成矿元素主要以氟、氯络合物或硫氢络合物的形式迁移($[\text{Au}+\text{Cl}(\text{OH})]^-$ 、 $[\text{Au}+(\text{HS})_2]^-$ 、 $[\text{AgCl}_4]^{2-}$)(李占钊等,2010),铋在富硫流体中主要以硫络合物($\text{Bi}_2\text{S}_2(\text{OH})_2$ 、 HBi_2S_4)形式运移,以辉铋矿或铋的其他硫化物、硫盐矿物形式出现,此时常形成辉铋矿-自然金(银)矿物组合(肖渊甫等,2012b)。铋主要以硫络合物($\text{Bi}_2\text{S}_2(\text{OH})_2$ 、 HBi_2S_4)形式运移,形成自然元素矿物、金属合金、氧化物。随着温度降低 H_2S 水解电离的进行产生 S^{2-} 含量增加,同时由于温度降低发生气液相的分离,气相的挥发分(CO_2 、 H_2S)逸出热液,及围岩的碳酸盐岩中和 H^+ 使水解更彻底,这样热液相对由酸性转化为中性-弱碱性,在合适的温度及 pH、Eh 条件下,高温、中温、低温金属硫化物依次沉淀,形成矽卡岩型钼-铜-金-铋元素的共生矿体,反映出成矿流体的成分和性质演化过程,另有部分成矿元素直接沉淀花岗岩斑岩体顶部原生裂隙中,形成细脉浸染状矿化。成矿后期,构造运动对早期矿体具有一定的破坏作用,但

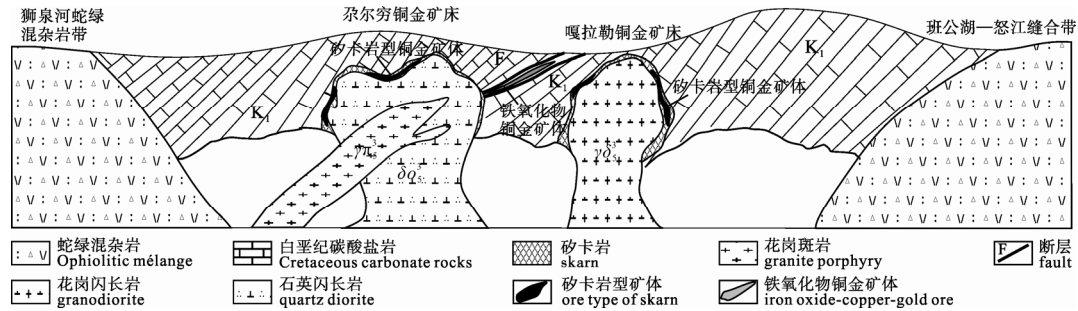


图3 尕尔穷—嘎拉勒矿集区矿床模型示意图

Fig. 3 Schematic diagram of deposit model for the Ga'erqiong-Galale ore field

同时也成为晚期含矿热液的导矿赋矿构造, 含矿热液中成矿物质沿断层运移充填并沉淀形成在整个成矿系统中具有举足轻重地位的铁氧化物-铜-金(似IOCG型)矿体。

4 找矿方向

很显然, 该区是阿里地区寻找斑岩-矽卡岩-铁氧化物铜金矿体的重要找矿远景区, 根据数年的勘查和研究, 尕尔穷—知给玛若地区是重要的找矿远景区, 目前尽管仅仅发现尕尔穷、嘎拉勒铜金矿, 但对于一个异常面积大于 144 km² 的异常区来说, 找矿潜力是巨大的。

结合成功的找矿经验, 在阿里地区寻找该类矿床应该注意以下几个重要的找矿标志:

1) 化探元素组合

外带元素 Zn-Pb-As-Sb-Tl-Li-Hg 组合; 中带元素 Te-Se-Bi-Zn-Pb-As-Sb-Tl 组合, 尤其是 Te-Se-Bi 组合可以对应于剥蚀至黄铁绢云岩化的中部; 内带的组合主要为 Cu-Mo 组合, 如果出现较好的铜钼异常, 已经对应于黄铁绢英岩化带的下部和钾硅化带的上部。

2) 铁帽

该类铁帽具有磁铁矿、赤铁矿共生的现象, 上部以铁氧化物为主, 下部为具有铜金组合的异常或矿化。

3) 含矿斑岩一般偏中性, 以石英闪长玢岩、闪长玢岩为主。含矿岩体上部及其接触带为铜金矿化, 岩体内常见钼矿化, 但规模不大, 很难形成工业矿体。

4) 接触带矽卡岩型矿体视围岩的性质, 如果围岩为灰岩为主, 形成石榴石矽卡岩、透辉石石榴石矽卡岩及硅灰石矽卡岩, 从而形成尕尔穷式的铜金矿体; 当围岩为白云质灰岩或白云岩时, 形成的矽卡岩中常发育橄榄石、蛇纹石、滑石、金云母等, 形

成嘎拉勒式铜金矿, 该套矽卡岩在阿里地区有被误认为蛇绿岩套的现象, 务必引起注意。

5) 由于目前发现的矿体尕尔穷—嘎拉勒矿集区的矽卡岩为近端矽卡岩, 未见典型远端矽卡岩, 暗示剥蚀程度较高。有些小矿体属于岩体包络面上的矿化。

5 结论

1) 尕尔穷—嘎拉勒矿集区铜金钼成矿主要与燕山晚期中酸性侵入岩有关, 尕尔穷矿床成矿母岩为石英闪长岩, 嘎拉勒矿床成矿母岩为花岗闪长岩, 成岩与成矿之间演化时间在 1 Ma 左右。成矿元素组合总体上具有上铜金下钼的分带特征, 成矿物质来源具有地幔与壳源混源特征。矿集区成矿事件为班公湖—怒江特提斯洋向南俯冲碰撞事件的响应, 是班—怒成矿带碰撞期伸展背景成矿作用的典型代表。

2) 矿集区成矿事件受岩岩-地层-构造耦合控制, 岩浆活动提供了成矿物质, 白垩纪碳酸盐岩为矽卡岩型主矿体形成的有利围岩条件, 而展布于两矿区之间的 F₁ 断层构造则为重要导矿容矿构造, 并作为铁氧化物铜金矿体的赋矿构造, 从而形成斑岩-矽卡岩-似 IOCG 型矿体组合型。

3) 矽卡岩铜金矿石中发现了 Ni-Cr-Fe、Cu-Zn 互化物, 矽卡岩型矿床中首次发现此类矿物, 这些合金矿物均属自然界罕见的矿物种类, 表明在成矿过程中存在缺氧、低硫的强还原环境。这种与幔源岩浆有着成矿专属性的成矿元素在矿石中发现, 证实了作者前述的研究成果。

4) 尕尔穷—嘎拉勒铜金矿集区寻找斑岩型铜金矿体的潜力大。

致谢: 感谢西藏卓朗基矿业投资有限公司对作者野外及室内工作的大力支持。

参考文献:

- 曹圣华, 邓世权, 肖志坚, 廖六根. 2006. 班公湖-怒江结合带西段中特提斯多岛弧构造演化[J]. 沉积与特提斯地质, 26(4): 25-32.
- 邓世林, 唐菊兴, 李志军, 姚晓峰, 王友. 2011. 西藏尕尔穷铜金矿床岩体地球化学特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 38(1): 85-91.
- 杜德道, 曲晓明, 王根厚, 辛洪波, 刘治博. 2011. 西藏班公湖—怒江缝合带西段中特提斯洋盆的双向俯冲: 来自岛弧型花岗岩锆石 U-Pb 年龄和元素地球化学的证据[J]. 岩石学报, 27(7): 1994-2002.
- 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.
- 郭保健, 毛景文, 李厚民, 屈文俊, 仇建军, 叶会寿, 李蒙文, 竹学丽. 2006. 秦岭造山带秋树湾铜钼矿床辉钼矿 Re-Os 定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 22(9): 2341-2348.
- 胡正华, 唐菊兴, 李志军, 丁枫, 姚晓峰, 邓世林, 张志, 王艺云, 王红星, 宋俊龙, 陈伟. 2012. 西藏革吉县尕尔穷铜金矿床地质特征及其成因意义[J]. 地球学报, 33(4): 588-600.
- 黄典豪, 王义昌, 聂风军. 1985. 一种新的钼矿床类型——陕西黄龙铺碳酸盐岩脉型钼(铅)矿床地质特征及其成矿机制[J]. 地质学报, 59(3): 241-257.
- 蒋光武, 谢尧武, 白珍平, 西诺朗杰, 强巴扎西, 彭兴阶. 2009. 青藏高原班公湖-怒江缝合带丁青-碧土段大地构造演化[J]. 地质通报, 28(9): 1259-1266.
- 康志强, 许继峰, 王保第, 陈建林. 2010. 拉萨地块北部去申拉组火山岩: 班公湖-怒江特提斯洋南向俯冲的产物[J]. 岩石学报, 26(10): 3106-3116.
- 雷传扬, 李志军, 张志, 胡正华, 王红星, 宋俊龙. 2012. 西藏尕尔穷铜金矿床花岗岩类的地球化学特征及其地球动力学意义[J]. 地球学报, 33(4): 601-612.
- 李光明, 李金祥, 秦克章, 张天平, 肖波. 2007. 西藏班公湖带多不杂超大型富金斑岩铜矿的高温高盐高氧化成矿流体-流体包裹体证据[J]. 岩石学报, 23(5): 935-952.
- 李厚民, 叶会寿, 王登红, 陈毓川, 屈文俊, 杜安道. 2009. 豫西熊耳山寨凹钼矿床辉钼矿-钼年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 28(2): 133-142.
- 李占轲, 李建威, 陈蕾, 张素新, 郑曙. 2010. 河南洛宁沙沟 Ag-Pb-Zn 矿床银的赋存状态及成矿机理[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 35(4): 621-633.
- 李志军, 唐菊兴, 姚晓峰, 邓世林, 王友. 2011a. 班公湖-怒江成矿带西段尕尔穷铜金矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 38(6): 678-683.
- 李志军, 唐菊兴, 姚晓峰, 多吉, 刘鸿飞, 邓世林, 张志, 张金树, 胡正华. 2011b. 藏北阿里地区新发现的尕尔穷铜金多金属矿床地质特征及其找矿前景[J]. 矿床地质, 30(6): 1149-1153.
- 李志军, 唐菊兴, 张志, 胡正华, 邓世林, 姚晓峰, 刘文周, 王红星, 宋俊龙, 唐晓倩, 雷传扬, 胡紫豪, 李建力, 李丕蓉, 林鑫. 2012. 西藏自治区革吉县尕尔穷铜矿详查报告[R]. 西藏: 西藏地质矿产局.
- 吕立娜, 崔玉斌, 宋亮, 赵元艺, 曲晓明, 王江朋. 2011. 西藏嘎拉勒夕卡岩型金(铜)矿床地球化学特征与锆石的 LA-ICP-MA 定年及意义[J]. 地学前缘, 18(5): 224-242.
- 吕立娜. 2012. 西藏班公湖-怒江成矿带西段富铁与铜(金)矿床模型[D]. 北京: 中国地质科学院.
- 毛景文, 张作衡. 1999. 北祁连山小柳沟钨矿床中辉钼矿 Re-Os 年龄测定及其意义[J]. 地质论评, 45(4): 412-417.
- 邱瑞照, 周肃, 邓晋福, 李金发, 肖庆辉, 蔡志勇. 2004. 西藏班公湖—怒江西段舍马拉沟蛇绿岩中辉长岩年龄测定——兼论班公湖—怒江蛇绿岩形成时代[J]. 中国地质, 31(3): 262-268.
- 宋俊龙, 李志军, 姚晓峰, 邓世林, 张志, 胡正华, 雷传扬, 王红星. 2012. 西藏革吉县尕尔穷铜金矿砂卡岩特征及成因意义[J]. 地球学报, 33(4): 703-712.
- 唐菊兴, 李志军, 刘文周, 姚晓峰, 邓世林, 王友, 刘志博, 杨毅, 张志, 胡正华, 李建力. 2009. 西藏自治区革吉县尕尔穷铜矿详查报告[R]. 西藏: 西藏地质矿产局.
- 唐菊兴, 李志军, 孙燕, 张志, 钟康惠, 姚晓峰, 郑文宝, 王立强, 王红星, 宋俊龙, 林鑫, 陈伟, 冷秋锋, 林彬, 唐晓倩, 丁帅, 王艺云, 徐云峰, 袁鹤. 2013. 西藏班怒带多龙、尕尔穷斑岩-夕卡岩铜金矿带成矿规律研究[R]. 西藏: 西藏地质矿产局.
- 王红星, 姚晓峰, 李志军, 胡正华, 张志. 2012. 西藏革吉县尕尔穷铜金矿区岩石地球化学勘查异常特征及找矿方向[J]. 地球学报, 33(4): 693-702.
- 王友. 2010. 西藏革吉县尕尔穷铜金矿床矿石特征研究[D]. 成都: 成都理工大学.
- 肖渊南, 孙燕, 王强, 李志军, 王瑜亮, 张世铭, 龚婷婷, 何佳乐. 2012a. 西藏尕尔穷铜金矿床发现罕见金属(Ni-Cr-Fe, Cu-Zn)互化物[J]. 中国地质, 39(5): 1311-1317.
- 肖渊南, 王强, 李志军, 何佳乐, 龚婷婷, 王瑜亮, 张世铭. 2012b. 西藏尕尔穷铜金矿床钼矿物的发现及意义[J]. 地质学报, 86(7): 1106-1111.
- 姚晓峰, 唐菊兴, 李志军, 邓世林, 胡正华, 张志. 2012a. 西藏尕尔穷铜金矿床 S、Pb 同位素地球化学特征——成矿物质来源示踪[J]. 地球学报, 33(4): 528-536.
- 姚晓峰, 唐菊兴, 李志军, 邓世林, 丁帅, 胡正华, 张志. 2012b. 班怒带西段尕尔穷铜金矿两套侵入岩源区研究及其地质意义——来自 Hf 同位素特征的指示[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 42(2): 188-197.
- 姚晓峰, 唐菊兴, 李志军, 邓世林, 丁帅, 胡正华, 张志. 2013. 班怒带西段尕尔穷砂卡岩型铜金矿含矿母岩成岩时代的重厘定及其地质意义[J]. 地质论评, 59(1): 193-200.
- 姚晓峰, 唐菊兴, 王友, 李志军, 邓世林. 2011. 西藏尕尔穷铜金矿金矿物特征研究[J]. 地质与勘探, 47(6): 1018-1025.
- 张志, 陈毓川, 唐菊兴, 何林, 姚晓峰, 杨毅, 胡正华, 王红星, 宋俊龙. 2013c. 西藏嘎拉勒铜金矿床地质特征及砂卡岩矿床地质特征研究[J]. 矿床地质, 待刊.
- 张志, 唐菊兴, 陈毓川, 李志军, 宋俊龙, 姚晓峰, 杨毅, 胡正华, 陈伟, 王红星. 2013b. 西藏班-怒结合带尕尔穷铜金矿床砂卡岩矿物学特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 32(3): 305-317.
- 张志, 唐菊兴, 李志军, 杨毅, 胡正华, 姚晓峰, 宋俊龙, 陈伟, 王红星, 杨欢欢. 2013a. 西藏尕尔穷-嘎拉勒铜金矿集区侵入岩岩石地球化学特征及其地质意义[J]. 地质与勘探, 待刊.

张志, 唐菊兴, 杨毅, 李志军, 姚晓峰, 邓世林, 王红星, 宋俊龙. 2012. 西藏尔穷铜金矿元素空间分布规律及地球化学勘查模型[J]. 地球学报, 33(4): 663-672.

References:

- CAO Sheng-hua, DENG Shi-quan, XIAO Zhi-jian, LIAO Liu-gen. 2006. The archipelagic arc tectonic evolution of the Meso-Tethys in the western part of the Bangong Lake-Nujiang suture zone[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 26(4): 25-32(in Chinese with English abstract).
- DENG Shi-lin, TANG Ju-xing, LI Zhi-jun, YAO Xiao-feng, WANG You. 2011. Geochemical characteristics of rock mass in the Gaerqiong Cu-Au deposit, Tibet[J]. *Journal of Chendu University of Technology*, 38(1): 85-91(in Chinese with English abstract).
- DU De-dao, QU Xiao-ming, WANG Gen-hou, XIN Hong-bo, LIU Zhi-bo. 2011. Bidirectional subduction of the Middle Tethys oceanic basin in the west segment of Bangonghu-Nujiang suture, Tibet: Evidence from zircon U-Pb LAICPMS dating and petrogeochemistry of arc granites[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 027(07): 1993-2002(in Chinese with English abstract).
- 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(80): 1261-1274(in Chinese with English abstract).
- GUO Bao-jian, MAO Jing-wen, LI Hou-min, QU Wen-jun, CHOU Jian-jun, YE Hui-shou, LI Meng-wen, ZHU Xue-li. 2006. Re-Os dating of the molybdenite from the Qiushuwan Cu-Mo deposit in the east Qinling and its geological significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(9): 2341-2348(in Chinese with English abstract).
- HU Zheng-hua, TANG Ju-xing, LI Zhi-jun, DING Feng, YAO Xiao-feng, DENG Shi-lin, ZHANG Zhi, WANG Yi-yun, WANG Hong-xing, SONG Jun-long, CHEN Wei. 2012. Geological Characteristics and Genetic Significance of Cu-Au Deposits of Ga'erqiong in Geji County, Tibet[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 33(4): 588-600(in Chinese with English abstract).
- HUANG Dian-hao, WANG Yi-chang, NIE Feng-jun. 1985. A new type of molybdenum deposit—Geological characteristics and metallogenic mechanism of the Huanglongpu carbonatite vein-type molybdenum(lead)deposit, Shaanxi[J]. *Acta Geologica Sinica*, 59(3): 241-257(in Chinese with English abstract).
- JIANG Guang-wu, XIE Yao-wu, BAI Zhen-ping, XINUO Lang-jie, QIANGBA Zha-xi, PENG Xing-jie. 2009. Tectonic evolution of Dingqing-Bitu segment of Bangonghu-Nujiang suture zone in Qinghai-Tibet Plateau, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 28(9): 1259-1266(in Chinese with English abstract).
- KANG Zhi-qiang, XU Ji-feng, WANG Bao-di, CHEN Jian-lin. 2010. Qushenla Formation volcanic rocks in north Lhasa block: Products of Bangong Co-Nujiang Tethy's southward subduction[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 026(10): 3106-3116(in Chinese with English abstract).
- KAPP P, MURPHY M A, YIN A, HARRISON T M, DING L, GUO J. 2003. Mesozoic and Cenozoic tectonic evolution of the Shiquanhe area of western Tibet[J]. *Tectonics*, 22(4): 3-13-23.
- LEI Chuan-yang, LI Zhi-jun, ZHANG Zhi, HU Zheng-hua, WANG Hong-xing, SONG Jun-long. 2012. Geochemical Characteristics and Geodynamic Significance of the Granites in the Ga'erqiong Cu-Au deposit, Tibet[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 33(4): 601-612(in Chinese with English abstract).
- LI Guang-ming, LI Jin-xiang, QIN Ke-zhang, ZHANG Tian-ping, XIAO Bo. 2007. High temperature, salinity and strong oxidation ore-forming fluid at Duobuza gold-rich porphyry copper deposit in the Bangonghu tectonic belt, Tibet: Evidence from fluid inclusions[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(5): 935-952(in Chinese with English abstract).
- LI Hou-min, YE Hui-shou, WANG Deng-hong, CHEN Yu-chuan, QU Wen-jun, DU An-dao. 2009. Re-Os dating of molybdenites from Zhaiwa Modeposit in Xiong'er Mountain western Henan Province, and its geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 28(2): 133-142(in Chinese with English abstract).
- LI Zhan-ke, LI Jian-wei, CHEN Lei, ZHANG Su-xin, ZHENG Shu. 2010. Occurrence of Silver in the Shagou Ag-Pb-Zn deposit, Luoning county, Henan province: Implications for mechanism of silver enrichment[J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 35(4): 621-633(in Chinese with English abstract).
- LI Zhi-jun, TANG Ju-xing, YAO Xiao-feng, DENG Shi-lin, WANG You. 2011b. Re-Os isotope age and geological significance of molybdenite in the Gaerqiong Cu-Au deposit of Geji, Tibet, China[J]. *Journal of Chendu University of Technology*, 38(6): 678-683(in Chinese with English abstract).
- LI Zhi-jun, TANG Ju-xing, YAO Xiao-feng, DUO Ji, LIU Hong-fei, DENG Shi-lin, ZHANG Zhi, ZHANG Jin-shu, HU Zheng-hua. 2011a. Geological characteristics and prospecting potential of Gaerqiong copper-gold polymetallic deposit in Ali District, northern Tibet[J]. *Mineral Deposit*, 30(6): 1149-1153(in Chinese with English abstract).
- LI Zhi-jun, TANG Ju-xing, ZHANG Zhi, HU Zheng-hua, DENG Shi-lin, YAO Xiao-feng, LIU Wen-zhou, WANG Hong-xing, SONG Jun-long, TANG Xiao-qian, LEI Chuan-yang, HU Zi-hao, LI Jian-li, LI Pi-rong, LIN Xin. 2012. Exploration Report of Gaerqiong copper deposit in GEJI county, Tibet[R]. Tibet: Geology and Mineral Resources Bureau of Tibet(in Chinese with English abstract).
- LÜ Li-na, CUI Yu-bin, SONG Liang, ZHAO Yuan-yi, QU Xiao-ming, WANG Jiang-peng. 2011. Geochemical characteristics and zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of Galale skarn gold(copper) deposit, Tibet and its significance[J]. *Earth Science Frontiers*, 18(5): 224-242(in Chinese with English abstract).
- LÜ Li-na. 2012. Metallogenic model of rich iron and copper(gold) deposit in western part of Bangong Co-Nujiang metallogenic belt, Tibet[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sci-

- ences(in Chinese with English abstract).
- MAO Jing-wen, ZHANG Zuo-heng. 1999. Age dating of molybdenites in the Xiaoliugou Tugsten deposit in the northern Qilian Mountains and its significance[J]. Geological Review, 45(4): 412-417(in Chinese with English abstract).
- PEARCE J A, DENG Wan-ming. 1988. The ophiolites of the Tibet Geotraverses, Lhasa to Golmud(1985) and Lhasa to Kathmandu(1986)[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical & Engineering Sciences, 327(1594): 215-238.
- QIU Rui-zhao, ZHOU Su, DENG Jin-fu, LI Jin-fa, XIAO Qing-hui, CAI Zhi-yong. 2004. Dating of gabbro in Shemalagou ophiolite in the western segment of the Bangong Co-Nujiang ophiolite belt, Tibet-with a discussion of the age of the Bangong Co-Nujiang ophiolite belt[J]. Geology in China, 31(3): 262-268(in Chinese with English abstract).
- SONG Jun-long, LI Zhi-jun, YAO Xiao-feng, DENG Shi-lin, ZHANG Zhi, HU Zheng-hua, LEI Chuan-yang, WANG Hong-xing. 2012. Characteristics and the Genetic Significance of Skarn in the Gaerqiong Cu-Au Deposit, Geji County, Tibet[J]. Acta Geoscientica Sinica, 33(4): 703-712(in Chinese with English abstract).
- TANG Ju-xing, LI Zhi-jun, LIU Wen-zhou, YAO Xiao-feng, DENG Shi-lin, WANG You, LIU Zhi-bo, YANG Yi, ZHANG Zhi, HU Zheng-hua, LI Jian-li. 2009. Exploration Report of Gaerqiong copper deposit in GEJI county, Tibet[R]. Tibet: Geology and Mineral Resources Bureau of Tibet(in Chinese with English abstract).
- TANG Ju-xing, LI Zhi-jun, SUN Yan, ZHANG Zhi, ZHONG Kang-hui, YAO Xiao-feng, ZHENG Wen-bao, WANG Li-qiang, WANG Hong-xing, SONG Jun-long, LIN Xin, CHEN Wei, LENG Qiu-feng, LIN Bin, TANG Xiao-qian, DING Shuai, WANG Yi-yun, XU Yun-feng, YUAN He. 2013. Study of metallogenic regularity of porphyry-skarn copper-gold belt of Duolong and Gaerqiong in Tibet[R]. Tibet: Geology and Mineral Resources Bureau of Tibet(in Chinese with English abstract).
- WANG Hong-xing, YAO Xiao-feng, LI Zhi-jun, HU Zheng-hua, ZHANG Zhi. 2012. Lithogeochemical anomaly characteristics and ore-search targeting of the gaerqiong gold copper ore district in gegyai county, Tibet[J]. Journal of Chendu University of Technology, 33(4): 693-702(in Chinese with English abstract).
- WANG You. 2010. Study on features of ores in the Ga'erqiong Copper-Gold Deposit, Geji Country, Tibet[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology(in Chinese with English abstract).
- XIAO Yuan-fu, SUN Yan, WANG Qiang, LI Zhi-jun, WANG Yu-liang, ZHANG Shi-ming, GONG Ting-ting, HE Jia-le. 2012a. The discovery of rare intermetallic compounds (Ni-Cr-Fe, Cu-Zn)in the Garqiong copper-gold deposit of Tibet[J]. Geology in China, 39(5): 1311-1317(in Chinese with English abstract).
- XIAO Yuan-fu, WANG Qiang, LI Zhi-jun, HE Jia-le, GONG Ting-ting, WANG Yu-liang, ZHANG Shi-ming. 2012b. Discovery of Bismuth mineral of the Gaerqiong copper-gold ore deposits in Tibet and its significance[J]. Acta Geologica Sinica, 86(7): 1106-1111(in Chinese with English abstract).
- YAO Xiao-feng, TANG Ju-xing, LI Zhi-jun, DENG Shi-lin, DING Shuai, HU Zheng-hua, ZHANG Zhi. 2012b. Research on magma origin of two intrusive from Gaerqiong copper-gold deposit and it's geological significance, western Bangonghu-Nujiang Metallogenic Belt, Tibet-from the implication from Hf isotope characteristics[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 42(2): 188-197(in Chinese with English abstract).
- YAO Xiao-feng, TANG Ju-xing, LI Zhi-jun, DENG Shi-lin, DING Shuai, HU Zheng-hua, ZHANG Zhi. 2013. The redefinition of the ore-forming porphyry's age in Gaerqiong skarn-type gold-copper deposit, Western Banggonghu-Nujiang metallogenic belt, Tibet[J]. Geological Review, 59(1): 193-200(in Chinese with English abstract).
- YAO Xiao-feng, TANG Ju-xing, LI Zhi-jun, DENG Shi-lin, HU Zheng-hua, ZHANG Zhi. 2012a. S, Pb Isotope Characteristics of the Ga'erqiong Gold-Copper Deposit in Tibet: Tracing the Source of Ore-forming Materials[J]. Acta Geoscientica Sinica, 33(4): 528-536(in Chinese with English abstract).
- YAO Xiao-feng, TANG Ju-xing, WANG-You, LI Zhi-jun, DENG Shi-lin. 2011. The study of the characteristics of gold minerals in Gaerqiong copper-gold deposit. Tibet[J]. Geology and Exploration, 47(6): 1018-1025(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Zhi, CHEN Yu-chuan, TANG Ju-xing, HE Lin, YAO Xiao-feng, YANG Yi, HU Zheng-hua, WANG Hong-xing, SONG Jun-long. Geological and skarn mineral characteristics of Galale Cu-Au deposit in Tibet[J]. Mineral Deposits, in Press(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Zhi, TANG Ju-xing, CHEN Yu-chuan, LI Zhi-jun, YAO Xiao-feng, YANG Yi, HU Zheng-hua, CHEN Wei, SONG Jun-long, WANG Hong-xing. 2013b. Skarn minereal characteristics and the Gaerqiong Cu-Au deposit in Bangong co-Nujiang river suture zone, Tibet[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 32(3): 305-317(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Zhi, TANG Ju-xing, LI Zhi-jun, YANG Yi, HU Zheng-hua, YAO Xiao-feng, SONG Jun-long, CHEN Wei, WANG Hong-xing, YANG Huan-huan. 2013a. Petrology and Geochemistry characteristics and their geological significance of Intrusive rocks in Gaerqiong-Galale ore concentration area, Tibet[J]. Geology and Exploration, in Press(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Zhi, TANG Ju-xing, YANG Yi, LI Zhi-jun, YAO Xiao-feng, DENG Shi-lin, WANG Hong-xing, SONG Jun-long. 2012. Element Spatial Distribution of the Gaerqiong Copper-gold Deposit in Tibet and Its Geochemical Exploration model[J]. Acta Geoscientica Sinica, 33(4): 663-672(in Chinese with English abstract).