

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

姚晓峰¹⁾, 唐菊兴^{2, 3)*}, 李志军³⁾, 邓世林⁴⁾, 胡正华³⁾, 张志³⁾

1)中国地质大学, 北京 100083;

2)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;

3)成都理工大学, 四川成都 610059;

4)四川省地矿局物探队, 四川成都 610000

摘要: 尕尔穷铜金矿为近几年在班公湖-怒江成矿带西段取得找矿新突破的与斑岩有关的矽卡岩型铜金破碎带型铜金(铁)矿床。通过对矽卡岩型矿石中主要的金属矿物黄铁矿、黄铜矿的 S、Pb 同位素特征进行研究, 进一步确定矿床成矿物质来源, 并结合区域矿产特征对区域成矿规律给出指示。结果显示, 两种金属矿物中的 $\delta^{34}\text{S}$ 主要分布于 -2.9‰~0.5‰ 之间, 平均值为 -1.1‰, 其频率直方图具有塔式分布特征, 具幔源硫特征; 矿石的 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 主要分布于 38.384~39.134 之间, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 主要分布于 15.577~15.725 之间, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 主要分布于 18.112~18.615 之间, μ 值在 9.44~9.69 之间, 其具有上地壳与地幔混合的造山带铅特征。矿床成矿物质主要来自具幔源特征物质和念青唐古拉基底片麻岩。在班怒带西段伴随着晚白垩世南羌塘-三江复合板片与冈底斯-念青唐古拉板片之间弧-陆碰撞, 在措勤-申扎火山岩浆弧内形成了与上地幔或初生下地壳重熔并受上地壳物质混染的斑岩-矽卡岩铜金矿成矿系列。

关键词: 尕尔穷铜金矿; S、Pb 同位素; 上地壳源; 地幔源; 班怒带西段

中图分类号: P588.13; P594.1 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2012.04.13

S, Pb Isotope Characteristics of the Ga'erqiong Gold-Copper Deposit in Tibet: Tracing the Source of Ore-forming Materials

YAO Xiao-feng¹⁾, TANG Ju-xing^{2, 3)*}, LI Zhi-jun³⁾, DENG Shi-lin⁴⁾, HU Zheng-hua³⁾, ZHANG Zhi³⁾

1) China University of Geosciences, Beijing 100083;

2) MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

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

4) Geophysical Prospecting Party of Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources, Chengdu, Sichuan 610000

Abstract: The Ga'erqiong copper-gold deposit, a skarn-type and breccia-type copper-gold (iron) deposit related to porphyry, was discovered in recent years in the western Bangong Co-Nujang metallogenic zone, Tibet. Based on the study of the S and Pb isotope characteristics of pyrite and chalcopyrite within the skarn ore, the authors traced the source of ore-forming materials, and indicated regional ore-forming metallogenic regularity based on a comparison with the characteristics of regional mineral resources. It is shown that the $\delta^{34}\text{S}$ value of the minerals is in the range of -2.9‰~0.5‰ with an average of -1.1‰, and the $\delta^{34}\text{S}$ histogram is distributed approximately in a tower shape, which indicates a mantle source. The $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ value is between 38.384 and 39.134, and the

本文由公益性行业科研专项项目(编号: 201011013-3)、国家973项目(编号: 2011CB403103)和西藏卓朗基矿业投资有限公司详查项目联合资助。

收稿日期: 2012-05-23; 改回日期: 2012-06-10。责任编辑: 魏乐军。

第一作者简介: 姚晓峰, 男, 1986年生。博士研究生。主要从事矿床地质研究工作。E-mail: 289332792@qq.com。

*通讯作者: 唐菊兴, 男, 1964年生。博士, 研究员。主要从事矿床勘查及矿床地质研究。E-mail: tangjuxing@126.com。

$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ value is between 15.577 and 15.725, and the $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ value is between 18.112 and 18.615, and the μ value is between 9.44 and 9.69, which indicate that Pb was derived from a orogenic belt source composed of the upper crust and the mantle. It is inferred that the ore-forming materials of the Ga'erqiong deposit was mainly from materials with mantle characteristics and Nyainqntanglha basement gneiss. During the arc-landmass collision between southern Qiangtang-Sanjiang composite plate and Gandise- Nyainqntanglha plate in late Cretaceous, a Cu-Au porphyry-skarn metallogenic series related to magma which was derived from the upper mantle or the juvenile crust and contaminated by the upper crust materials formed in the Coqen-Xainza volcanic-magmatic arc at the south edge of western Bangong Co-Nujang suture zone.

Key words: Ga'erqiong copper gold deposit; S, Pb isotope characteristics; upper crust source; mantle source; Western Bangong Co-Nujiang metallogenic belt

尕尔穷铜金矿为近几年在班怒带西段取得找矿新突破的矿床(李志军等, 2011a; 唐菊兴等, 2012), 矿床位于班公湖-怒江缝合带以南冈底斯北缘的措勤-申扎火山岩浆弧内(图 1), 由于区域上自然条件恶劣和交通不便等因素, 目前发现的上规模矿床较少, 尕尔穷矿床是第一个达到详查程度的中型以上规模矿床, 其矿床研究解剖工作对班怒带西段南缘成矿规律总结和矿产预测具有重要的意义。前人已对矿床形成的大地构造背景及物质来源进行了不同程度的研究和探讨, 矿床是与晚白垩世 Coniacian 期石英闪长岩有关的矽卡岩型铜金-破碎带型铜金(铁)矿床(李志军等, 2011b; 姚晓峰等, 2012), 该岩体具有钙碱性、轻稀土富集、富集 Rb、Ba、Th、U 等大离子亲石元素和亏损 Nb、Ta、Zr、Hf 等高场强元素的岛弧型花岗岩地球化学特征(邓世林等, 2011; 雷传扬等, 2012), 含矿斑岩(石英闪长玢岩)的 Pb 同位素研究显示其具有造山带铅的特征(辛洪波等,

2007; 吕立娜等, 2011a)。本文主要通过对矿床矽卡岩主矿体中主要金属矿物黄铜矿、黄铁矿进行 S、Pb 同位素研究, 在前人研究基础上进一步确定矿床物质来源, 并结合大地构造背景和区域矿产特征对区域成矿规律给出一些指示。

1 矿床地质特征简况

矿区出露地层主要为白垩系则弄群多爱组(K_1)碳酸盐岩、火山碎屑岩和第四系。碳酸盐岩类在矿区分布较为广泛, 以灰岩和大理岩为主; 火山碎屑岩主要分布在矿区东部及南部, 主要有火山凝灰岩、火山角砾岩和火山集块岩。矿区构造主要有北东向 F_1 断层、北东向 F_2 断层和南北向 F_3 断层。 F_1 明显具有张性断层特征, 其地表连续出露构造角砾岩, 以石英、方解石、赤铁矿胶结邻近围岩角砾为特征。 F_2 断层展布于矿区北部, 该断层与矿体关系不明显。 F_3 断层具有平移性质, 该断层对 I 号矿体起到

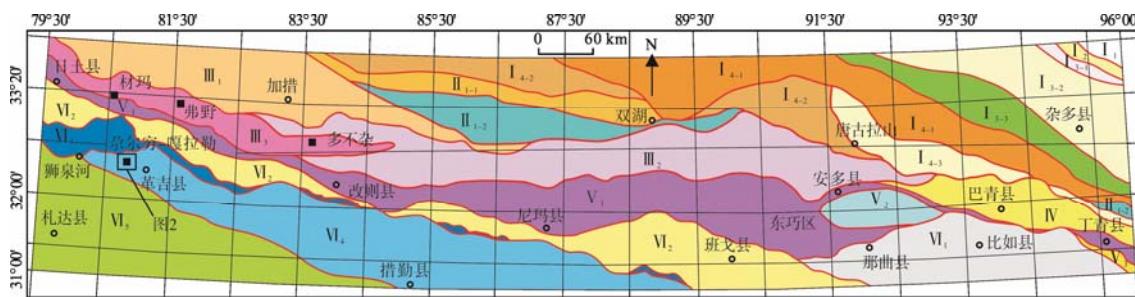


图 1 班公湖-怒江成矿带及邻区构造单元分布图(据耿全如等, 2011 修改)

Fig. 1 Tectonic units of Bangong Co-Nujiang metallogenic belt and it neighboring areas(after GENG Quan-ru et al., 2011)
I-羌塘-三江造山系; I₁-玉龙塔格-巴颜喀拉前陆盆地; I₂-西金乌兰湖-金沙江-哀牢山结合带; I₃-昌都-兰坪地块; I₄-北羌塘-甜水海陆块;
II-龙木错-双湖-澜沧江缝合带; II₁-龙木错-双湖-澜沧江蛇绿混杂岩带; III-南羌塘弧盆系; III₁-多玛地块; III₂-南羌塘盆地; III₃-扎普-多不
杂岩浆弧带; IV-左贡地块; V-班公湖-怒江缝合带; V₁-聂荣地块; V₂-嘉玉桥地块; VI-冈底斯岩浆弧; VI₁-那曲-洛隆弧前盆地;
VI₂-昂岗日-班戈岩浆弧; VI₃-狮泉河-申扎-嘉黎蛇绿混杂带; VI₄-措勤-申扎岩浆弧; VI₅-龙格尔-工布江达复合岩浆弧
I-Qiangtang-Sanjiang orogenic system; I₁-Yulongtage-Bayan Har foreland basin; I₂-Xijin Ulan Hu-Jinsha Jiang -Ailao Shan boundary belt;
I₃-Qamdo -Laping block; I₄-Northern Qiangtang-Tianshuihai block; II- Lungmu Co -Shuanghu-Lancang Jiang suture zone; II₁-Lungmu Co
-Shuanghu-Lancang Jiang ophiolite melange belt; III-southern Qiangtang arc basin system; III₁-Doima block; III₂- southern Qiangtang basin;
III₃-Zapug -Duobuza magma arc belt; IV- Zuogang block; V-Bangong Co-Nujiang suture zone; V₁- Nyainrong block; V₂-Jiayuqiao block;
VI-Gandise magma arc belt; VI₁-Nagqu-Lhorong fore-arc basin; VI₂-Nganglong Kangri-Baigoin magma arc belt; VI₃-Shiquanhe-
Xainza-Lhari ophiolite melange belt; VI₄- Coqen-Xainza magma arc belt; VI₅-Longgeer- Gongbo'gyamda composite magma arc belt

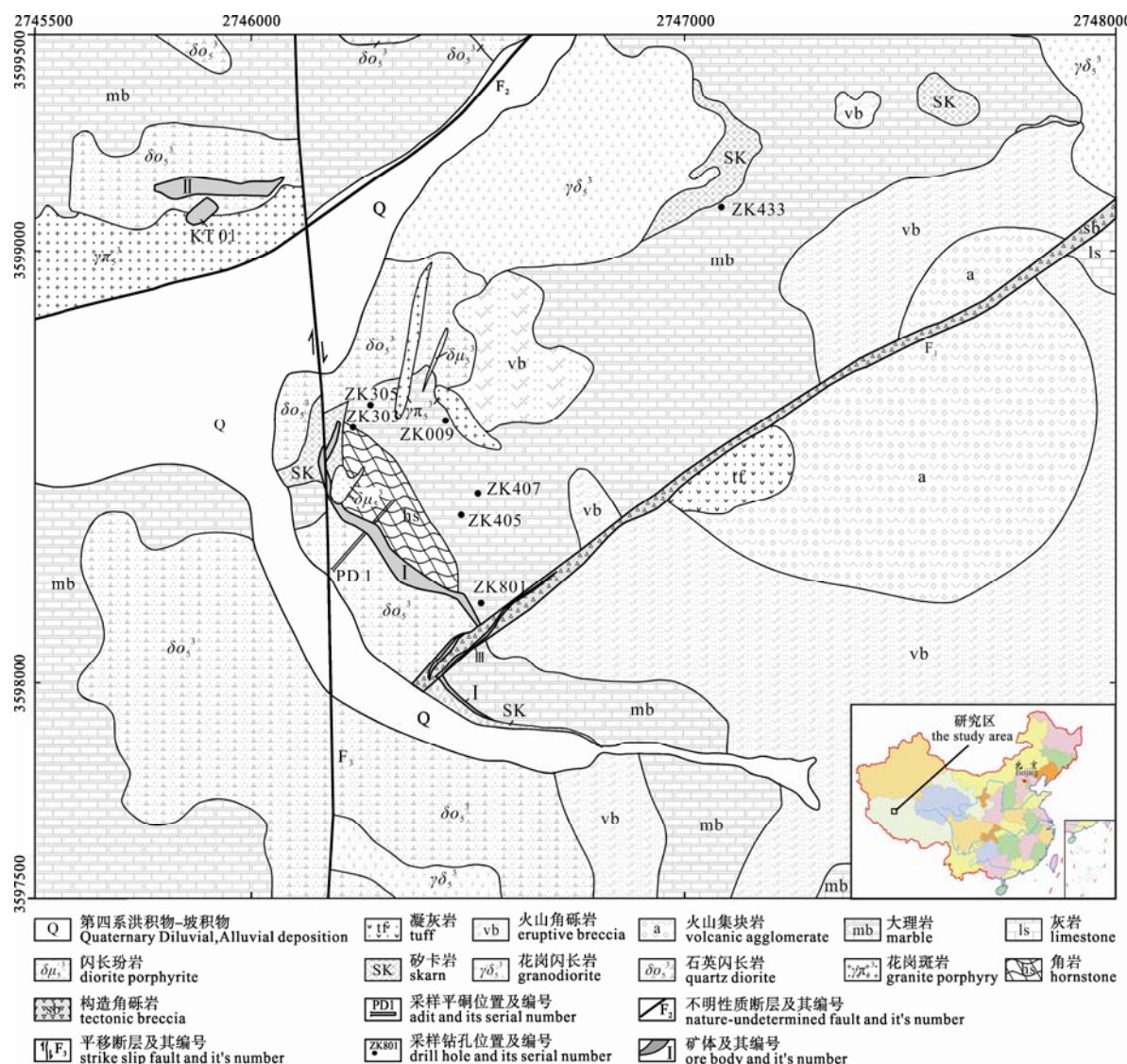


图 2 尔穷矿区地质简图(据李志军等, 2011a)
Fig. 2 Geological sketch map of the Ga'erqiong copper-gold deposit (after LI Zhi-jun et al., 2011a)

了破坏作用(图 2)。侵入岩主要有花岗斑岩($\gamma\pi_5^3$)、石英闪长岩(δo_5^3)、闪长玢岩($\delta\mu_5^3$)、花岗闪长岩($\gamma\delta_5^3$), 以岩株、岩枝和岩脉等形态产出(图 2), 其中石英闪长岩和矽卡岩矿体的关系最为密切(姚晓峰等, 2011)。

矿区主要发育有 I、II、III 三个矿体, I 号矿体受石英闪长岩-大理岩接触带中矽卡岩所控制; II 号矿体赋存于矽卡岩化石英闪长岩及内矽卡岩中; III 号矿体赋存于 F1 断层构造角砾岩中(图 2)。矿区矿石类型按照赋矿围岩分为矽卡岩型矿石和构造角砾岩型矿石。矽卡岩型矿石中非金属矿物主要有石榴子石、透辉石、阳起石、透闪石、硅灰石、绿帘石、绿泥石、石英、方解石、绢云母和金云母等, 金属矿物主要有黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿、磁铁矿、赤

铁矿、辉钼矿、金矿物、银矿物及辉铜矿、孔雀石、蓝铜矿等铜的次生矿物; 角砾岩型矿石主要的非金属矿物有石英、方解石及邻近围岩角砾中的矿物, 金属矿物有赤铁矿、磁铁矿、黄铜矿、金矿物、孔雀石和褐铁矿等。

2 样品采集及测试

本次 S、Pb 同位素分析样品采自钻孔和平硐内矽卡岩型矿石(图 2), 主要采集矽卡岩型脉状、浸染状、稠密浸染状矿石中的黄铜矿和黄铁矿(图 3), 二者同属于石英硫化物阶段的产物, 可见黄铜矿交代黄铁矿的现象。新鲜的样品经粉碎、清洗、干燥后, 在双目镜下分别挑至 99% 纯度的单矿物分析样。S、Pb 同位素测定在核工业北京地质研究院分析测试研

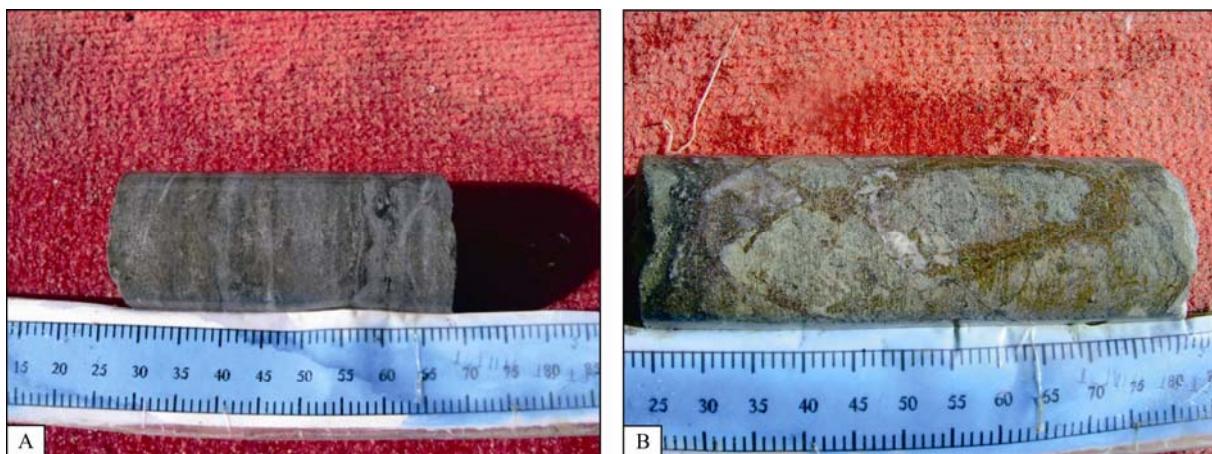


图 3 尕尔穷矿区矽卡岩型黄铜矿、黄铁矿矿石

Fig. 3 Skarn-type pyrite and chalcopyrite ore in Ga'erqiong deposit

A-ZK407 内 155.2~155.5 m 矽卡岩内浸染状黄铜矿、黄铁矿; B-ZK009 内 139.8~140.4 m 矽卡岩内细脉状黄铜矿、黄铁矿
A-disseminated chalcopyrite and pyrite within skarn, 155.2~155.5 m depth in drill hole 407; B-chalcopyrite and pyrite veins within skarn, 139.8~140.4 m in drill hole 009

究中心进行。硫同位素由 MAT-251 同位素质谱仪进行测定, 采用 VCDT 国际标准, 分析精度为 $\pm 0.2\text{‰}$; 铅同位素比值利用 ISOTOPE-T 热电离质谱仪测定, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值误差小于 0.05%。

3 测试结果

3.1 S 同位素

经测定, 尕尔穷矽卡岩矿石内黄铜矿和黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 主要分布于 -2.9‰ ~ 0.5‰ 之间(表 1), 平均值为 -1.1 , 其 $\delta^{34}\text{S}$ 频率直方图具有塔式分布形式(图 4), S 来源较为单一。

3.2 Pb 同位素

矿区矽卡岩矿石中黄铜矿和黄铁矿 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 主要分布于 38.384 ~ 39.134 之间, 平均值为 38.7628 ;

表 1 尕尔穷矿区黄铜矿、黄铁矿 S 同位素组成

Table 1 Sulfur isotope composition of pyrite and chalcopyrite from Ga'erqiong deposit

样品编号	矿物	$\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}(\text{‰})$
ZK801-198(2)	黄铜矿	0.5
ZK433-337.5	黄铁矿	-2
ZK405-221.2	黄铁矿	-1.2
ZK303-176.7	黄铜矿	-0.7
ZK305-146.5	黄铜矿	-1.1
PD1-B8	黄铜矿	-0.9
ZK407-155	黄铜矿	-0.1
ZK305-100.2	黄铜矿	-0.7
ZK009-139	黄铁矿	-2.9
ZK009-171	黄铁矿	-1.9

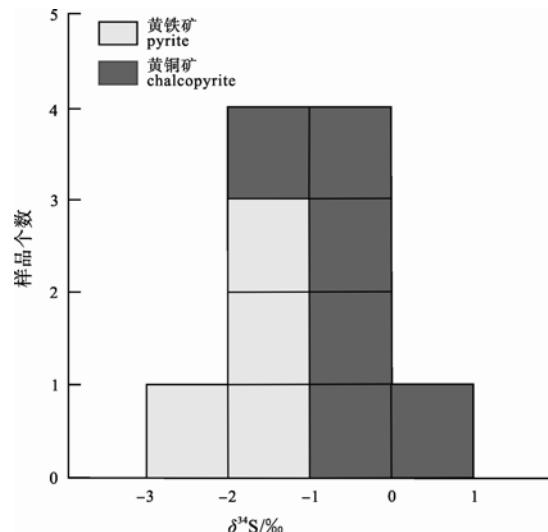


图 4 尕尔穷矿区黄铁矿、黄铜矿 $\delta^{34}\text{S}$ 频率直方图
Fig. 4 Histogram showing $\delta^{34}\text{S}$ values of pyrite and chalcopyrite from the Ga'erqiong deposit

$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 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 (表 2), u 值在 9.44 ~ 9.69 之间。

4 讨论

4.1 成矿物质来源探讨

矽卡岩矿床中矿石 $\delta^{34}\text{S}$ 的组成特征是受岩浆源区和热液作用过程的双重影响, 虽然不能以矿石中硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 代表流体总硫同位素特征, 但是同类型矿床的硫化物硫同位素特征对比具有一定的指示意义。赵一鸣等(1990)曾总结长江中下游花岗闪长斑岩为母岩的矽卡岩铜矿硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 具有分布范围小特

表 2 尔穷矿区黄铜矿、黄铁矿铅同位素比值及特征参数表
Table 2 Lead isotope data of chalcopyrite and pyrite from the Ga'erqiong deposit

样品编号	样品名称	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	2σ	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	2σ	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	2σ	μ
GZK801-198(2)	黄铜矿	38.616	0.008	15.635	0.003	18.112	0.004	9.57
GZK303-176.7	黄铜矿	38.832	0.008	15.652	0.003	18.522	0.004	9.55
GZK305-100.2	黄铜矿	38.577	0.008	15.614	0.003	18.178	0.004	9.52
GPD1-B8	黄铜矿	38.717	0.006	15.617	0.002	18.407	0.003	9.50
GZK407-155	黄铜矿	38.586	0.008	15.605	0.003	18.338	0.004	9.48
GZK305-146.5	黄铜矿	38.891	0.008	15.669	0.003	18.554	0.004	9.58
GZK433-337.5	黄铁矿	39.134	0.008	15.725	0.003	18.615	0.004	9.69
GZK405-221.2	黄铁矿	38.855	0.005	15.643	0.002	18.534	0.003	9.54
GZK009-139	黄铁矿	38.384	0.004	15.577	0.002	18.207	0.002	9.44
GZK009-171	黄铁矿	39.036	0.008	15.702	0.003	18.601	0.004	9.64

征, 指示具有幔源硫特征; 长江中下游矽卡岩铁矿受地层中蒸发岩所影响而具有较大的 $\delta^{34}\text{S}$ 分布范围, 且十分富集重硫, 指示具有壳源硫和幔源硫复合来源的特征。尔穷矿区床中大量发育的金属矿物黄铁矿和黄铜矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 集中分布于 -2~0 之间, $\delta^{34}\text{S}$ 频率直方图具有塔式分布特征(图 4), 表明其为单一来源, 具有幔源硫特征。

铅同位素由于质量大性质不活泼, 其不同的组成特征主要受矿物形成时环境中 U-Th-Pb 特征所决定(李龙等, 2001)。通过对比, 尔穷矿区矿石 Pb 同位素特征和含矿斑岩 Pb 同位素特征较为类似, $\Delta\beta-\Delta\gamma$ 图解显示其具有上地壳与地幔混合的俯冲带铅特征, 并具有相对富集上地壳铅特征(图 5)。

程文斌等(2010)曾总结念青唐古拉陆块南缘冈底斯成矿带南、中、北成矿亚带典型矿床的矿石 Pb 同位素组成特征, 南亚带的 Cu-Au 矿床(雄村、洞嘎)具有幔源铅特征, 中亚带的 Pb-Zn-Cu-Fe 矿床(勒青拉、新嘎果、驱龙、南木、冲江)具有造山带铅的特征, 北亚带的 Pb-Zn 矿床(蒙呀啊、洞中拉、亚贵拉)具有上地壳铅的特征(图 6), 指示三个亚带成矿物质分别为南冈底斯雅江洋俯冲阶段的交代地幔源区、陆-陆碰撞后伸展阶段雅江洋俯冲板片-念青唐古拉基底复合来源或初生下地壳源区、陆-陆碰撞阶段念青唐古拉基底片麻岩源区。尔穷矿区位于念青唐古拉陆块北缘的措勤-申扎火山岩浆弧中, 其矿石铅同位素主要表现为上地壳和地幔混合的造山带铅特征, 但较冈底斯中亚带造山带铅特征相对富集上地壳铅, 该部分上地壳铅落于 Gariépy 等(1985)所总结的念青唐古拉群基底区域内(图 6), 推测其成矿物质可能主要来自具幔源特征物质和念青唐古拉基底片麻岩。

4.2 对区域成矿规律的指示

尔穷矽卡岩型铜金矿位于班公湖-怒江缝合带南侧措勤-申扎火山岩浆弧内, 由于区域上工作程度低, 近几年仅发现嘎拉勒和尔穷两个中型以上规模矿床, 二者在空间上相距 60 km 左右, 并都与晚白垩世 88~87 Ma 之间侵入岩有关(吕立娜等, 2011b; 姚晓峰等, 2012)。邓世林等(2011)通过研究尔穷含矿母岩-石英闪长岩的岩石地球化学特征,

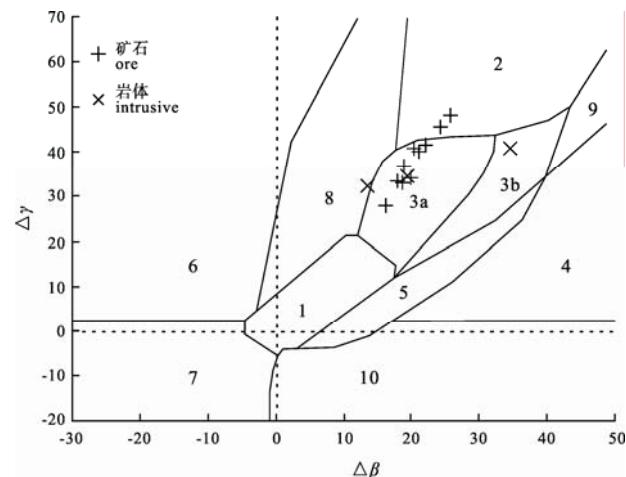


图 5 尔穷矿区铅同位素 $\Delta\beta-\Delta\gamma$ 成因分类图解
(底图据朱炳泉, 1998; 岩体铅据辛洪波等, 2007)

Fig. 5 Plot of $\Delta\beta-\Delta\gamma$ of Pb isotope from the Ga'erqiong deposit (after ZHU Bing-quan, 1998; host intrusive data from XIN Hong-bo et al., 2007)

1-地幔源铅; 2-上地壳铅; 3-上地壳与地幔混合的俯冲带铅(3a-岩浆作用; 3b-沉积作用); 4-化学沉积型铅; 5-海底热水作用铅; 6-中深变质作用铅; 7-深变质下地壳铅; 8-造山带铅;

9-古老页岩上地壳铅; 10-退变质铅
1-mantle source; 2-upper crust source; 3-subduction source composed of upper crust and mantle (3a-magma; 3b-sedimentation); 4-chemical sedimentary source; 5-subocean hydrothermal sedimentary source; 6-mesometamorphism source; 7-hypometamorphism lower crust source; 8-orogenic belt source; 9-upper crust source in ancient shale area; 10-retrograde metamorphism source

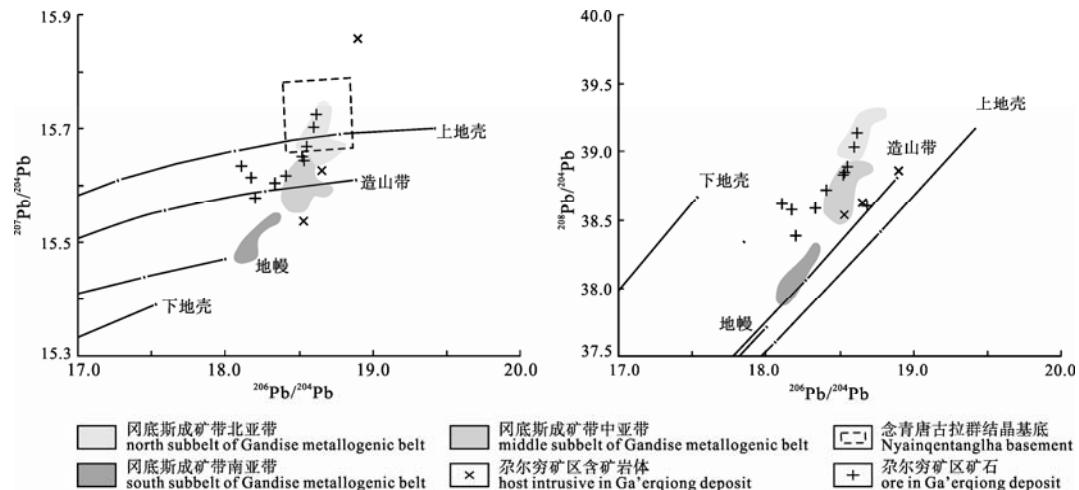


图 6 尕尔穷矿区 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的构造环境演化图(底图据 Zartman et al., 1981; 阴影区域据程文斌等, 2010; 念青唐古拉群结晶基底区域据 Gariépy et al., 1985; 含矿斑岩数据据辛洪波等, 2007)
Fig. 6 Diagram showing evolutionary tectonic setting for $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ of ore lead isotope from the Ga'erqiong deposit (base map after Zartman et al., 1981; shade area after CHENG Wen-bin et al., 2010; Nyainqntanglha basement area after Gariépy et al., 1985; host porphyry data after XIN Hong-bo et al., 2007)

显示其具有的钙碱性、轻稀土富集、富集 Rb、Ba、Th、U 等大离子亲石元素和亏损 Nb、Ta、Zr、Hf 等高场强元素的岛弧型花岗岩地球化学特征, 本次 S、Pb 同位素特征研究进一步显示其成矿物质是幔源物质受壳源物质混染所构成。吕立娜等(2011a)通过研究嘎拉勒矿区成矿岩体——花岗闪长岩的岩石地球化学特征, 显示其具有的高钾钙碱性、轻稀土富集、富集 Sr、Hf、Ti 元素和亏损 Rb、Ba、Nb、K、Pb、Sm、Zr 等元素的 S 型花岗岩地球化学特征。两个矿床的成矿岩体形成时代相近, 为同一次区域性岩浆活动的产物, 其成因类型的差异可能主要受不同部位不同比例壳、幔源物质的岩浆组成的影响。由此推测, 在班怒带西段伴随着晚白垩世 Coniacian 期南羌塘-三江复合板片与冈底斯-念青唐古拉板片之间弧-陆碰撞(姚晓峰等, 2012), 措勤-申扎火山岩浆弧内形成了与铜金矿有关的、与地幔或初生下地壳重熔并受上地壳物质不同比例混染的斑岩-矽卡岩成矿系列。班怒成矿带是伴随着班公湖-怒江特提斯洋俯冲消减、闭合及两大板片的碰撞缝合等而形成的, 近几年越来越多的学者肯定其南北双向俯冲的特征及其对矿产分布的影响和制约(秦克章等, 2006; 许荣科等, 2007; 曲晓明等, 2009; 康志强等, 2010; 杜德道等, 2011; 耿全如等, 2011; 高顺宝等, 2011)。在班公湖-怒江缝合带北侧西段扎普-多不杂岩浆弧内发育了俯冲背景下的岛弧型斑岩-矽卡岩矿床, 如多不杂铜金矿、材玛铁矿和弗野铁矿等矿床(李金祥等, 2008; 赵元艺等, 2010; 耿全如等, 2011; 吴德新等,

2012); 在缝合带南侧岩浆弧内已发现了尕尔穷、嘎拉勒两个碰撞背景下的斑岩-矽卡岩矿床, 南侧能否形成像冈底斯成矿亚带不同构造背景下的与斑岩有关的不同成矿系列(侯增谦等, 2006; 唐菊兴等, 2010; 胡正华等, 2011), 还有待今后的矿产勘查和评价工作中进一步研究查证。

5 结论

(1) 矿床中主要金属矿物黄铜矿、黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 同位素在 $-2.9\text{\textperthousand}$ ~ $0.5\text{\textperthousand}$ 之间, 其频率直方图具有塔式分布特征, 指示其 S 同位素具有幔源特征。

(2) 矿床中黄铜矿、黄铁矿的 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 主要分布于 38.384 ~ 39.134 之间, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 主要分布于 15.577 ~ 15.725 之间, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 主要分布于 18.112 ~ 18.615 之间, 具有上地壳与地幔混合的造山带铅特征, 成矿物质可能主要来自具幔源特征物质和念青唐古拉基底片麻岩。

(3) 晚白垩世 Coniacian 期, 伴随着南羌塘-三江复合板片与冈底斯-念青唐古拉板片之间弧-陆碰撞, 在班怒缝合带西段措勤-申扎火山岩浆弧内形成与上地幔或初生下地壳重熔并受上地壳物质不同比例混染的斑岩-矽卡岩铜金矿成矿系列。

致谢: 感谢西藏卓朗基矿业开发有限公司提供了大量资料, 并为作者的野外工作提供了帮助, 感谢项目其他成员的支持与帮助!

参考文献:

- 程文斌, 顾雪祥, 唐菊兴, 王立强, 吕鹏瑞, 钟康慧, 刘晓吉, 高一鸣. 2010. 西藏冈底斯-念青唐古拉成矿带典型矿床硫化物 Pb 同位素特征-对成矿元素组合分带性的指示[J]. 岩石学报, 26(11): 3350-3362.
- 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): 1993-2002.
- 高顺宝, 郑有业, 王进寿, 张众, 杨成. 2011. 西藏班戈地区侵入岩年代学和地球化学对班公湖-怒江洋盆演化时限的制约[J]. 岩石学报, 27(7): 1973-1982.
- 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.
- 侯增谦, 莫宣学, 杨志明, 王安建, 潘桂棠, 曲晓明, 聂凤军. 2006. 青藏高原碰撞造山带成矿作用: 构造背景、时空分布和主要类型[J]. 中国地质, 33(2): 340-351.
- 胡正华, 唐菊兴, 丁枫, 郑文宝, 邓世林, 杨毅, 张志, 王艺云, 林彬, 丁帅. 2011. 西藏甲玛铜多金属矿富银矿体地质特征、银赋存状态及富集机理研究[J]. 地球学报, 32(6): 668-680.
- 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, 026(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.
- 李龙, 郑永飞, 周建波. 2001. 中国大陆地壳铅同位素演化的动力学模型[J]. 岩石学报, 17(1): 61-68.
- 李志军, 唐菊兴, 姚晓峰, 邓世林, 王友. 2011b. 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. 2011a. 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): 1149-1155.
- 吕立娜, 崔玉斌, 宋亮, 赵元艺, 曲晓明, 王江朋. 2011b. 西藏嘎拉勒矽卡岩型金(铜)矿床地球化学特征与锆石的 LA-ICP-MS 定年及意义[J]. 地学前缘, 18(5): 224-242.
- 吕立娜, 赵元艺, 宋亮, 田毅, 辛洪波. 2011a. 西藏班公湖-怒江成矿带西段富铁矿与铜(金)矿 C、Si、O、S 和 Pb 同位素特征及地质意义[J]. 地质学报, 85(8): 1291-1304.
- 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. 2006. 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[C]//陈毓川, 毛景文, 薛春纪. 第八届全国矿床会议论文集. 北京: 地质出版社: 666-670.
- 曲晓明, 王珠江, 辛洪波, 赵元艺, 樊兴涛. 2009. 西藏西部与班公湖特提斯洋盆俯冲相关的火成岩年代学和地球化学[J]. 地球化学, 38(6): 523-535.
- 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, 王登红, 汪雄武, 钟康惠, 应立娟, 郑文宝, 黎枫信, 郭娜, 秦志鹏, 姚晓峰, 李磊, 王友, 唐晓倩. 2010. 西藏甲玛铜多金属矿矿床地质特征及其矿床模型[J]. 地球学报, 31(4): 495-506.
- 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.
- 辛洪波, 曲晓明, 王珠江, 刘鸿飞, 赵元艺, 黄玮. 2007. 藏西班牙公湖斑岩铜矿带成矿斑岩地球化学及 Pb、Sr、Nd 同位素特征[J]. 矿床地质, 28(6): 785-792.
- 许荣科, 郑有业, 赵平甲, 陕亮, 张雨莲, 曹亮, 齐建宏, 张刚阳, 代芳华. 2007. 西藏东巧北尕苍见岛弧的厘定及地质意义[J]. 中国地质, 34(5): 768-777.
- 姚晓峰, 唐菊兴, 李志军, 邓世林, 丁帅, 胡正华, 张志. 2012. 班怒带西段尕尔穷矽卡岩型铜金矿含矿母岩成岩时代的重新厘定及其地质意义[J]. 地质论评, 待刊.
- 姚晓峰, 唐菊兴, 王友, 李志军, 邓世林. 2011. 西藏尕尔穷铜金矿矿物特征研究[J]. 地质与勘探, 47(6): 1018-1025.
- 赵一鸣, 林文蔚, 毕承恩. 1990. 中国矽卡岩矿床[M]. 北京: 地质出版社: 34-36.
- 赵元艺, 刘妍, 王珠江, 崔玉斌, 宋亮, 吕立娜, 曲晓明. 2010. 西藏班公湖-怒江成矿带及邻区铋矿化带的发现与意义[J].

地球学报, 31(2): 183-193.

朱炳泉. 1998. 地球科学中同位素体系理论与应用—兼论中国大陆壳幔演化[M]. 北京: 科学出版社: 220-230.

References:

- CHENG Wen-bin, GU Xue-xiang, TANG Ju-xing, WANG Li-qiang, LÜ Peng-rui, ZHONG Kang-hui, LIU Xiao-ji, GAO Yi-ming. 2010. Lead isotope characteristics of ore sulfides from typical deposits in the Gangdese-Nyainqntanglha metallogenic belt: Implications for the zonation of ore-forming elements[J]. Acta Petrologica Sinica, 26(11): 3350-3362(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 Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 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 LAICPMMS dating and petrogeochemistry of arc granites[J]. Acta Petrologica Sinica, 27(7): 1993-2002(in Chinese with English abstract).
- GAO Shun-bao, ZHENG You-ye, WANG Jin-shou, ZHANG Zhong, YANG Cheng. 2011. The geochronology and geochemistry of intrusive rocks in Bange area: Constraints on the evolution time of the Bangong Lake-Nujiang ocean basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 27(7): 1973-1982(in Chinese with English abstract).
- GARIÉPY C, ALLÈGRE C J, XU R H. 1985. The Pb-isotope geochemistry of granitoids from the Himalaya-Tibet collision zone: implication for crustal evolution[J]. Earth and Planetary Science Letters, 74(2-3): 220-234.
- 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).
- HOU Zeng-qian, MO Xuan-xue, YANG Zhi-ming, WANG An-jian, PAN Gui-tang, QU Xiao-ming, NIE Feng-jun. 2006. Metallogenesis in the collisional orogen of the Qinghai-Tibet Plateau: Tectonic setting, tempo-spatial distribution and ore de-
- posit types[J]. Geology in China, 33(2): 340-351(in Chinese with English abstract).
- HU Zheng-hua, TANG Ju-xing, DING Feng, ZHENG Wen-bao, DENG Shi-lin, YANG Yi, ZHANG Zhi, WANG Yi-yun, DING Shuai. 2011. A Study of Features, Modes of Occurrence and Enrichment Mechanism of Silver-rich Ore Bodies in the Jiama Copper-Polymetallic Deposit of Tibet[J]. Acta Geoscientica Sinica, 32(6): 668-680(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 Tethys's southward subduction[J]. Acta Petrologica Sinica, 26(10): 3106-3116(in Chinese with English abstract).
- 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 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 Long, ZHENG Yong-fei, ZHOU Jian-bo. 2011. Dynamic model for Pb isotope evolution in the continental crust of China[J]. Acta Petrologica Sinica, 17(1): 61-68(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 Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 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): 1149-1155(in Chinese with English abstract).
- LÜ Li-na, CUI Yu-bin, SONG Liang, ZHAO Yuan-yi, QU Xiao-ming, WANG Jiang-peng. 2011b. 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, ZHAO Yuan-yi, SONG Liang, TIAN Yi, XIN Hong-bo. 2011a. Characteristics of C, Si, O, S and Pb isotopes of the Fe-rich and Cu(Au) deposits in the western Bangong-Nujiang Metallogenic Belt, Tibet, and their geological significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 85(8): 1291-1304(in Chinese with English abstract).
- QIN Ke-zhang, LI Guang-ming, ZHANG Qi, LI Jin-xiang, MIAO Yu, XIAO Bo, ZHANG Tian-ping, DOR Ji, LI Jin-gao, LU Yan. 2006. The epithermal Au-Ag deposit metallogenic condition and probable area analysis-from the aspect of porphyry-epithermal Cu-Au ore forming system[C]// CHEN Yu-chuan, MAO Jing-wen, XUE Chun-ji. The 8th National Deposit Conference Proceedings. Beijing: Geological Publishing House: 666-670(in Chinese).
- QU Xiao-ming, WANG Rui-jiang, XIN Hong-bo, ZHAO Yuan-yi, FAN Xing-tao. 2009. Geochronology and geochemistry of igneous rocks related to the subduction of the Tethys oceanic plate along the Bangong Lake arc zone, the western Tibetan Plateau[J]. *Geochimica*, 38(6): 523-535(in Chinese with English abstract).
- TANG Ju-xing, Dorji, LIU Hong-fei, LANG Xing-hai, ZHANG Jin-shu, ZHENG Wen-bao, YING Li-juan. 2012. Minerogenetic Series of Ore Deposits in the East Part of the Gangdise Metallogenic Belt[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 33(4): 393-410(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. 2010. Geological Features and Metallogenic Model of the Jiamu Copper-Polymetallic Deposit in Tibet[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 31(4): 495-506(in Chinese with English abstract).
- WU De-xin, ZHAO Yuan-yi, LIU Chao-qiang, XU 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).
- XIN Hong-bo, QU Xiao-ming, WANG Rui-jiang, LIU Hong-fei, ZHAO Yuan-yi, HUANG Wei. 2007. Geochemistry and Pb, Sr, Nd isotopic features of ore-bearing porphyries in Bangong Lake porphyry copper belt, western Tibet[J]. *Mineral Deposit*, 28(6): 785-792(in Chinese with English abstract).
- XU Rong-ke, ZHENG You-ye, ZHAO Ping-jia, SHAN Liang, ZHANG Yu-lian, CAO Liang, QI Jian-hong, ZHANG Gang-yang, DAI Fang-hua. 2007. Definition and geological significance of the Gacangjian volcanic arc north of Dongqiao, Tibet[J]. *Geology in China*, 34(5): 768-777(in Chinese with English abstract).
- YAO Xiao-feng, TANG Ju-xing, LI Zhi-jun, DENG Shi-lin, DING Shuai, HU Zheng-hua, ZHANG Zhi. 2012. 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*, in press(in Chinese with English abstract).
- YAO Xiao-feng, TANG Ju-xing, WANG You, LI Zhi-jun, DENG Shi-lin. 2011. Characteristics of Gold-bearing Minerals in the Ga'erqiong Copper-Gold Deposit, Tibet[J]. *Geology and Exploration*, 47(6): 1018-1025(in Chinese with English abstract).
- ZARTMAN RE, DOE BR. 1981. Plumbotectonics: The model[J]. *Tectonophysics*, 75(1-2): 135-162.
- ZHAO Yi-ming, LIN Wen-wei, BI Chen-en. 1990. Skarn Deposit in China[M]. Beijing: Geological Publishing House: 34-36(in Chinese).
- ZHAO Yuan-yi, LIU Yan, WANG Rui-jiang, CUI Yu-bin, SONG Liang, LÜ Li-na, QU Xiao-ming. 2010. The Discovery of the Bismuth Mineralization Belt in the Bangong Co-Nujiang Metallogenic Belt of Tibet and its Adjacent Areas and Its Geological Significance[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 31(2): 183-193(in Chinese with English abstract).
- ZHU Bing-quan. 1998. Theory and application of isotope system in Earth Science-Crust-mantle evolution of continent in China[M]. Beijing: Science Press: 220-230(in Chinese).