2012 年 7 月 地 球 学 报 Jul. 2012
第 33 卷 第 4 期: 459-470 Acta Geoscientica Sinica Vol.33 No.4: 459-470
www.cagsbulletin.com www.地球学报.com

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

郎兴海[1)], 唐菊兴[2)], 李志军[1)], 黄 勇[1)], 丁 枫[1)], 王成辉[2)], 张 丽[3)], 周 云[1)]

1)成都理工大学地球科学学院, 四川成都 610059;
2)中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;
3)中国地质调查局成都地质调查中心, 四川成都 610081

摘 要: 西藏雄村斑岩型铜金矿集区是近年来西藏冈底斯斑岩铜矿带内发现的一处超大型铜金矿集区, 其形成于与新特提斯洋向北的洋内俯冲作用有关的岛弧环境, 成矿时代为中侏罗世。该矿集区位于冈底斯火山-岩浆弧的中段南缘, 其南侧紧邻日喀则弧前盆地, 目前探明 I(原命名为雄村铜矿床)、II、III 号铜金矿体规模达大型-超大型, 同时还存在多个矿化异常带。本文以雄村 I 号矿体为研究对象, 对雄村 I 号矿体含矿斑岩、赋矿凝灰岩和主要硫化物的硫、铅同位素开展研究, 结果表明: ①含矿斑岩、赋矿凝灰岩和主要硫化物具有较为一致的硫同位素组成, $\delta^{34}S_{CDT}$ 变化范围为–3.5‰~2.7‰, 平均–1.07‰, 十分接近于零, 塔式分布效应显著, 硫可能主要来自地幔; ②含矿斑岩、赋矿凝灰岩和主要硫化物具有相对一致的铅同位素组成, 均以放射性成因铅含量低为特征, $^{206}Pb/^{204}Pb$、$^{207}Pb/^{204}Pb$ 和 $^{208}Pb/^{204}Pb$ 变化范围分别为 18.369~18.752、15.473~15.589 和 38.389~39.1531, 位于地幔与造山带铅演化线之间, 并且相对靠近地幔铅演化线, 显示出铅主要来源于地幔, 可能有少量地壳物质的混染。通过西藏冈底斯斑岩铜矿带碰撞造山环境和岛弧环境(以雄村 I 号矿体为代表)斑岩型铜矿床的硫、铅同位素组成特征对比, 认为两者的成矿物质来源是相似的, 碰撞造山环境的地壳物质混染较强烈, 而岛弧环境的地壳物质混染较弱。

关键词: 硫同位素; 铅同位素; 雄村; 斑岩铜矿床; 西藏冈底斯带
中图分类号: P588.13; P597 文献标志码: A **doi**: 10.3975/cagsb.2012.04.07

CAGS

Sulfur and Lead Isotope Characteristics of No. I Ore Body in the Xiongcun Porphyry Copper-Gold Ore Concentration Area of Tibet: Implications for the Source of Metals in the Ore Deposit

LANG Xing-hai[1)], TANG Ju-xing[2)], LI Zhi-jun[1)], HUANG Yong[1)], DING Feng[1)], WANG Cheng-hui[2)], ZHANG Li[3)], ZHOU yun[1)]

1) *College of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan* 610059;
2) *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 10037;
3) *Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu, Sichuan* 610081

Abstract: The Xiongcun porphyry copper-gold ore concentration area, one of the large-size metallogenic areas discovered along the Gangdise porphyry copper belt, occurs in an island arc environment associated with northward intra-oceanic subduction of Neo-Tethys oceanic crust. The ore-forming age of the Xiongcun porphyry copper-gold ore concentration area is middle Jurassic. It is located in the middle of the southern margin of the

本文由国家自然科学基金(编号: 41172077)、国家 973 项目(编号: 2011CB403103)、西藏天圆矿业资源开发有限公司项目(编号: 2006G-07)和中国地质调查局地调项目“西藏大型矿床成矿专属性研究”(编号: 资[2012]03-002-055)联合资助。
收稿日期: 2012-06-03; 改回日期: 2012-06-21。责任编辑: 魏乐军。
第一作者简介: 郎兴海, 男, 1982 年生。博士。从事矿床学、矿产普查与勘探的教学和研究工作。E-mail: langxinghai@126.com。

Gangdise orogenic belt, and its south margin is Shigatse forearc basin. The latest exploration data indicate that there are several potential mineralization-alteration areas and three large-size copper-gold ore bodies (No. I, II and III) in the Xiongcun porphyry copper-gold ore concentration area. In this paper, Xiongcun No. I ore body was chosen as the research object. According to sulfur and lead isotope composition of ore-baring porphyry, tuff and main sulfides of the ore, the authors have reached the following two conclusions: 1) Sulfur isotopic compositions vary in a narrow range of $\delta^{34}S$ values from −3.5‰ to +2.7‰ (−1.07‰ on average) and are close to zero, indicating a mantle sulfur signature. 2) They have uniform Pb isotope compositions with low content of radiogenic Pb. The $^{206}Pb/^{204}Pb$, $^{207}Pb/^{204}Pb$, and $^{208}Pb/^{204}Pb$ ratios vary in the ranges of 18.104-18.432, 15.473-15.533 and 37.918-38.3072, respectively. They are located in the transition zone of mantle Pb and orogen Pb but are closer to the former, reflecting a mixing between the mantle material and minor crust material. Through a comparative study of sulfur and lead isotopes of porphyry copper deposits of the island arc environment (e.g., Xiongcun No. I ore body) and those of the collisional orogenic environment in the Gangdise porphyry copper belt, the authors found that they have similar metal sources, but porphyry copper deposits of the island arc environment have experienced weak contamination of crust materials, whereas porphyry copper deposits of the collisional orogenic environment have experienced strong contamination of crust materials.

Key words: sulfur isotope; lead isotope; Xiongcun; porphyry copper-gold deposit; Gangdise belt in Tibet

西藏冈底斯斑岩铜矿带产于冈底斯火山-岩浆弧内, 近年来该带的资源评价工作取得了重要进展, 已发现的矿床(点)主要位于东起工布江达县、西到昂仁县的区域, 大致分布于雅鲁藏布江北岸 20~60 km 范围内(以 25~35 km 最为集中), 发现有雄村、驱龙、甲玛、沙让、冲江、厅宫、白容、朱诺、程巴、冲木达、拉抗俄、达布、吹败子、吉如等斑岩型矿床, 总体具有东西成带、北东成群分布特征(芮宗瑶等, 2003a, b; 李光明等, 2005, 2006; 曲晓明等, 2001; 王全海等, 2002; 侯增谦等, 2003; 郑有业等, 2007; 黄志英等, 2004; 张洪涛等, 2004; 唐菊兴等, 2009b, 2010a, b, 2012; 胡正华, 2011; 郎兴海等 2010c, 2012a)。

雄村斑岩型铜金矿集区位于西藏冈底斯斑岩铜矿带西段, 是近年来西藏冈底斯斑岩铜矿带上发现的以铜为主伴生金、银的超大型铜金矿集区, 属西藏日喀则地区谢通门县荣玛乡管辖。雄村斑岩型铜金矿集区大地构造位置属冈底斯火山-岩浆弧的中段南缘, 其南侧紧邻日喀则弧前盆地(郎兴海等, 2010c), 研究表明其形成于与新特提斯洋向北的洋内俯冲作用有关的岛弧环境, 成矿时代为中侏罗世(唐菊兴等, 2009b; 郎兴海等, 2010c)。在雄村斑岩型铜金矿集区, 目前探明 I(原命名为雄村铜矿床)、II、III 号铜金矿体规模达大型-超大型, 同时还存在多个矿化异常带。三个主矿体呈北西-南东向展布, II 号矿体位于 I 号矿体(原雄村铜矿床)北西向约 3.4 km 处, III 号矿体位于 II 号矿体北西向约 2.1 km 处(图 1)。雄村斑岩型铜金矿集区的地质研究工作起步较晚, 其中以雄村 I 号矿体(原命名为雄村铜矿床)研究最为详尽(Qin et al., 2005; 徐文艺等, 2005, 2006a, b; 丁枫等, 2006; 张丽, 2007; 唐菊兴, 2007, 2009a, c, 2010; 曲晓明等, 2007a, b; 郎兴海等, 2010a, b, c, 2011, 2012b; 黄勇等, 2011a, b; 黄勇, 2012; 丁枫, 2012), 但其成矿物质来源尚未得到明确的认识。尽管丁枫等(2006)、徐文艺等(2006b)、曲晓明等(2007b)、黄勇等(2011a)对 I 号矿体的成矿物质来源有过研究, 但由于测试数据较少且不够全面和系统, 缺乏对成矿物质来源的深入探讨, 因此, 本文将在前人研究基础之上, 通过系统研究雄村 I 号矿体的含矿斑岩、赋矿凝灰岩和主要硫化物的硫、铅同位素组成, 分析其成矿物质来源, 并与区域上的斑岩型铜矿床进行对比, 初步探讨新特提斯洋俯冲阶段岛弧环境与印度-亚洲大陆碰撞造山环境形成的斑岩铜矿床成矿物质来源的异同, 为深入研究雄村斑岩型铜金矿集区的成矿作用乃至整个冈底斯成矿带构造-岩浆演化与成矿作用奠定基础。

1 雄村 I 号矿区地质概况

雄村 I 号矿区出露地层(图 1)主要为中-下侏罗统雄村组($J_{1-2}x$)和全新统崩积物-冲积物(唐菊兴等,

CAGS

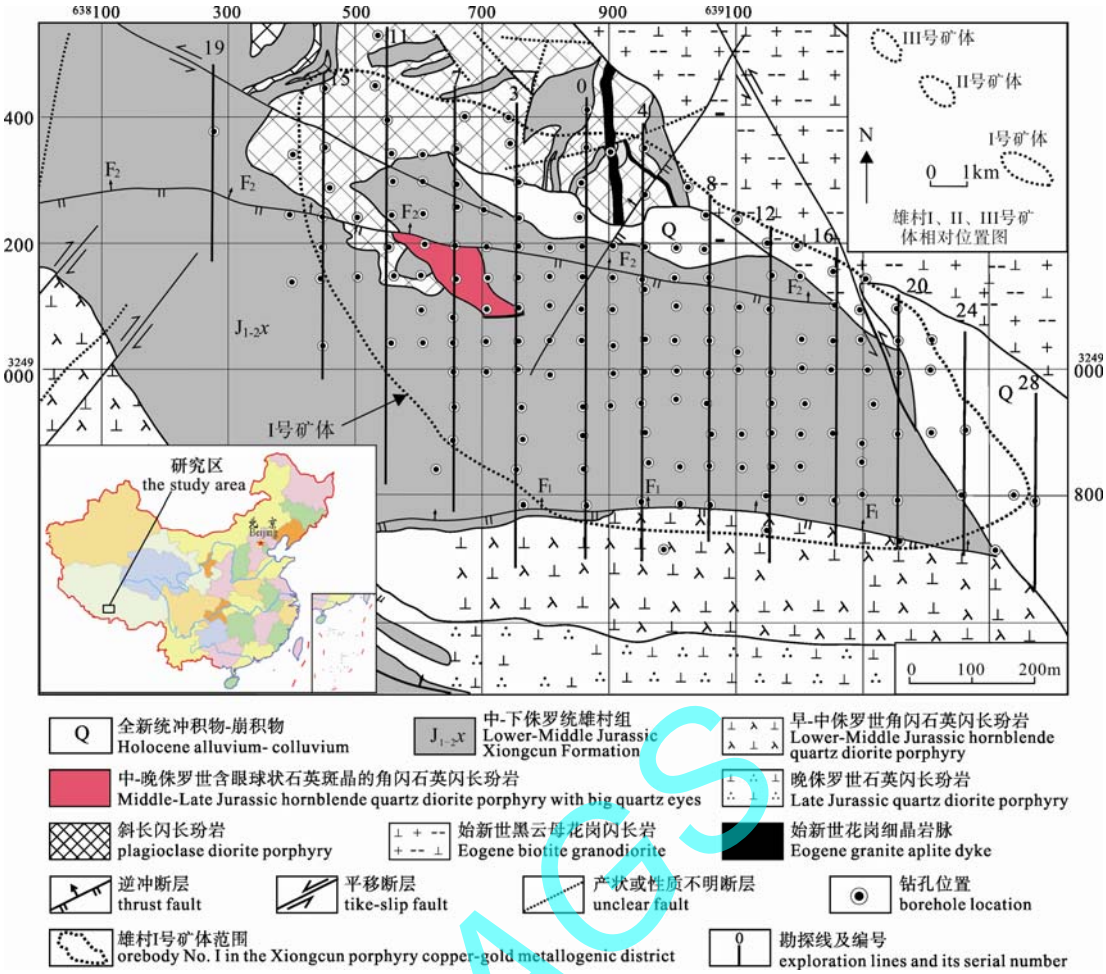

图 1　雄村 I 号矿区地质图(据唐菊兴等, 2006; Oliver, 2006 修编)

Fig. 1　Geological map of Xiongcun No. 1 ore body (after TANG Ju-xing et al., 2006; Oliver, 2006)

2006)。雄村组分为酸性凝灰岩、安山质凝灰岩、石英玄武质砂岩、玄武质砂岩夹粉砂岩、粉砂岩夹泥质岩等岩性段, 其中酸性凝灰岩和安山质凝灰岩是雄村 I 号矿体的主要赋矿岩石之一, 形成时间为 176±5 Ma(唐菊兴等, 2010a)。

雄村 I 号矿区发育成矿前、成矿期和成矿后岩浆岩(图 1)。成矿前岩浆岩主要为角闪石英闪长玢岩, 侵入时间为 173±3 Ma(唐菊兴等, 2010a)。成矿期岩浆岩为含眼球状石英斑晶的角闪石英闪长玢岩, 侵入时间为 164.3±1.9 Ma(Tafti et al., 2006), 该岩体是雄村 I 号矿体的含矿斑岩体, 斑晶主要为石英和角闪石, 石英斑晶呈方形或浑圆状(图 2a, b), 含量为 10%~15%(有时大于 15%), 粒径为 1~1.5 cm, 角闪石斑晶呈长条状自形斑晶, 含量 10%, 粒径 1~2 cm, 基质主要由细粒的石英、长石、角闪石及少量的黑云母组成。成矿后岩浆岩主要为始新世侵位的黑云母花岗闪长岩、斜长闪长玢岩、安山岩脉、花岗细晶岩脉和煌斑岩脉, 其中黑云母花岗闪长岩侵位时间为 46.96±0.42 Ma(唐菊兴等, 2009c, 2010a); 煌斑岩脉侵位时间为 49.59±0.58 Ma(唐菊兴等, 2009c, 2010a); 安山岩脉早于黑云母花岗闪长岩, 花岗细晶岩脉晚于黑云母花岗闪长岩; 斜长闪长玢岩早于安山岩脉, 其侵位的准确时间还未确定。

雄村I号矿区断裂构造发育(图 1), 主要呈北西、北西西或北北西向展布, 其中 F_1 主断层展布于矿区南部, F_2 主断层展布于矿区中部, 两断层均具有多期次活动的特点, 为成矿后断层, 呈 265°～280°走向, 倾向北, 倾角 40°～75°不等, 表现出先压后张和先韧性后脆性的特征, 沿两断层普遍分布有断层角砾岩和构造蚀变岩, 断裂破碎带内及上盘近侧矿石破碎; 次级断层大多具有陡倾特点, 呈北西、北东或北北西走向, 倾向北东或东, 均为成矿后断层, 切穿矿体和 F_1、F_2 主断层。

雄村 I 号矿体产于含眼球状石英斑晶的角闪石英闪长玢岩及其接触带的凝灰岩中, 属斑岩型铜金

CAGS

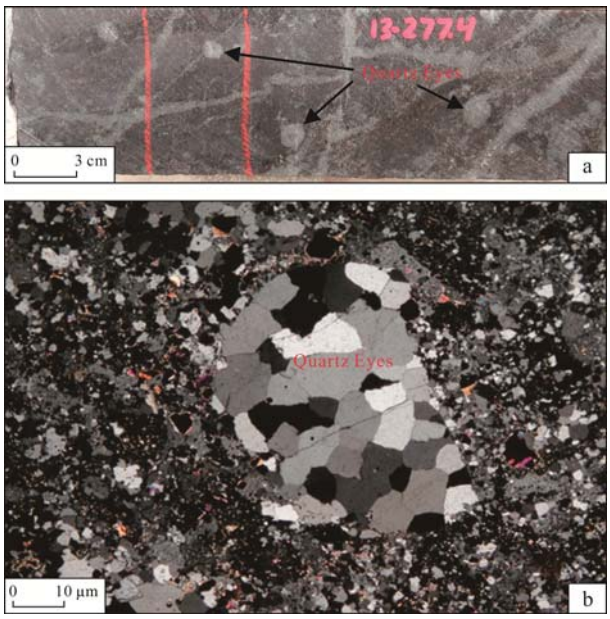

图 2 雄村 I 号矿体含矿斑岩的手标本及偏光显微镜下照片(据郎兴海等, 2012a)

Fig. 2 Photographs of mineralized porphyry hand specimen from Xiongcun No. 1 ore body under polarizing microscope (after LANG Xing-hai et al., 2012b)

a-含眼球状石英斑晶的角闪石英闪长玢岩(钻孔 ZK5013, 277.4 m); b-红柱石次生石英岩化含眼球状石英斑晶的角闪石英闪长玢岩, 眼球状石英团斑(图中部, 灰白色粒状), 含少许填间状的金属硫化物(ZK6075, 179.9 m, D=8.0, 正交偏光);
Quartz Eyes-石英斑晶(眼球状石英)

a-hornblende quartz diorite porphyry with big augen quartz phenocryst (drill hole ZK5013, 277.4 m); b-andalusite secondary hornblende quartz diorite porphyry with big augen quartz phenocryst, augen quartz round spot (with white grains in the middle), with a little fillings between shaped metal sulfides (ZK6075, 179.9 m, D=8.0, crossed nicols);
Quartz Eyes-quartz diorite porphyry (augen quartz)

矿床, 已经完成勘探工作, 进入矿山开采阶段。矿体(按 50 m×50 m 勘探网度控制)形态平面上呈大透镜状, 宽度(南东向)约 300～600 m, 长度(东西向)约 1000~1400 m, 走向北西-南东(图 1)。在南北向剖面上呈似层状－层状, 倾向北东, 倾角 40°～53°。该矿体总体特征是规模大(含矿斑岩及接触带凝灰岩全岩矿化)、富金而贫钼(Au 0.56×10^{-6}, Mo 19.7×10^{-6})、蚀变强烈, 已探明铜资源量 100 多万吨、伴生金资源量 100 多吨、伴生银资源量 900 多吨(Cu 0.41%, Au 0.56×10^{-6}, Ag 19.7×10^{-6})。

由于含矿斑岩体的侵位, 雄村 I 号矿体的围岩蚀变作用极为强烈, 主要蚀变类型有钾硅酸盐化蚀变、强硅化蚀变、黄铁绢英岩化蚀变和青磐岩化蚀变, 其中重要赋矿蚀变为钾硅酸盐化蚀变和强硅化蚀变。除上述热液成矿期的蚀变类型外, 在成矿后侵位的黑云母花岗闪长岩岩基的接触带发育一个强烈的角岩化带, 该期蚀变基本无矿化; 在成矿前侵位的角闪石英闪长玢岩中发育强烈的钠化-钙化蚀变。矿石构造主要为细脉—浸染状或网脉状, 主成矿元素以 Cu 为主, 伴生有用组分为 Au、Ag、Zn 和 Pb 等, 伴生有害元素(如 As、Sb、Bi 等)含量极少; 主要的脉体类型有磁铁矿-硫化物脉、黑云母硫化物脉、石英硫化物脉、黄铁矿-磁黄铁矿-黄铜矿脉、黄铁矿脉、多金属硫化物脉, 其中主要赋矿脉体为石英硫化物脉和黑云母硫化物脉。矿石中主要金属矿物为黄铜矿、黄铁矿和磁黄铁矿, 次要金属矿物为闪锌矿、方铅矿、辉钼矿、辉铜矿、毒砂、辉砷铜矿和蓝辉铜矿等; 主要非金属矿物为石英、红柱石和绢云母, 次要非金属矿物为长石、黑云母、绿泥石和绿帘石等。

雄村 I 号矿体的矿化具有多期多阶段性。根据对矿石结构、构造、有用组分及相关关系的研究, 结合野外观察的情况, 将成矿过程分为岩浆期、矽卡岩期、热液成矿期、表生期。热液成矿期是主要的成矿期, 分为早期石英硫化物阶段(硫化物大量沉淀, 形成矿体)、晚期石英多金属硫化物阶段(主要形成多金属硫化物脉, 出现方铅矿、闪锌矿以及有 Au 和 Ag 等的局部富集)。在表生期, 雄村 I 号矿体经历了发育较弱的表生(次生)作用。岩浆期和矽卡岩期的矿化作用极弱。

2 样品采集及测试

本文采集了雄村 I 号矿体含矿斑岩(含眼球状石英斑晶的角闪石英闪长玢岩)、赋矿凝灰岩以及主要硫化物(黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿)进行硫、铅同位素测定, 样品共计 15 件, 均采自钻孔岩芯。样品由核工业北京地质研究院同位素室完成测试, 硫同位素测试仪器采用 MAT-251 质谱计, 检测方法和依据为 DZ/ T0184.14-1997《硫化物中硫同位素组成的测定》, 测试结果见表 1; 铅同位素测试仪器采用 ISOPROBE-T 热电离质谱仪, 检测方法和依据为 GB/ T17672-1999《岩石中铅锶钕同位素测定方法》, 测试结果见表 1。

3 硫、铅同位素特征及成矿物质来源

3.1 硫同位素特征

雄村 I 号矿体硫化物的 $\delta^{34}S_{CDT}$ 较为均一, 变化范围为–3.5‰~2.7‰, 平均–1.06‰, 其中黄铁矿的 $\delta^{34}S_{CDT}$ 为–2.92‰~2.7‰(平均–0.61‰), 黄铜矿为–1.1‰~–1.7‰(平均-1.4‰), 闪锌矿为–0.8‰~–3.5‰(平均–1.84‰), 磁黄铁矿为–1.1‰ ~–3.1‰(平均-2.3‰)。

CAGS

雄村 I 号矿体含矿斑岩和赋矿凝灰岩的 $\delta^{34}S_{CDT}$ 也较为均一, 变化范围为–1.7‰ ~ –0.4‰, 平均–0.775‰, 其中含矿斑岩的 $\delta^{34}S_{CDT}$ 为–1.7‰ ~ –0.4‰(平均–1.05‰), 凝灰岩的为–0.6‰ ~ –0.4‰(平均–1.05‰)。

雄村 I 号矿体含矿斑岩、赋矿凝灰岩以及主要硫化物的 $\delta^{34}S_{CDT}$ 与典型斑岩铜矿床的大体相似(图 3)。

3.2　铅同位素特征

雄村 I 号矿体主要硫化物的铅同位素组成较为均一, 放射性成因铅含量较低, $^{206}Pb/^{204}Pb$、$^{207}Pb/^{204}Pb$ 和 $^{208}Pb/^{204}Pb$ 变化范围为 18.034~ 8.425、15.473~15.589 和 37.918~38.593, 其中黄铁矿分别为 18.104~18.422、15.473~15.589 和 37.923~ 38.593, 黄铜矿分别为 18.384~18.425、15.78~15.581 和 38.491~38.584, 闪锌矿分别为

表 1　雄村斑岩型铜金矿集区含矿斑岩、赋矿凝灰岩和矿石硫化物的硫、铅同位素组成

Table 1　S and Pb isotopic compositions of ore-bearing porphyries, tuff and sulfides in the Xiongcun No. I ore body

样品号	矿物	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$	$\delta^{34}S_{CDT}$‰
XC-05[1]	黄铁矿	–	–	–	–0.6
XC-12[1]	黄铁矿	–	–	–	2.7
XC-15[1]	黄铁矿	–	–	–	–0.1
XC-15[1]	闪锌矿	–	–	–	–0.8
XC-18[1]	黄铁矿	–	–	–	0.1
XC-23[1]	黄铁矿	–	–	–	–0.4
5018-150[2]	黄铁矿	18.25980	15.56800	38.30720	–2.92
5015-292.3[2]	黄铁矿	18.16940	15.54330	38.13910	1.791
5029-231.1[2]	黄铁矿	18.17010	15.54440	38.15000	–2.173
6171-270.8[2]	黄铁矿	18.18190	15.55020	38.17660	–0.187
5029-280.7[2]	黄铁矿	18.16160	15.53840	38.12680	–
PD04-B27-2[3]	黄铁矿	18.10400	15.47300	37.92300	0.56
PD05-B1[3]	黄铁矿	18.12300	15.48200	37.95300	–0.14
PD03-B3-2[3]	黄铁矿	18.16900	15.50000	38.05300	–0.34
PD04-B27-3[3]	闪锌矿	18.11400	15.47900	37.91800	–1.2
XX-09[4]	凝灰岩	18.205	15.549	38.196	–
XX-29[4]	凝灰岩	18.183	15.527	38.125	–
XX-30[4]	凝灰岩	18.219	15.546	38.127	–
X5024-3	闪锌矿	18.162	15.525	38.097	–1.3
X5056-7	闪锌矿	18.034	15.495	37.973	–3.5
X6187-7	闪锌矿	18.408	15.581	38.562	–2.4
X6164-11-1	磁黄铁矿	18.150	15.511	38.065	–1.5
X6164-11-2	黄铁矿	18.131	15.500	38.024	–1.5
X5024-6	磁黄铁矿	18.145	15.516	38.074	–3.1
X5011-2-1	黄铁矿	18.422	15.589	38.593	–2.7
X5011-2-2	黄铜矿	18.425	15.578	38.534	–1.1
X5015-1-1	黄铁矿	18.349	15.568	38.423	–2.4
X5015-1-2	黄铜矿	18.384	15.581	38.491	–1.7
X6152-1	黄铁矿	18.121	15.497	38.001	–1.5
ZK5G-1	凝灰岩	18.247	15.529	38.195	–0.4
X6164-8	凝灰岩	18.233	15.529	38.178	–0.6
X5015-3	含眼球状石英斑晶的角闪石英闪长玢岩 (含矿斑岩)	18.170	15.517	38.087	–1.7
ZK5021-3	含眼球状石英斑晶的角闪石英闪长玢岩 (含矿斑岩)	18.183	15.525	38.131	–0.4

资料来源: (1)徐文艺等, 2006b; (2)黄勇等, 2011a; (3)丁枫等, 2006; (4)曲晓明等, 2007b; 其它数据本文(分析单位: 核工业北京地质研究院分析测试中心, 2011); “ – ” 未分析项目。

CAGS

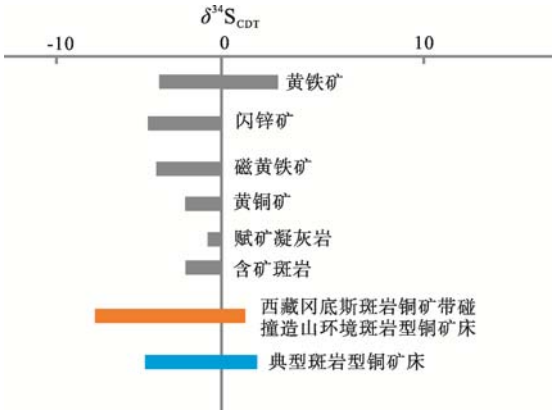

图 3 雄村 I 号矿体含矿斑岩、赋矿凝灰岩和主要硫化物的硫同位素组成特征

Fig. 3 Sulfur isotopic compositions of ore-bearing porphyries, tuff, and main sulfides from the Xiongcun No. I ore body

典型斑岩型铜矿床的硫同位素组成据 Rollinson, 1993; 西藏冈底斯斑岩铜矿带碰撞造山环境斑岩型铜矿床的硫同位素组成据曲晓明等, 2002; 孟祥金等, 2006; Qu et al., 2007

Sulfur isotopic values of typical porphyry copper deposits after Rollinson, 1993; sulfur isotope ratios of porphyry copper deposits of collisional orogenic environment in the Gangdise belt after QU Xiao-ming et al., 2002; MENG Xiang-jin et al., 2006; Qu et al., 2007

18.034~18.408、15.479~15.581 和 37.918~38.562，磁黄铁矿分别为 18.145~18.15、15.511~15.516 和 38.065~38.074。

雄村 I 号矿体含矿斑岩和赋矿凝灰岩的铅同位素组成也较为均一，放射性成因铅含量较低，与硫化物的铅同位素组成相近，$^{206}Pb/^{204}Pb$、$^{207}Pb/^{204}Pb$ 和 $^{208}Pb/^{204}Pb$ 变化范围为 18.17~18.247、15.517~15.525 和 38.087~38.196，其中含矿斑岩分别为 18.17~18.183、15.517~15.525 和 38.087~38.196，凝灰岩分别为 18.183~18.247、15.527~15.549 和 38.125~ 38.178。

3.3 成矿物质来源

硫、铅同位素示踪是一种研究成矿物质来源的有效手段(Zartman et al., 1981; Rollinson, 1993; Zhu et al., 2011)。

在 $^{207}Pb/^{204}Pb$-$^{206}Pb/^{204}Pb$ 和 $^{208}Pb/^{204}Pb$-$^{206}Pb/^{204}Pb$ 图解(图 4)，含矿斑岩和硫化物投点于地幔与造山带铅演化线之间，并且相对靠近地幔铅演化线，这说明 Pb 主要来源于地幔，可能有少量地壳物质的混染。含矿斑岩和硫化物的铅同位素组成特征相似，说明硫化物中的 Pb 主要来自斑岩体，也说明成矿流体从围岩中萃取成矿物质的作用不强，主要成矿物质还是来自斑岩本身。

雄村 I 号矿体缺乏硫酸盐，说明成矿流体中主要为还原性硫，硫化物的平均 $\delta^{34}S$ 值可以代表成矿流体的 $\delta^{34}S$ 值。矿石的主要硫化物是黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿和闪锌矿，它们硫同位素组成特征相似，变化范围较窄(–3.5‰~2.7‰)，平均值为–1.06‰，十分接近于零(图 3)，塔式分布效应显著，与陨石硫的同位素组成特征相似，说明硫可能主要来自地幔，与 Pb 来源相似。雄村 I 号矿体的含矿斑岩体(含眼球状石英斑晶的角闪石英闪长玢岩)的 $\delta^{34}S$ 值变化范围为–0.4‰至–1.7‰，平均–1.05‰，与硫化物的硫同位素组成特征相似，说明硫化物的硫主要来自斑岩体，地壳物质的混染较弱。

综上所述，雄村 I 号矿体的成矿物质是由含矿斑岩带来，主要来自地幔，地壳物质的混染作用不强。

4 讨论

已有的研究资料表明，西藏冈底斯斑岩铜矿带存在三个构造演化阶段的斑岩成矿作用(唐菊兴等, 2009b; 郎兴海等, 2010c): ①新特提斯洋俯冲阶段的斑岩成矿作用(65~200 Ma)，仅发现有雄村斑岩型铜金矿集区，形成于与新特提斯洋洋内俯冲作用有关的岛弧环境; ②印度—亚洲大陆主碰撞汇聚阶段的斑岩成矿作用(65～40 Ma)，发现有吉如斑岩型铜(钼)矿、沙让斑岩型钼矿和冲木达斑岩-矽卡岩型铜金矿; ③印度—亚洲大陆后碰撞伸展阶段的斑岩成矿作用(25～0 Ma)，是西藏冈底斯斑岩铜矿带的主要成矿期，发现有众多的斑岩型矿床，如甲玛、冲江、吹败子、厅宫、达布、拉抗俄、南木、驱龙、朱诺、程巴、白容等。曲晓明等(2002)、孟祥金等(2006)和 Qu 等(2007)对西藏冈底斯斑岩铜矿带印度-亚洲大陆碰撞造山环境的斑岩型铜矿床 S、Pb 同位素组成及成矿物质来源进行了较为系统的研究，将他们的研究结果与本文研究成果进行对比可以得出一些初步的认识: ①碰撞造山环境和岛弧环境斑岩型铜矿床的含矿斑岩和矿石硫化物的 $\delta^{34}S_{CDT}$ 变化范围分别为–6.3‰~1.2‰(平均–1.27‰)和–3.5~2.7‰(平均–1.07‰)(图 3)，两者的 $\delta^{34}S_{CDT}$ 塔式分布效应显著，硫可能主要来自地幔，但碰撞造山环境的含矿斑岩和矿石硫化物的 $\delta^{34}S_{CDT}$ 更偏负值，这可能说明有更多的地壳物质混染; ②碰撞造山环境和岛弧环境斑岩型铜矿床的含矿斑岩和矿石硫化物的 $^{206}Pb/^{204}Pb$、$^{207}Pb/^{204}Pb$、$^{208}Pb/^{204}Pb$ 变化范围分别为 18.369~ 18.752、15.473~15.589、38.389~39.1531 和 18.034~ 18.425、15.502~15.7329、37.918~38.593，前

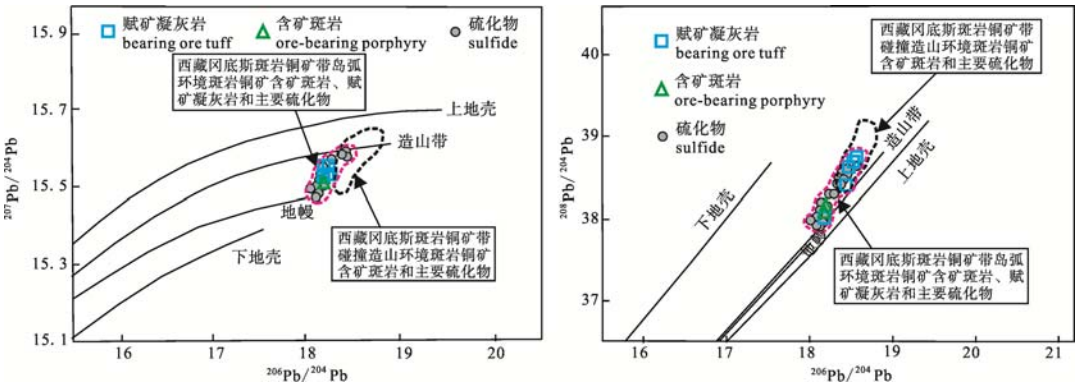

图 4　雄村 I 号矿体含矿斑岩、凝灰岩和主要硫化物的 $^{207}Pb/^{204}Pb$-$^{206}Pb/^{204}Pb$ 和 $^{208}Pb/^{204}Pb$-$^{206}Pb/^{204}Pb$ 图解

Fig. 4　$^{207}Pb/^{204}Pb$ versus $^{206}Pb/^{204}Pb$ diagram and $^{208}Pb/^{204}Pb$ versus $^{206}Pb/^{204}Pb$ diagram for ore-bearing porphyries, tuff, and main sulfides from Xiongcun No. I ore body

底图据 Zartman et al., 1981；西藏冈底斯斑岩铜矿带碰撞造山环境斑岩型铜矿床的铅同位素组成据曲晓明等, 2002；孟祥金等, 2006；Qu et al., 2007

Pb isotopic evolution lines of upper crust, lower crust, orogen and mantle after Zartman et al., 1981; Pb isotope ratios of porphyry copper deposits of collisional orogenic environment in the Gangdese belt after QU Xiao-ming et al., 2002; MENG Xiang-jin et al., 2006; Qu et al., 2007

者相较于后者更富放射性成因铅，表明有更多地壳物质的混染。在 $^{207}Pb/^{204}Pb$-$^{206}Pb/^{204}Pb$ 和 $^{208}Pb/^{204}Pb$-$^{206}Pb/^{204}Pb$ 图解上(图 4)，碰撞造山环境的位于地壳、造山带与地幔铅演化线之间，更趋向于造山带铅演化线，而岛弧环境的位于地幔与造山带铅演化线之间，更趋向于地幔铅演化线，两者构成一条线性关系很好的由地壳到造山带至地幔铅的演化线，这种铅同位素组成特征可能暗示两者具有相似的铅源，但地壳物质的混染程度不同，碰撞造山环境的有更多的地壳物质混染，而岛弧环境的地壳物质混染较弱。根据碰撞造山环境和岛弧环境的斑岩型铜矿床的硫、铅同位素组成特征对比，两者成矿物质来源是相似的，但由于碰撞造山环境地壳很厚(约 70 km)，含矿斑岩岩浆上侵过程中地壳物质混染作用较为强烈，而岛弧环境地壳较薄或缺失，含矿斑岩岩浆上侵过程中地壳物质混染较弱。

5　结论

1)雄村 I 号矿体含矿斑岩、赋矿凝灰岩和主要硫化物具有较为一致的硫同位素组成，$\delta^{34}S_{CDT}$ 变化较小，变化范围为–3.5‰~2.7‰，平均–1.07‰，十分接近于零，塔式分布效应显著，与陨石硫的同位组成特征相似，硫可能主要来自地幔，地壳物质混染较弱。

2)雄村 I 号矿体含矿斑岩、赋矿凝灰岩和主要硫化物具有相对一致的铅同位素组成，均以放射性成因铅含量低为特征，$^{206}Pb/^{204}Pb$、$^{207}Pb/^{204}Pb$ 和 $^{208}Pb/^{204}Pb$ 变化范围为 18.369~18.752、15.473~15.589 和 38.389~39.1531，位于地幔与造山带铅演化线之间，并且相对靠近地幔铅演化线，显示出铅主要来源于地幔，可能有少量地壳物质的混染。

3)西藏冈底斯斑岩铜矿带碰撞造山环境和岛弧环境形成的斑岩型铜矿床的硫、铅同位素组成特征对比显示：两者的成矿物质来源是相似的，碰撞造山环境的地壳物质混染较强烈，而岛弧环境的地壳物质混染较弱。

参考文献:

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 号矿体赋矿凝灰岩成因探讨：来自岩石地球化学、Sr-Nd-Pb 同位素地球化学特征的证据[J]. 地球学报，33(4): 546-558.

丁枫，唐菊兴，崔晓亮. 2006. 硫、铅同位素及微量元素对西藏雄村铜金矿成矿物质来源的指示[J]. 矿床地质，25(增刊): 399-402.

侯增谦，曲晓明，王淑贤，高永丰，杜安道，黄卫. 2003. 西藏高原冈底斯斑岩铜矿带辉钼矿 Re-Os 年龄：成矿作用时限与动力学背景应用[J]. 中国科学，33(7): 509-618.

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.

黄勇，丁俊，唐菊兴，郎兴海，陈渊，张丽. 2011a. 西藏雄村铜

CAGS

金矿床I号矿体成矿构造背景与成矿物质来源探讨[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 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, 郎兴海, 张丽, 陈渊. 2011b. 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.

黄志英, 李光明. 2004. 西藏雅鲁藏布江成矿区斑岩型铜矿基本特征与找矿潜力[J]. 地质与勘探, 40(1): 1-6.

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, 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, 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, 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, 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.

李光明, 刘波, 佘宏全, 丰成友, 屈文俊. 2006. 西藏冈底斯成矿带南缘喜马拉雅早期成矿作用——来自冲木达铜金矿床的 Re-Os 同位素年龄证据[J]. 地质通报, 25(12): 1481-1486.

李光明, 芮宗瑶, 王高明, 林方成, 刘波, 佘宏全, 丰成友, 屈文俊. 2005. 西藏冈底斯成矿带甲马和知不拉铜多金属矿床的 Re-Os 同位素年龄及其意义[J]. 矿床地质, 24(5): 481-489.

孟祥金, 侯增谦, 李振清. 2006. 西藏驱龙斑岩铜矿 S、Pb 同位素组成: 对含矿斑岩与成矿物质来源的指示[J]. 地质学报, 80(4): 554-560.

曲晓明, 侯增谦, 黄卫. 2001. 冈底斯斑岩铜矿(化)带: 西藏第二条“玉龙”铜矿带?[J]. 矿床地质, 20(4): 355-366.

曲晓明, 侯增谦, 李佑国. 2002. S、Pb 同位素对冈底斯斑岩铜矿带成矿物质来源和循环的指示[J]. 地质通报, 21(11): 768-776.

曲晓明, 辛洪波, 徐文艺. 2007a. 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.

曲晓明, 辛洪波, 徐文艺. 2007b. 西藏雄村特大型铜金矿床容矿火山岩的成因及其对成矿的贡献[J]. 地质学报, 81(7): 965-971.

芮宗瑶, 侯增谦, 曲晓明, 张立生, 王龙生, 刘玉琳. 2003a. 冈底斯斑岩铜矿成矿时代及青藏高原隆升[J]. 矿床地质, 22(3): 217-225.

芮宗瑶, 陆彦, 李光明, 王龙生, 王义天. 2003b. 西藏斑岩铜矿的前景展望[J]. 中国地质, 30(3): 302-308.

唐菊兴, 陈毓川, 王登红, 王成辉, 许远平, 屈文俊, 黄卫, 黄勇. 2009a. 西藏工布江达县沙让斑岩钼矿床辉钼矿铼-锇同位素年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 83(5): 698-704.

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, 黄勇, 李志军, 邓起, 郎兴海, 陈渊, 张丽. 2009b. 西藏谢通门县雄村铜金矿床元素地球化学特征[J]. 矿床地质, 28(1): 15-28.

唐菊兴, 黎风佶, 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, 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, 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, 王登红, 汪雄武, 钟康惠, 应立娟, 郑文宝, 黎枫佶, 郭娜, 秦志鹏, 姚晓峰, 李磊, 王友, 唐晓倩. 2010b. 西藏甲

GAGS

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.

唐菊兴, 张丽, 黄勇, 王成辉, 李志军, 邓起, 郎兴海, 王友. 2009c. 西藏谢通门县雄村铜金矿主要地质体的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 28(6): 759-769.

王全海, 王保生, 李金高, 姚鹏, 李志, 周祖翼, 程力军, 刘鸿飞. 2002. 西藏冈底斯岛弧及其铜多金属矿带的基本特征与远景评估[J]. 地质通报, 21(1): 35-40.

徐文艺, 曲晓明, 侯增谦, 陈伟十, 杨竹森, 崔艳合. 2005. 西藏冈底斯中段雄村铜金矿床流体包裹体研究[J]. 岩石矿物学杂志, 24(4): 301-310.

徐文艺, 曲晓明, 侯增谦, 杨丹, 杨竹森, 崔艳合, 陈伟十. 2006a. 西藏冈底斯中段雄村铜金矿床成矿流体特征与成因探讨[J]. 矿床地质, 25(3): 243-251.

徐文艺, 曲晓明, 侯增谦, 杨竹森, 潘凤雏, 崔艳合, 陈伟十, 杨丹, 连玉. 2006b. 西藏雄村大型铜金矿床的特征、成因和动力学背景[J]. 地质学报, 80(9): 1392-1406.

张洪涛, 陈仁义, 韩芳林. 2004. 重新认识中国斑岩铜矿的成矿地质条件[J]. 矿床地质, 23(2): 150-163.

张丽, 唐菊兴, 邓起, 黄勇, 郎兴海, LANG J, TAFTI R. 2007. 西藏谢通门县雄村铜(金)矿矿石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.

郑有业, 张刚阳, 许荣科, 高顺宝, 庞迎春, 曹亮, 杜安道, 石玉若. 2007. 西藏冈底斯朱诺斑岩铜矿床成岩成矿时代约束[J]. 科学通报, 52(21): 2542-2548.

References:

DING Feng, LANG Xing-hai, HU Zheng-hua, YANG Huan-huan, WANG Zi-zheng, ZHANG Li. 2012. The Genesis of Mineralized Tuff of No. I Ore Body in the Xiongcun Porphyry Copper-Gold Metallogenic Ore District, Tibet: Evidence from Geochemistry and Sr-Nd-Pb Isotopes[J]. Acta Geoscientica Sinica, 33(4): 546-558(in Chinese with English abstract).

DING Feng, TANG Ju-xing, CUI Xiao-liang. 2006. The indication of S and Pb isotopic compositions and trace elements to ore-forming material source in the Xiongcun Cu-Au deposit, Tibet[J]. Mineral Deposits, 25(Supplement): 399-402(in Chinese with English abstract).

HOU Zeng-qian, QU Xiao-ming, WANG Shu-xian, GAO Yong-fen, DU An-dao, HUANG-wei. 2003. Re-Os Dating for Molybdenite from Porphyry Copper deposit in Gangdese Metallogenic Belt, Xizang: Ore forming time-limit and application of kinetics[J]. Science in China, 33(7): 509-618(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, LIN Bin, 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).

HUANG Yong, DING Jun, TANG Ju-xing, LANG Xing-hai. 2011a. Tectonic setting and source of ore-forming materials of No. I orebody in the Xiongcun copper-gold deposit, Tibet[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 38(3): 306-312(in Chinese with English abstract).

HUANG Yong, DING Jun, TANG Ju-xing, ZHANG Li, LANG Xing-hai. 2012. Genetic Mineralogy of Andalusite in Xiongcun Porphyry Copper-Gold Oredeposit, Tibet[J]. Acta Geoscientica Sinica, 33(4): 510-518(in Chinese with English abstract).

HUANG Yong, TANG Ju-xing, LANG Xing-hai, ZHANG Li, CHEN Yuan. 2011b. Geochemical characteristics of intrusive and volcanic rocks in No. II ore body of Xiongcun copper-gold deposit, Tibet: Constraints on rock genesis and tectonic setting[J]. Mineral Deposits, 30(2): 361-373(in Chinese with English abstract).

HUANG Zhi-ying, LI Guang-ming. 2004. Basic characteristic of porphyry copper deposits and its perspecting in Yaluzangbujiang metallogenic province, Tibet[J]. Geology and Prospecting, 40(1): 1-6.

LANG Xing-hai, CHEN Yu-chuan, TANg Ju-xing, LI Zhi-jun, DENG Qi, HUNG Yong, CHEN Yuan, ZHANG Li. 2010a. A discussion on genesis of Xiongcun porphyry copper-gold deposit, Xietongmen, Xizang(Tibet)-evidences from elements spatial distribution characteristics[J]. Geological Review, 56(3): 384-402(in Chinese with English abstract).

LANG Xing-hai, CHEN Yu-chuan, TANG Ju-xing, LI Zhi-Jun, HUANG Yong, WANG Chen-hui, CHEN Yuan, ZHANG Li. 2010b. Characteristics of rock geochemistry of orebody No. I

CAGS

in the Xiongcun porphyry copper-gold metallogenic district, Xietongmen county, Tibet: Constraints on metallogenic tectonic settings[J]. Geology and Exploration, 46(5): 887-898(in Chinese with English abstract).

LANG Xing-hai, TANG Ju-xing, CHEN Yu-chuan, LI Zhi-jun, HUANG Yong, WANG Chen-hui, CHEN Yuan, ZHANG Li. 2010c. Re-Os dating of molybdenite from orebody No. II of the Xiongcun 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, CHEN Yu-chuan, LI Zhi-jun, HUANG Yong, WANG Cheng-hui, CHEN Yuan, ZHANG li, ZHOU yun. 2012a. Neo-Tethys mineralization On the southern margin of the Gangd ise metalogenic belt, Tibet, China: Evidence from Re-Os ages of XiongCun orebody No. I[J]. Earth Science: Journal of China University of GeoScience, 37(3): 515-525(in Chinese with English abstract).

LANG Xing-hai, TANG Ju-xing, LI Zhi-jun, DONG Shu-yi, DING Feng, WANG Zi-zheng, ZHANG Li, HUANG Yong. 2012b. Geochemical Evaluation of exploration potential in the Xiongxcun Copper-gold district and its Peripheral area, Xietongmen county, Tibet[J]. Geology and Exploration, 48(1): 12-23(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 Xiongcun porphyry copper-gold metallogenic ore district, Xietongmen county, Tibet[J]. Mineral Deposits, 30(2): 327-338(in Chinese with English abstract).

LI Gong-ming, RUI Zong-yao, WANG Gao-ming, LIN Fang-chen, LIU Bo, SHE Hong-quan, FENG Chen-you, QU Wen-jun. 2005. Molybdenite Re-Os dating of Jiama and Zhibula polymetallic copper deposits in Gangdese metallogenic belt of Tibet and its significance[J]. Mineral Deposits, 24(5): 481-489(in Chinese with English abstract).

LI Guang-ming, LIU Bo, SHE Hong-quan, FENG Chen-you, QU Wen-un. 2006. Early Himalayan mineralization On the southern margin of the Gangdise metallogenic belt, Tibet, China: Evidence from Re-Os ages of the Chongmuda skarn-type Cu-Au deposit[J]. Geological Bulletin of China, 25(12): 1481-1486(in Chinese with English abstract).

MENG Xiang-jin, HOU Zeng-qian, LI Zhen-qing. 2006. Sulfur and Lead Isotope Compositions of the Qulong Porphyry Copper Deposit, Tibet: Implications for the Sources of Plutons and Metals in the Deposit[J]. Acta Geological Sinica, 80(4): 554-560(in Chinese with English abstract).

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.

QIN Ke-zhang, LI Guang-ming, LI Jin-xiang, DING Kui-shou, XIE Yi-han. 2005. The Xiongcun Cu-Zn-Au deposit in the western segment of the Gangdise, Tibet: a Mesozoic VHMS-type deposit cut by late veins, in Mao J and Bierlein FP, eds., Mineral deposit research: meeting the globe challenge[J]. Springer, 2: 1255-1258.

QU Xiao-ming, HOU Zeng-qian, HUANG Wei. 2001. Is Gangdese porphyry copper belt the second “Yulong” copper belt?[J]. Mineral Deposts, 20(4): 355-366(in Chinese with English abstract).

QU Xiao-ming, HOU Zeng-qian, LI You-guo. 2002. Implications of S and Pb isotopic compositions of the Gangdese porphyry copper belt for the ore-forming material source and materal recycling within the orogenic belt[J]. Geological Bulletin of China, 21(11): 768-776(in Chinese with English abstact).

QU Xiao-ming, HOU Zeng-qian, ZAW K, LI You-guo. 2007. Characteristics and genesis of Gangdese porphyry copper deposits in the southern Tibetan Plateau: Preliminary geochemical and geochronological results[J]. Ore Geology Reviews, 31(1-4): 205-223.

QU Xiao-ming, XIN Hong-bo, XU Wen-yi. 2007a. Collation of age of ore-hosting volcanics in Xiongcun superlarge Cu-Au deposit on basis of three zircon U-Pb SHRIMP ages[J]. Mineral Deposits, 26(5): 513-518(in Chinese with English abstract).

QU Xiao-ming, XIN Hong-bo, XU Wen-yi. 2007b. Petrogenesis of the ore-hosting volcanic rocks and their contribution to mineralization in Xiongcun superlarge Cu-Au deposit, Tibet[J]. Mineral Deposits, 81(7): 964-971(in Chinese with English abstract).

ROLLINSON H R. 1993. Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation[M]. Harlow, Essex, England:

CAGS

Longman Scientific & Technical.

RUI Zong-yao, HOU Zeng-qian, QU Xiao-ming, ZHANG Li-sheng, WANG Li-sheng, LIU Yu-Lin. 2003a. Metallogenetic epoch of Gangdese porphyry copper belt and uplift of Qinghai-Tibet plateau[J]. Mineral Deposits, 22(3): 217-225(in Chinese with English abstract).

TAFTI R, MORTENSEN J K, LANG J R. 2006. Preliminary Geochronology Report for the Xietongmen Deposit Area, Tibet, China[R]. Private Report to Continental Minerals Corp.

TANG Ju-xiang, CHEN Yu-chuan, WANG Deng-hong, WANG Chen-hui, XU Yuan-pin, QU Wen-jun, HUANG Wei, HUANG Yong. 2009a. Re-OS Dating of Molybdenite from the Sharang porphyry Molybdenite Deposit in Gongbujiangda county, Tibet and Its Geological significance[J]. Acta Geologica Sinica, 83(5): 698-704(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, HUANG Yong, LI Zhi-jun, DENG Qi, LANG Xing-hai, CHEN Yuan, ZHANG Li. 2009b. Element geochemical characteristics of Xiongcun 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 Xiongcun copper-gold deposit, Xietongmen county, Tibet: Evidence from Zircon U-Pb ages and Re-Os age of molybdenite[J]. Mineral Deposits, 29(3): 161-475(in Chinese with English abstract).

TANG Ju-xing, LI Zhi-jun, ZHANG Li, HUANG Yong, DENG Qi, LANG Xing-hai, LANG J, TAFTI R. 2007. Geological characteristic of the Xiongcun type porphyry-epithermal copper-gold deposit[J]. Acta Mineralogica Sinica, (Z1): 127-128(in Chinese with English abstract).

TANG Ju-xing, LI Zhi-jun, ZHONG Kang-hui, SHUN Chuan-min, LIU Wen-Zhou, YE Jiang, XU Shi-hai, GUO Ke, DING feng, GUO Wen-bo, ZHANG Ting-bin, ZHANG li, WANG Zhi-hui, MAO yan-shi, GUO Na, Lang Xing-hai, LIN Juan, ZHANG Feng, CUI Xiao, HUANG Hou-hui, HUANG Yong, WANG You. 2006. Exploration report of Xiongcun copper deposit, Xietongmen County, Xizang(Tibet)[R]. Chengdu: Chancery of Chengdu university of technology(in Chinese).

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, LANG Xing-hai, WANG You. 2009c. 40Ar/39Ar isotope ages of main geological bodies in Xiongcun copper-gold deposit, Xietongmen County, Tibet, and their geological significance[J]. Mineral Deposits, 28(6): 759-769(in Chinese with English abstract).

WANG Quan-hai, WANG Bao-sheng, LI Jin-gao, YAO Peng, LI zhi, ZHOU Zu-yi, CHENG Li-jun, LIU Hong-fei. 2002. Basic features and ore prospect evaluation of the Gangdise island arc, Tibet, and its copper polymetallic ore belt[J]. Geological Bulletin of China, 21(1): 35-40(in Chinese with English abstract).

XU Wen-yi, QU Xiao-ming, HOU Zeng-qian, CHEN Wei-shi, YANG Zhu-sen, Cui Yan-he. 2005. Fluid inclusion studies of the Xiongcun copper-gold deposit in central Gangdese, Tibet[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 24(4): 301-310(in Chinese with English abstract).

XU Wen-yi, QU Xiao-ming, HOU Zeng-qian, YANG Dan, YANG Zhu-sen, CUI Yan-he, CHEN Wei-shi. 2006a. Ore-forming fluid characteristics and genesis of Xiongcun copper-gold deposit in central Gangdise, Tibet[J]. Mineral Deposits, 25(3): 243-251(in Chinese with English abstract).

XU Wen-yi, QU Xiao-ming, HOU Zeng-qian, YANG Zhu-sen, PAN Feng-Chu, CUI Yan-he, CHEN Wei-shi, YANG Dan, LIAN Yu. 2006b. The Xiongcun copper-gold deposit in Tibet: characteristics, genesis, and geodynamic application[J]. Acta Geologica Sinica, 80(9): 1392-1406(in Chinese with English abstract).

ZARTMAN R E, DOE B R. 1981. Plumbotectonics-the model[J]. Tectonophysics, 75(1-2): 135-162.

ZHANG Hong-tao, CHEN Ren-yi, HAN Fang-lin. 2004. Reunder-

CAGS

standing of Metallogenic Geological Conditions of Porphyry Copper Deposits its in China[J]. Mineral Deposits, 23(2): 150-163(in Chinese with English abstract).

ZHANG Li, TANG Ju-xing, DENG Qi, HUANG Yong, LANG Xing-hai, LANG J, TAFITI R. 2007. Study on mineral compositions of the ore from the Xiongcun Cu(Au) deposit in Xietongmen County, Tibet, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 34(3): 318-326(in Chinese with English abstract).

ZHENG You-ye, ZHANG Gang-yang, XU Rong-ke, GAO Shun-bao, PANG Ying-chun, CAO Liang, DU An-dao, SHI Yu-ruo. 2007. Age limit of ore-forming and rock-forming in Zhuruo porphyry copper deposit, Gangdese, Tibet[J]. Chinese Science Bulletin, 52(21): 2542-2548(in Chinese with English abstract).

ZHU Lai-min, ZHANG Guo-wei, CHEN Yan-jing, DING Zhen-ju, GUO Bo, WANG Fei, LEE B. 2011. Zircon U-Pb ages and geochemistry of the Wenquan Mo-bearing granitioids in West Qinling, China: Constraints on the geodynamic setting for the newly discovered Wenquan Mo deposit[J]. Ore Geology Reviews, 39(1-2): 46-62.

国际月球科学著作中文版“月球新观”出版发行

由中国地质科学院赵文津院士带领的国土资源部探月研究小组翻译、吴传璧教授校订，赵文津院士审订的国际著名月球科学研究论著“NEW VIEWS OF THE MOON”(原书共 721 页)的中文版《月球新观》于 2012 年 5 月在地质出版社出版发行。该论著共 758 页并附有大量图表，历时约 4 年翻译完成。赵文津院士为本书写了前言。

该书汇集了国际上几十位行星科学家多年的工作成果和经验总结。在美国“阿波罗 Apollo”载人登月计划、苏联“月球 Luna”月球采样计划、诸多遥感卫星探测计划、月球陨石研究等多方面研究成果的基础上，作者们对这些月球的探测成果进行了综合研究和深入总结，论述了人类对月球科学认识产生的重大变化，强调了这些探测成果的重要性。本书综合研究了这些行星探测结果，给出了一个综合研究的方法学事例，提出了未来月球科学研究的重大科学问题和未来其他行星探测的指导思路。

该著作得到了美国“矿物学和地球化学述评”协会的版权授予，并得到了原书著者 Bradley L. Jolliff, Mark A. Wieczoreck, Charles K. Shearer, Clive R. Neal 等的大力支持。科学家们希望中国的同行能通过本书了解当前月球前沿科学和方法学理论基础，以推动中国行星科学的发展。

本刊编辑部 采编

CAGS