

doi:10.3799/dqkx.2012.00

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

郎兴海^{1,3}, 唐菊兴², 陈毓川², 李志军¹, 黄勇^{1,3}, 王成辉², 陈渊³, 张丽⁴, 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. 西藏天圆矿业资源开发有限公司, 西藏日喀则 857000

4. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川成都 610081

摘要: 雄村矿集区是近年来西藏冈底斯成矿带内发现的一处超大型铜金矿集区, 该矿集区位于冈底斯造山带中段南缘, 其南侧紧邻日喀则弧前盆地。最新的勘探资料表明, 雄村矿集区由I、II、III号斑岩型铜金矿体组成。本文以雄村I号矿体为研究对象, 获得I号矿体中4件辉钼矿样品的Re-Os模式年龄范围非常一致, 其变化范围为 $160.1 \pm 2.3 \sim 163.4 \pm 2.3$ Ma, 等时线年龄为 161 ± 11 Ma(MSWD=4.2), 误差较大, 而平均模式年龄 161.5 ± 2.7 Ma(MSWD=2.0), 误差较小, 因此, 雄村I号矿体的形成时代为 $160.1 \pm 2.3 \sim 163.4 \pm 2.3$ Ma, 最有可能的形成年龄应为 161.5 ± 2.7 Ma, 该年龄代表了雄村I号矿体的成矿年龄。这与前人获得的含矿斑岩(含眼球状石英斑晶的角闪石英闪长玢岩)的锆石U-Pb年龄(164.3 ± 1.9 Ma)基本吻合, 表明矿床形成于中侏罗世。同时, 雄村I号矿体的含矿斑岩体和赋矿火山岩具有与岛弧火成岩类似的地球化学特征, 如: 相对富集LREE、LILE, 亏损HREE、HFS, 缺少或微弱负Eu异常。综合来看, 雄村I号矿体形成于新特提斯洋俯冲期(>65 Ma), 产出的构造背景为新特提斯洋向北俯冲形成的岛弧环境, 属岛弧型斑岩铜金矿床。

关键词: Re-Os年代学; 辉钼矿; 斑岩; 雄村; 西藏; 新特提斯洋。

中图分类号:

文章编号: 1000-2383(2012)03-0000-11

收稿日期: 2011-04-02

Neo-Tethys Mineralization on the Southern Margin of the Gangdise Metallogenic Belt, Tibet, China: Evidence from Re-Os Ages of Xiongcun Orebody No. I

LANG Xing-hai^{1,3}, TANG Ju-xing², CHEN Yu-chuan², LI Zhi-jun¹, HUANG Yong^{1,3},
WANG Cheng-hui², CHEN Yuan³, ZHANG Li⁴, ZHOU Yun¹

1. College Of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

3. Xizang (Tibet) Tianyuan Minerals Exploration Ltd., Shigatse 857000, China

4. Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu 610081, China

Abstract: Xiongcun metallogenic district, one of the large-size metallogenic areas discovered along Gangdise metallogenic belt, is located in the middle of the southern margin of Gangdise orogenic belt. Its south margin is Shigatse forearc basin. The latest exploration data indicate that Xiongcun metallogenic district is composed of No. I, II and III porphyry copper-gold orebody. In this paper, No. I Xiongcun orebody is taken as the research subject. The Re-Os model ages of molybdenite (4 samples) from No. I Xiongcun orebody are similar, ranging from 160.1 ± 2.3 Ma to 163.4 ± 2.3 Ma; its isochron age is 161 ± 11 Ma (MSWD=4.2) and error is big; its weight average age is 161.5 ± 2.7 Ma (MSWD=2.0) and error is small. So ore forming age of No. I Xiongcun ore is $160.1 \pm 2.3 \sim 163.4 \pm 2.3$ Ma and the most probability is 161.5 ± 2.7 Ma. This age is similar to Zircon U-Pb age (164.3 ± 1.9 Ma) of mineralization porphyry (hornblende quartz diorite porphyry with big quartz eyes), so the ore forming age of Xiongcun orebody No. I is middle Jurassic. In addition, mineralized porphyry and tuff show geochemical characteristics

基金项目:国家自然科学基金(No. 41172077);国家“973”项目(No. 2011CB403103);天圆公司项目(No. 2006G-07)。

作者简介:郎兴海(1982—),男,在读博士研究生,主要从事矿床学、矿产普查与勘探的研究工作。E-mail: langxinghai@126.com

similar to those of volcanic rocks in an arc or active continental margin, such as relative enrichment of LREE and LILE, depletion of HFSE, HFS and Eu anomalies. We conclude that northward subduction of Neo-Tethys resulted in mineralization of the NO. I Xiongcun orebody in the middle Jurassic; the tectonic setting is the island-arc environment. The deposit type of No. I Xiongcun Orebody is island arc type porphyry copper-gold deposit.

Key words: Re-Os dating; molybdenite; porphyry; Xiongcun; Tibet; Neo-Tethys Ocean.

雄村矿集区是近年来西藏冈底斯成矿带内发现的一处超大型铜金矿集区,自2002年以来,在该矿集区先后发现了I号、II号和III号斑岩型铜金矿体(图1),3个矿体均达到大型以上规模,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,2006b;丁枫等,2006;曲晓明等,2007a,2007b;唐菊兴等,2007,2009a,2009b;张丽等,2007;郎兴海等,2010a,

2010b, 2010c, 2011),但由于对其成矿时代未进行精确的厘定,使得人们对该矿体的成矿时代和成矿构造背景存在较大的争议:徐文艺等(2006b)通过雄村I号矿体的热液绢云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年获得绢云母的形成年龄为 38.11 ± 0.9 Ma,提出雄村I号矿体形成于主碰撞晚期的间歇性松弛($52\sim 41$ Ma)向晚碰撞早期的挤压隆升($40\sim 38$ Ma)转换阶段;侯增谦等(2006a)认为雄村I号矿体形成于主碰撞造

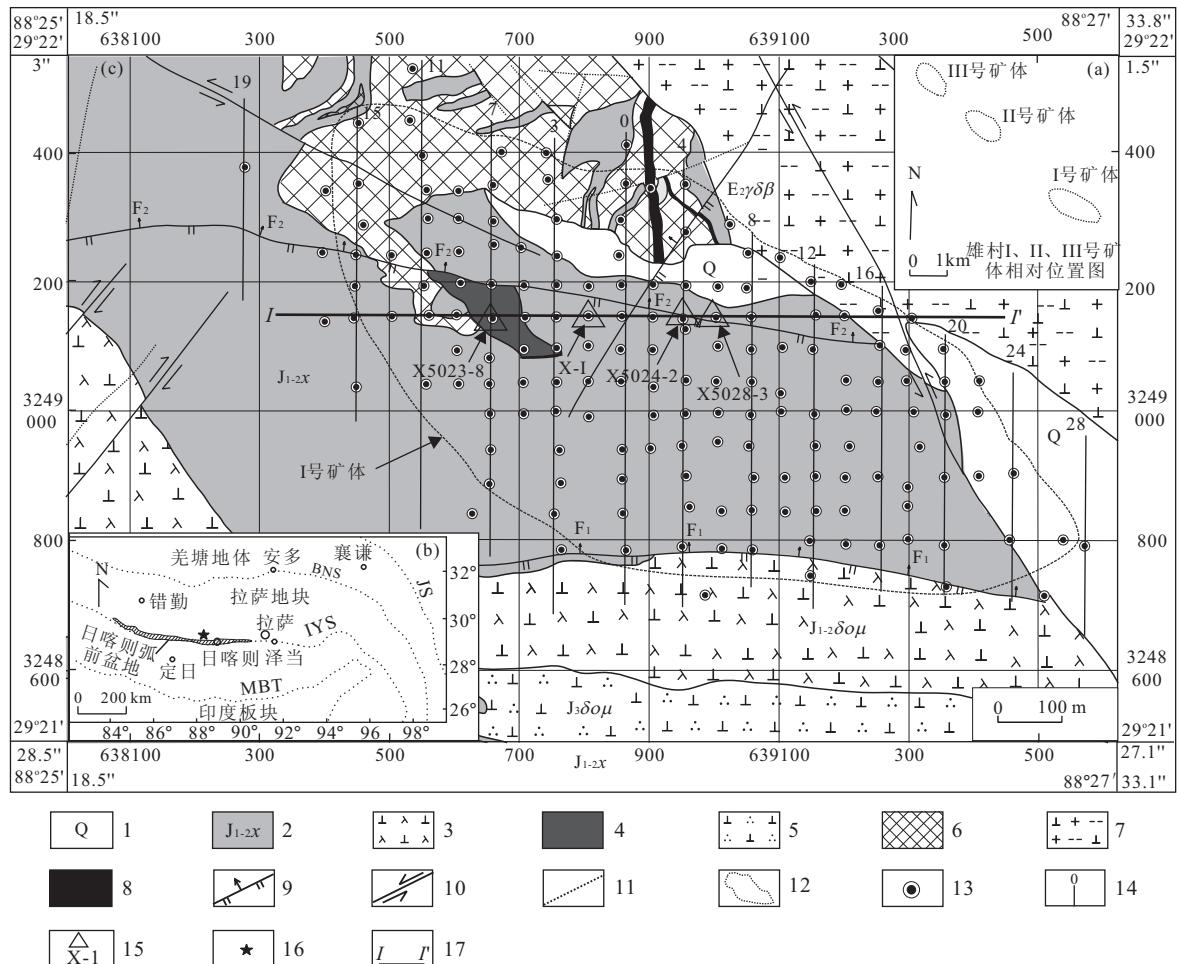


图 1 雄村 I 号矿区地质图(据唐菊兴等,2006;Oliver,2006 修编)

Fig. 1 Geological map of Xiongcun orebody No. I

1. 全新统冲积物—崩积物; 2. 中一下侏罗统雄村组; 3. 早一中侏罗世角闪石英闪长玢岩; 4. 中一晚侏罗世含眼球状石英斑晶的角闪石英闪长玢岩; 5. 晚侏罗世石英闪长玢岩; 6. 斜长闪长玢岩; 7. 始新世黑云母花岗闪长岩; 8. 始新世花岗细晶岩脉; 9. 逆冲断层; 10. 平移断层; 11. 产状或性质不明断层; 12. 雄村 I 号矿体范围; 13. 钻孔位置; 14. 勘探线及编号; 15. 采样位置及编号; 16. 雄村矿集区位置; 17. 剖面位置; JS. 金沙江缝合带; BNS. 班公湖—怒江缝合带; IYS. 印度河—雅鲁藏布江缝合带; MBT. 主边界逆冲断裂带。

山成矿环境($65\sim41$ Ma),属于与挤压抬升有关的斑岩型铜金矿床;Tafti(2006)采用锆石U-Pb SHRIMP测年获得I号矿体的含矿斑岩(含眼球状石英斑晶的角闪石英闪长玢岩)的年龄为 164.3 ± 1.9 Ma,揭示了雄村I号矿体可能形成于新特提斯洋俯冲期;唐菊兴等(2009b,2010)采用锆石U-Pb SHRIMP和黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年获得I号矿体中含矿凝灰岩年龄为 176 ± 5 Ma、不含矿的角闪石英闪长玢岩年龄为 173 ± 3 Ma、黑云母花岗闪长岩(成矿后岩体)年龄为 46.96 ± 0.42 Ma、云煌岩(成矿后侵入岩脉)年龄为 49.59 ± 0.58 Ma,并综合前人对矿区不同地质体中绢云母、长石的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年结果(Tafti,2006;徐文艺,2006b),认为不同形成时代、不同产出空间、不同矿化程度地质体的云母类、长石类矿物的Ar-Ar同位素年龄具有高度一致性(集中于 $46\sim50$ Ma),产生这种现象的原因是属谢通门大岩基一部分的黑云母花岗闪长岩的侵位致使各地质体发生显著的退变质所致,进而认为各地质体中云母类矿物的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄不能作为成矿年龄,提出雄村I号矿体形成于新特提斯洋早期俯冲阶段的岛弧环境。为此,本文基于对矿区详细的野外考察,首次利用雄村I号矿体中的辉钼矿进行Re-Os同位素测年,对雄村I号矿体的形成时代进行精确厘定,探讨其成矿构造背景,为深入探讨冈底斯成矿带新特提斯洋俯冲期岩浆活动与金属成矿作用的关系,提供了重要的年龄依据。

1 雄村I号矿区地质概况

雄村I号矿区位于拉萨地体南缘的冈底斯火山—岩浆弧的中段南缘,其南侧紧邻日喀则弧前盆地(图1)。

雄村I号矿区出露地层(图1)主要为中一下侏罗统雄村组(J_{1-2x})和全新统崩积物—冲积物(唐菊兴等,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,2010)。

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,2010)。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,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和2b),含量为10%~15%(有时大于15%),粒径介于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,2009b,2010),煌斑岩脉侵位时间为 49.59 ± 0.58 Ma(唐菊兴等,2009b),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F₁主断层展布于矿区南部,F₂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 $265^\circ\sim280^\circ$ 走向,倾向北,倾角 $40^\circ\sim75^\circ$ 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

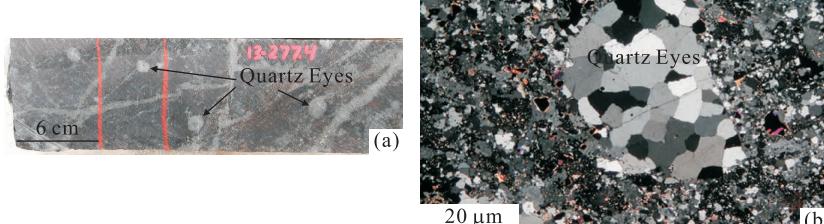


图2 雄村I号矿体含矿斑岩的手标本及偏光显微镜下照片

Fig. 2 Photos of mineralized porphyry hand specimen and polarizing microscope from Xiongcun orebody No. I

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)

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 F₁、F₂ 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,属斑岩型铜金矿床。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 1 000~1 400 m,走向北西—南东(图 1)。在剖面上呈似层状一层状,倾向北东,倾角 40°~53°(图 3)。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,已控制 104.3 万 t 铜、144.2 t 金以及 917.5 t 银(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,热液蚀变作用可分为早、晚两期,早期蚀变经历了弱的钾硅酸盐化蚀变阶段和强烈的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(郎兴海等,2011)。由斑岩体中心向外,蚀变分带依次可划分为石英网脉带→红柱石次生石英岩化带→黄铁绢英岩化带→青磐岩化带。主要赋矿蚀变带为石英网脉带和红柱石次生石英岩化带。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。雄村 I 号矿体的矿化主要为浸染—脉状或网脉状,主成矿元素以 Cu 为主,伴生有用组分为 Au、Ag、Zn、Pb 等,伴生有害元素(如 As、Sb、Bi 等)含量极少。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。由斑岩体中心向外,矿化分带依次可划分为黄铁矿、黄铜矿、(磁黄铁矿)→黄铁矿、磁黄铁矿、(黄铜矿)→黄铁矿→闪锌矿;主要脉体的分布可依次划分为石英—硫化物脉→石英—红柱石—黑云母土白云母—硫化物脉→黄铁矿脉→多金属硫化物脉,主要赋矿脉为石英—硫化物脉和石英—红柱石—黑云母土白云母—硫化物脉。

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、热液成

矿期、矽卡岩期、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、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 Re-Os 同位素年龄

2.1 样品采取与测试方法

本文年龄测试所用的 4 件辉钼矿样品 X-I、X5023-8、X5024-2 和 X5028-3 均采自雄村 I 号矿体的钻孔岩芯(图 1 和图 3),辉钼矿均产于含矿的石英硫化物脉中,辉钼矿含量较低。上述样品经分离、挑选后,辉钼矿纯度达 99%。其 Re-Os 同位素的化学分离和等离子体质谱(ICP-MS)测试均在国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室完成。对于 Re:选择质量数为 185 和 187,用 190 监测。对于 Os:选择质量数为 186,187,188,189,190 和 192,用 185 监测 Re。空白水平为 Re=0.0055 ng/g, Os 普 =0.00011 ng/g,¹⁸⁷Os=0.00005 ng/g。1 ng/g Re 灵敏度达到 20 000 cps, 0.3 ng/g 氧化介质中 Os 灵敏度 20 000 cps, 同位素稀释法质谱测定比值精度 Re、Os 均控制在 0.5% 以下。分析方法详见有关文献(杜安道等,1994; Du *et al.*, 1995, 2004; Shirey and Walker, 1995; 屈文俊和杜道安,2003)。

2.2 测试结果

样品中 Os 的测定值低于或接近于不确定度(表 1),但这不会影响到模式年龄,模式年龄主要由¹⁸⁷Re 和¹⁸⁷Os 决定,因此,即使普通 Os 测得不准也不会影响模式年龄的计算精度,普通 Os 含量与¹⁸⁷Os 相比完全可以忽略。Re、Os 含量的不确定度包括样品和稀释剂的称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测量的分馏校正误差、待分析样品同位素比值测量误差,置信水平 95%。模式年龄的计算误差包括稀释剂标定误差、质谱测量误差及质量分馏校正误差等,还包括¹⁸⁷Re 衰变常数 λ 的不确定度(1.02%),置信水平 95%,按下式计算模式年龄:

$$t = \frac{1}{\lambda} \left[\left(1 + \frac{^{187}\text{Os}}{^{187}\text{Re}} \right) \right],$$

其中 λ (¹⁸⁷Re 衰变常数)=1.666×10⁻¹¹a⁻¹。

雄村 I 号矿体 4 件辉钼矿样品的 Re-Os 同位素测试结果列于表 1,辉钼矿¹⁸⁷Re 的含量为

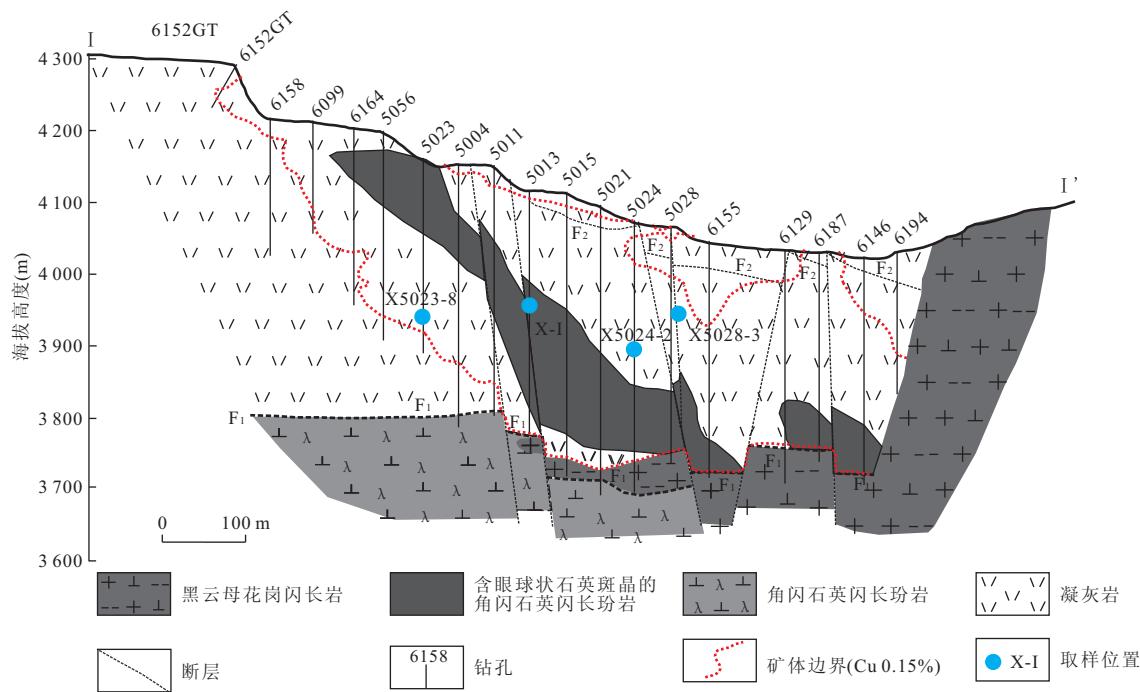


图3 雄村1号矿区I-I'地质剖面图(据郎兴海等,2011修改)

Fig. 3 I-I' geological profile in the Xiongcuo orebody No. I

表1 雄村I号矿体中辉钼矿Re-Os同位素数据

Table 1 Re-Os isotopic datum of molybdenite from Xiongcuo orebody No. I

| 原样名 | 样重(g) | Re(ng/g) | | C普 Os(ng/g) | | ¹⁸⁷ Re(ng/g) | | ¹⁸⁷ Os(ng/g) | | 模式年龄(Ma) | |
|---------|----------|------------|---------|-------------|--------|-------------------------|--------|-------------------------|------|----------|------|
| | | 测定值 | 不确定度 | 测定值 | 不确定度 | 测定值 | 不确定度 | 测定值 | 不确定度 | 测定值 | 不确定度 |
| X-I | 0.000 46 | 12 181 839 | 106 273 | 2. 392 | 4. 304 | 7 656 529 | 66 796 | 20 483 | 165 | 160. 4 | 2. 3 |
| X5023-8 | 0.000 49 | 5 077 145 | 42 908 | 2. 713 | 1. 664 | 3 191 087 | 26 969 | 8 522 | 73 | 160. 1 | 2. 3 |
| X5024-2 | 0.000 1 | 5 276 867 | 42 955 | 2. 663 | 4. 222 | 3 316 617 | 26 999 | 9 040 | 78 | 163. 4 | 2. 3 |
| X5028-3 | 0.001 14 | 9 760 974 | 137 051 | 1. 455 | 1. 496 | 6 134 968 | 86 144 | 16 677 | 133 | 162. 9 | 2. 9 |

注:测试单位,国家地质实验测试中心Re-Os同位素实验室;测试人,屈文俊。

3 316 617~7 656 529 ng/g,¹⁸⁷Os的含量为8 522~20 483 ng/g. 获得辉钼矿模式年龄为160. 1±2. 3~163. 4±2. 3 Ma,而且4个数据都十分接近。采用ISOPLOT软件的模式1(Ludwig, 1999),对所获得的数据进行等时线计算,取¹⁸⁷Re衰变常数 $1.666 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ (Simoliar *et al.*, 1996),得到等时线年龄为161±11 Ma(MSWD=4. 2)(图4a),而模式年龄加权平均值为161. 5±2. 7 Ma(MSWD=2. 0)(图4b),等时线年龄与加权平均年龄在误差范围内一致,显示了数据的可靠性。

3 讨论

3.1 成矿时代

从本文的辉钼矿测年结果可以看出,辉钼矿模式年龄为160. 1±2. 3~163. 4±2. 3 Ma,4个数据都十

分接近,等时线年龄为161±11 Ma(MSWD=4. 2)(图4a),误差较大,而平均模式年龄161. 5±2. 7 Ma(MSWD=2. 0)(图4b),误差较小,因此雄村形成时代为160. 1±2. 3~163. 4±2. 3 Ma,最有可能的成矿年龄应为161. 5±2. 7 Ma. 该年龄与雄村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)中锆石的U-Pb SHRIMP年龄(164. 3±1. 9 Ma)(Tafti, 2006)吻合得很好。含矿斑岩中锆石的U-Pb SHRIMP年龄(164. 3±1. 9 Ma)和辉钼矿Re-Os年龄(161. 5±2. 7 Ma)很好地界定了雄村I号矿体含矿岩体的形成时间(锆石U-Pb年龄)及其成矿时代(辉钼矿Re-Os年龄),表明矿床形成于中侏罗世。

3.2 成矿构造背景

冈底斯造山带位于班公湖—怒江缝合带(BNSZ)与雅鲁藏布江缝合带(YZSZ)之间,为一条近东西向的狭长地域,长约2 000 km,南北宽150~

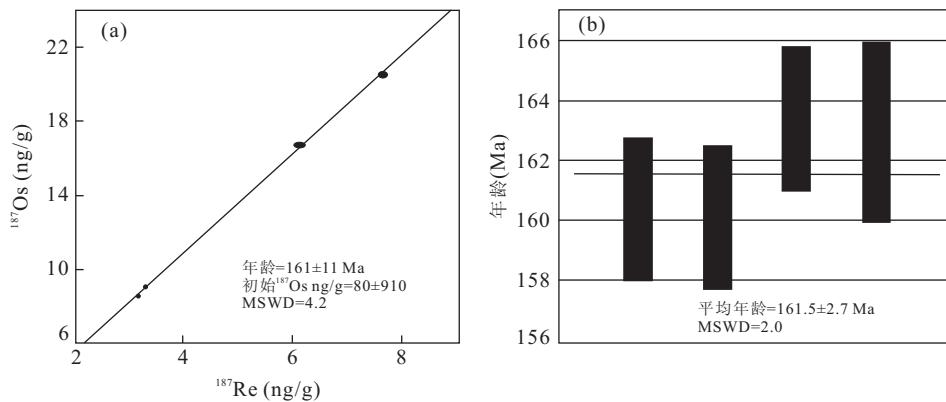


图 4 雄村 I 号矿体中辉钼矿 Re-Os 等时线年龄和模式年龄加权平均值

Fig. 4 Re-Os isochrones age and Weight average age of molybdenite from Xiongcun orebody No. I

300 km, 面积达 45 000 km² 的巨型构造—岩浆岩带, 该带记录了青藏高原自古特提斯至新特提斯以来的构造演化和印度—亚洲大陆碰撞造山作用等重要地质信息而备受地学界的关注(莫宣学等, 2005; 潘桂堂等, 2006; 王立全等, 2008; 朱弟成等, 2008). 研究表明, 冈底斯带由南向北可划分为南冈底斯(即传统的冈底斯)、冈底斯弧背断隆带(即隆格尔—念青唐古拉复合古岛弧带)、中冈底斯和北冈底斯(朱弟成等, 2008, 2009). 南冈底斯构造—岩浆活动与新特提斯洋壳向北俯冲和印度—欧亚大陆碰撞作用有关(莫宣学等, 2005; 朱弟成等, 2008, 2009), 雄村矿集区即位于南冈底斯中段南缘, 其南侧紧邻日喀则弧前盆地. 一般认为 65 Ma 新特提斯洋闭合, 印度—亚洲板块开始碰撞(Mo *et al.*, 2002; 莫宣学等, 2003, 2005; Ding *et al.*, 2005; 侯增谦和王二七, 2008), 但新特提斯洋是何时形成并开始俯冲的? 一直是地质学界争论的焦点. 一些学者根据鲁藏布江缝合带残存的蛇绿岩(120 Ma 左右)认为新特提斯洋洋壳的形成不早于晚三叠世(朱占祥等, 1996; 钟大赉等, 1999), 俯冲开始于晚侏罗世之后(Honegger *et al.*, 1982; Pearce *et al.*, 1984; 耿全如等, 2005, 2006; 朱弟成等, 2009), 并把侏罗世—早白垩世桑日群内具岛弧性质的火山岩作为新特提斯洋洋壳的形成时间. 另外, 冈底斯带俯冲型花岗岩类形成时间为 127~70 Ma(莫宣学等, 2005), 似乎可以合理解释以上认识. 然而, 近年来的研究揭示出多组年龄值的存在, 例如: 罗布莎、昂仁、休古嘎布岩体辉长岩墙的 Sm-Nd 矿物内部等时线年龄值为 177 Ma、166 Ma、173 Ma(Zhou *et al.*, 2002; 周肃, 2002); 当穷—休古嘎布放射虫硅质岩中放射虫时代为晚二叠世(莫宣学等, 2005); 乌郁盆地获得一个黑云母花岗

岩的锆石 U-Pb 年龄为 188.1 Ma(Chu *et al.*, 2006); 冈底斯南缘的尼木大桥东、西两侧获得一个变形花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为 178 Ma(张宏飞等, 2007); 拉萨以东的达孜县至工布江达县一带叶巴组火山岩中获得一个流纹岩的锆石 U-Pb 年龄为 174 Ma(董彦辉等, 2006); 冈底斯火山岩浆弧南亚带的门巴花岗岩获得锆石 U-Pb 年龄为 207 Ma(和钟铧等, 2006); 南冈底斯中段南缘的雄村矿集区中获得凝灰岩、角闪石英闪长玢岩和含眼球状石英斑晶的角闪石英闪长玢岩的锆石 U-Pb 年龄分别为 176 ± 5 Ma(唐菊兴等, 2010)、173 ± 3 Ma(唐菊兴等, 2010)和 164.3 ± 1.9 Ma(Tafti, 2006). 这些新的年代学信息表明, 虽然不能确切地厘定新特提斯洋洋壳的最早打开时间, 但至少可以说明该洋洋壳在中晚三叠世就开始了其扩张历史, 其开始向北俯冲于拉萨地块之下的时代不晚于早侏罗世.

本次工作所获得的雄村 I 号矿体的成岩、成矿时代为 164.3 ± 1.9 Ma(Tafti, 2006) 和 161.5 ± 2.7 Ma, 对应于新特提斯洋洋壳向北俯冲于拉萨地块的时间, 含矿斑岩体和赋矿火山岩的岩石地球化学特征显示出岛弧岩浆岩的特征, 如: 相对富集 LREE、LILE, 亏损 HREE、HFS, 缺少或微弱负 Eu 异常(曲晓明等, 2007a, 2007b; 郎兴海, 2010b). 这说明雄村 I 号矿体形成于新特提斯洋洋壳向北俯冲形成的岛弧环境, 记录了新特提斯洋洋壳期的岩浆—成矿事件, 属岛弧型斑岩铜金矿床(郎兴海等, 2010a). 同时, 郎兴海等(2010c)获得雄村 II 号矿体的辉钼矿 Re-Os 平均模式年龄 172.6 ± 2.1 Ma(MSWD=3.4), 而目前冈底斯成矿带上发现矿床的成矿时代主要集中于 40~51 Ma 和 12~21 Ma(郎兴海等, 2010c), 成矿作用与印度—亚洲大陆碰撞过程中的构造岩浆活动有

关(<65 Ma)。因此,雄村矿集区I、II号矿体的成矿时代明显早于冈底斯成矿带上发现的其它矿床,其记录了该带上最早的成矿作用。同时,雄村矿集区I、II号矿体成矿时代的精确厘定,证实了冈底斯成矿带发育从新特提斯洋俯冲到印度—亚洲大陆碰撞构造岩浆活动有关的完整的成矿演化过程,完善了冈底斯成矿带的成矿谱系,也进一步表明了新特提斯洋向北俯冲于拉萨地块之下的时代应该不晚于早侏罗世。这些新认识对冈底斯成矿带的构造岩浆演化和成矿理论研究以及地质找矿工作均具有重要意义。

形成雄村I号矿体的构造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, Panguna, BatuHijau, OK Tedi等斑岩型铜金矿床(Kerrich *et al.*, 2000),这些矿床的形成与大洋岩石圈俯冲及其产生的弧岩浆系统有关(Sillitoe, 1972; Kerrich *et al.*, 2000; Singer *et al.*, 2005; Richards, 2009),汇聚板块边缘的挤压构造背景有利于形成斑岩铜矿床(Sillitoe, 1997),而大洋板片的低角度俯冲非常有利于挤压背景的形成(Cooke *et al.*, 2005),俯冲大洋板片大规模脱水,形成富含溶解质和富氧逸度的流体交代上覆地幔楔,诱发其部分熔融形成了初始岩浆,该岩浆因相对富水而具有高氧逸度(Richards, 2003),从而使硫难以以硫化物的形式存在,促使成矿金属铜、金等向岩浆中富集(Candela, 1992; Mungall, 2002; Richards, 2003, 2005),并与岩浆一起上升到地壳浅部,当岩浆冷凝结晶时,金属物质就与残留的岩浆热液一起运移到斑岩体顶部,通过交代岩体本身或附近围岩而形成斑岩铜(金)矿(Sillitoe, 1972)。中侏罗世,新特提斯洋洋壳俯冲于拉萨地体之下,在拉萨地体南缘形成类似于西南太平洋岛弧带的岛弧岩浆系统和成矿力学机制,正是在这种地质构造背景下形成了雄村I号矿体。目前,在冈底斯成矿带上发现的矿床主要与欧亚—印度大陆碰撞作用有关(<65 Ma),尚未发现与雄村I号矿体成矿背景相类似的矿床。因而,在冈底斯成矿带上开展地质找矿工作时,应注意寻找与新特提斯洋俯冲作用有关的各类矿床。

4 结论

(1)本文获得的雄村I号矿体中4件辉钼矿样

品的Re-Os模式年龄范围非常一致,其变化范围为 $160.1 \pm 2.3 \sim 163.4 \pm 2.3$ Ma,等时线年龄为 161 ± 11 Ma(MSWD=4.2),误差较大,而平均模式年龄 161.5 ± 2.7 Ma(MSWD=2.0),误差较小,因此,雄村I号矿体的形成时代为 $160.1 \pm 2.3 \sim 163.4 \pm 2.3$ Ma,最有可能的成矿年龄应为 161.5 ± 2.7 Ma,这与前人获得的含矿斑岩(含眼球状石英斑晶的角闪石英闪长玢岩)的锆石U-Pb年龄(164.3 ± 1.9 Ma)基本吻合,表明矿床形成于中侏罗世。

(2)雄村I号矿体的形成时代对应于新特提斯洋俯冲期,产出的构造背景为新特提斯洋向北俯冲形成的岛弧环境,其形成环境和成矿动力学机制类似于现在西南太平洋岛弧带,属岛弧型斑岩铜金矿床。

(3)西藏冈底斯成矿带不仅记录了从新特提斯洋俯冲到印度—亚洲大陆碰撞过程中的构造—岩浆活动,同时也发育有与之相关的成矿作用。在冈底斯成矿带上开展地质找矿工作时,应注意寻找与新特提斯洋俯冲作用有关的各类矿床。

References

- Candela, P. A., 1992. Controls on ore metal ratios in granite-related ore systems; an experimental and computational approach (in the second Hutton symposium on the origin of granites and related rocks; proceedings). *Special Paper-Geological Society of America*, 272: 317—326.
- Chu, M. F., Chung, S. L., Song, B., et al., 2006. Zircon U-Pb and Hf isotope constraints on the Mesozoic tectonics and crustal evolution of southern Tibet. *Geology*, 34 (9): 745—748. doi:10.1130/G22725.1
- Cooke, D. R., Hollings, P., Walshe, J. L., 2005. Giant porphyry deposits: characteristics, distribution and tectonic controls. *Economic Geology*, 100 (5): 801—818. doi:10.2113/100.5.801
- Ding, F., Tang, J. X., Cui, X. L., 2006. The indication of S and Pb isotopic compositions and trace elements to ore-forming material source in the Xiongcun Cu-Au deposit, Tibet. *Mineral Deposits*, 25 (Suppl.): 399—402 (in Chinese with English abstract).
- Ding, L., Kapp, P., Wan, X. Q., et al., 2005. Paleocene-Eocene record of ophiolite obduction and initial India-Asian collision, South Central Tibet. *Tectonics*, 24: 1—18. doi:10.1029/2004TC001729
- Dong, Y. H., Xu, J. F., Zeng, Q. G., et al., 2006. Is there a Neo-tethys' subduction record earlier than arc volcanic rocks in the Sangri Group. *Acta Petrologica Sinica*, 22

- (3): 661—668 (in Chinese with English abstract).
- Du, A. D. , He, H. L. , Yin, N. W. , et al. , 1995. A Study of the Rhenium-Osmium geochronometry of molybdenites. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 8(2): 171—181. doi: 10. 1111/j. 1755—6724. 1995. mp8002004. x
- Du, A. D. , He, H. L. , Yin, N. W. , et al. , 1994. A study on the rhenium-osmium geochronometry of molybdenites. *Acta Geologica Sinica*, 68(4): 339—347 (in Chinese with English abstract).
- Du, A. D. , Wu, S. Q. , Sun, D. Z. , et al. , 2004. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: molybdenites HLP and JDC. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 28(1): 41—52. doi: 10. 1111/j. 1751—908X. 2004. tb01042. x
- Geng, Q. R. , Pan, G. T. , Jin, Z. M. , et al. , 2005. Geochemistry and genesis of the Yeba Volcanic rocks in the Gangdise magmatic arc, Tibet. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30(6): 747—760 (in Chinese with English abstract).
- Geng, Q. R. , Pan, G. T. , Wang, L. Q. , et al. , 2006. Isotopic geochronology of the volcanic rocks from the Yeba Formation in the Gangdise zone, Xizang. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 26(1): 1—7 (in Chinese with English abstract).
- He, Z. H. , Yang, D. M. , Zheng, C. Q. , et al. , 2006. Isotopic dating of the Mamba Granitoid in the Gangdise Tectonic belt and its constraint on the subduction time of the neotethys. *Geological Review*, 52(1): 100—106 (in Chinese with English abstract).
- Honegger, K. , Dietrich, V. , Frank, W. , et al. , 1982. Magmatism and metamorphism in the Ladakh Himalayas (the Indus-Tsangpo suture zone). *Earth and Planetary Science Letters*, 60(2): 253—292. doi: 10. 1016/0012—821X(82)90007—3
- Hou, Z. Q. , Yang, Z. S. , Xu, W. Y. , et al. , 2006a. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: I. mineralization in main collisional orogenic setting. *Mineral Deposits*, 25(4): 337—358 (in Chinese with English abstract).
- Hou, Z. Q. , Wang, E. Q. , 2008. Metallogenesis of the Indo-Asian collisional orogen: new advances. *Acta Geoscientifica Sinica*, 29(3): 275—292 (in Chinese with English abstract).
- Kerrick, R. , Goldfarb, R. J. , Groves, D. , et al. , 2000. The geodynamics of world-class gold deposits: characteristics, space-time distribution, and origins. *Reviews in Economic Geology*, 13: 501—551.
- Lang, X. H. , Chen, Y. C. , Tang, J. X. , et al. , 2010a. A discussion on genesis of Xiongcuon porphyry copper-gold deposit, Xietongmen, Xizang (Tibet)—evidences from elements spatial distribution characteristics. *Geological Review*, 56(3): 384—402 (in Chinese with English abstract).
- Lang, X. H. , Chen, Y. C. , Tang, J. X. , et al. , 2010b. Characteristics of rock geochemistry of orebody No. I in the Xiongcuon porphyry copper-gold metallogenic district, Xietongmen county, Tibet: constraints on metallogenic tectonic settings. *Geology and Exploration*, 46(5): 887—898 (in Chinese with English abstract).
- Lang, X. H. , Tang, J. X. , Chen, Y. C. , et al. , 2010c. Re-Os dating of molybdenite from orebody No. II of the Xiongcuon porphyry copper-gold metallogenic district, Xietongmen, Tibet and its geological significance. *Journal Minerals and Petrology*, 30(4): 55—61 (in Chinese with English abstract).
- Lang, X. H. , Tang, J. X. , Li, Z. J. , et al. , 2011. Alteration and mineralization of No. I orebody in Xiongcuon porphyry copper-gold metallogenic ore district, Xietongmen county, Tibet. *Mineral Deposits*, 30(2): 327—338 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig, K. R. , 1999. A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Geochronology Center, Berkeley.
- Mo, X. X. , Dong, G. C. , Zhao, Z. D. , et al. , 2005. Spatial and temporal distribution and characteristics of granitoids in the Gangdese, Tibet and implication for crustal growth and evolution. *Geological Journal of China Universities*, 11(3): 281—290 (in Chinese with English abstract).
- Mo, X. X. , Zhao, Z. D. , Deng, J. F. , et al. , 2003. Response of volcanism to the India-Asia Collision. *Earth Science Frontiers*, 10(3): 135—148 (in Chinese with English abstract).
- Mo, X. X. , Zhao, Z. D. , Zhou, S. , et al. , 2002. Evidence for timing of the initiation of India-Asia collision from igneous rocks in Tibet. EOS. AGU 2002 Fall Meeting Abstracts. San Francisco.
- Mungall, J. E. , 2002. Roasting the mantle; slab melting and the genesis of major Au and Au-rich Cu deposits. *Geology*, 30(10): 915—918. doi: 10. 1130/ 0091—7613 (2002) 030<0915:RTMSMA> 2. 0. CO
- Oliver, J. , 2006. Geological mapping of the Xietongmen property and continuous areas, Tibet. People's Republic of China. Private Report to Continental Minerals Corp.
- Pan, G. T. , Mo, X. X. , Hou, Z. Q. , et al. , 2006. Spatial-temporal framework of the Gangdise Orogenic belt and its evolution. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 521—533 (in Chinese with English abstract).

- Pearce, J. A. , Harris, N. B. W. , Tindle, A. G. , 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25 (4): 956—983. doi:10.1093/petrology/25.4.956
- Qin, K. Z. , Li, G. M. , Li, J. X. , et al. , 2005. The Xiongcu Cu-Zn-Au deposit in the western segment of the Gangdese, Tibet: a Mesozoic VHMS-type deposit cut by late Veins. In: Mao, J. W. , Bierlein, F. P. , ed. , Mineral deposit research: meeting the global challenge. Springer, 2: 1255—1258. doi:10.1007/3-540-27946-6_320
- Qu, W. J. , Du, A. D. , 2003. Highly precise Re-Os dating of molybdenite by ICP-MS with carius tube sample digestion. *Rock and Mineral Analysis*, 22(4): 254—257 (in Chinese with English abstract).
- Qu, X. M. , Xin, H. B. , Xu, W. Y. , 2007a. Collation of age of ore-hosting volcanics in xiongcu superlarge Cu-Au deposit on basis of three zircon U-Pb SHRIMP ages. *Mineral Deposits*, 26(5): 513—518 (in Chinese with English abstract).
- Qu, X. M. , Xin, H. B. , Xu, W. Y. , 2007b. Petrogenesis of the ore-hosting volcanic rocks and their contribution to mineralization in Xiongcu superlarge Cu-Au deposit, Tibet. *Acta Geologica Sinica*, 81(7): 964—971 (in Chinese with English abstract).
- Richards, J. P. , 2003. Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu-(Mo-Au) deposit formation. *Economic Geology*, 98(8): 1515—1533. doi:10.2113/gsecongeo.98.8.1515
- Richards, J. P. , 2005. Cumulative factors in the generation of gaint calc-alkaline porphyry Cu deposits. In: Porter, T. M. , ed. , Super-porphyry copper & gold deposits: a global perspective. PGC Publishing, Adelaide, 1: 7—25.
- Richards, J. P. , 2009. Postsubduction porphyry Cu-Au and epithermal Au deposits: products of remelting of subduction-modified lithosphere. *Geology*, 37 (3): 247—250. doi: 10.1130/G25451A.1
- Shirey, S. B. , Walker, R. J. , 1995. Carius tube digestion for low-blank Rhenium-Osmium analysis. *Analytical Chemistry*, 67 (13): 2136 — 2141. doi: 10.1021/ac00109a036
- Sillitoe, R. H. , 1972. A plate tectonic model for the origin of porphyry copper deposits. *Economic Geology*, 67: 184—197. doi:10.2113/gsecongeo.67.2.184
- Sillitoe, R. H. , 1997. Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region. *Australian Journal of Earth Sciences*, 44 (3) : 373 — 388. doi: 10.1080/08120099708728318
- Singer, D. A. , Berger, V. I. , Menzie, W. D. , et al. , 2005. Porphyry copper deposit density. *Economic Geology*, 100 (3): 491—514. doi:10.2113/gsecongeo.100.3.491
- Simolar, M. I. , Walker, R. J. , Morgan, J. W. , 1996. Re-Os ages of group IIA, IIIA, IVA and IVB iron meteorites. *Science*, 271(5252): 1099—1102. doi: 10.1126/science.271.5252.1099
- Tafti, R. , 2006. Preliminary geochronology report for the Xietongmen deposit area, Tibet, China. Private Report to Continental Minerals Corp.
- Tang, J. X. , Huang, Y. , Li, Z. J. , et al. , 2009a. Element geochemical characteristics of Xiongcu Cu-Au deposit in Xietongmen county, Tibet. *Mineral Deposits*, 28(1): 15—28 (in Chinese with English abstract).
- Tang, J. X. , Zhang, L. , Huang, Y. , et al. , 2009b. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotope ages of main geological bodies in Xiongcu copper-gold deposit, Xietongmen County, Tibet, and their geological significance. *Mineral Deposits*, 28(6): 759—769 (in Chinese with English abstract).
- Tang, J. X. , Li, F. J. , Li, Z. J. , et al. , 2010. Time limit for formation of main geological bodies in Xiongcu copper-gold deposit, Xietongmen county, Tibet: evidence from zircon U-Pb ages and Re-Os age of molybdenite. *Mineral Deposits*, 29(3): 161—475 (in Chinese with English abstract).
- Tang, J. X. , Li, Z. J. , Zhong, K. H. , et al. , 2006. Exploration report of Xiongcu copper deposit, Xietongmen county, Xizang. Chengdu University of Technology, Chengdu (in Chinese).
- Tang, J. X. , Li, Z. J. , Zhang, L. , et al. , 2007. Geological characteristic of the Xiongcu type porphyry-epithermal copper-gold deposit. *Acta Mineralogica Sinica*, (Suppl.)1: 127—128 (in Chinese).
- Wang, L. Q. , Pan, G. T. , Zhu, D. C. , et al. , 2008. Carboniferous-Permian island arc orogenesis in the Gangdese belt, Tibet, China: evidence from volcanic rocks and geochemistry. *Geological Bulletin of China*, 27 (9): 1509—1534 (in Chinese with English abstract).
- Xu, W. Y. , Qu, X. M. , Hou, Z. Q. , et al. , 2005. Fluid inclusion studies of the Xiongcu copper-gold deposit in central Gangdese, Tibet. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 24 (4): 301 — 310 (in Chinese with English abstract).
- Xu, W. Y. , Qu, X. M. , Hou, Z. Q. , et al. , 2006a. Ore-forming fluid characteristics and genesis of Xiongcu copper-gold deposit in Central Gangdese, Tibet. *Mineral Deposits*, 25(3): 243—251 (in Chinese with English abstract).
- Xu, W. Y. , Qu, X. M. , Hou, Z. Q. , et al. , 2006b. The Xiong-

- cun copper-gold deposit in Tibet; characteristics, genesis, and geodynamic application. *Acta Geologica Sinica*, 80(9):1392–1406 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, H. F., Xu, W. C., Guo, J. Q., et al., 2007. Zircon U-Pb and Hf isotopic composition of deformed granite in the southern margin of the Gangdese belt, Tibet: evidence for Early Jurassic subduction of Neo-Tethyan oceanic slab. *Acta Petrologica Sinica*, 23(6): 1347–1353 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, L., Tang, J. X., Deng, Q., et al., 2007. Study on mineral compositions of the ore from the Xiongcun Cu (Au) deposit in Xietongmen county, Tibet, China. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 34(3):318–326 (in Chinese with English abstract).
- Zhong, D. L., Ji, J. Q., Hu, S. L., 1999. Neo-Tethys subduction Time: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ micro-area age of metamorphic oceanic crust fragments. *Chinese Science Bulletin*, 44(16):1782–1785 (in Chinese).
- Zhou, S., Mo, X. X., Mahoney, J. J., et al., 2002. Geochronology and Nd and Pb isotope characteristics of gabbro dikes in the Luobusha ophiolite, Tibet. *Chinese Science Bulletin (English edition)*, 47(2):143–146. doi: 10.1360/02tb9033
- Zhou, S., 2002. Study on the Geochronology of pivotal regions of Gangdese magmatic and Yarlung Zangbo Ophiolite belts, Tibet (Dissertation). China University of Geosciences, Beijing, 70–72 (in Chinese).
- Zhu, D. C., Mo, X. X., Zhao, Z. D., et al., 2009. Permian and Early Cretaceous tectonomagmatism in southern Tibet and Tethyan evolution: new perspective. *Earth Science Frontiers*, 16(2): 1–20 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, D. C., Pan, G. T., Wang, L. Q., et al., 2008. Spatial-temporal distribution and tectonic setting of Jurassic magmatism in the Gangdise belt, Tibet, China. *Geological Bulletin of China*, 27(4): 458–468 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, Z. X., Liao, Y. A., Teng, Y., et al., 1996. The Ophiolitic Stratigraphy in the Open-close belt in Yarlung Zangbo River, Tibet, China. *Journal of Stratigraphy*, 20(4):299–304 (in Chinese with English abstract).
- 早的新特提斯洋俯冲记录么? 岩石学报, 22(3): 661–668.
- 杜安道, 何红蓼, 殷宁万, 等, 1994. 辉钼矿的铼—锇同位素地层年龄测定方法研究. 地质学报, 68(4):339–347.
- 耿全如, 潘桂棠, 金振民, 等, 2005. 西藏冈底斯带叶巴组火山岩地球化学及成因. 地球科学——中国地质大学学报, 30(6):747–760.
- 耿全如, 潘桂棠, 王立全, 等, 2006. 西藏冈底斯带叶巴组火山岩同位素地质年代、沉积与特提斯地质, 26(1):1–7.
- 和钟铧, 杨德明, 郑常青, 等, 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. 地质论评, 52(1):100–106.
- 侯增谦, 杨竹森, 徐文艺, 等, 2006a. 青藏高原碰撞造山带: I. 主碰撞造山成矿作用. 矿床地质, 25(4):337–358.
- 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. 地球学报, 29(3):275–292.
- 郎兴海, 陈毓川, 唐菊兴, 等, 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. 地质论评, 56(3):384–402.
- 郎兴海, 陈毓川, 唐菊兴, 等, 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. 地质与勘探, 46(5):887–898.
- 郎兴海, 唐菊兴, 陈毓川, 等, 2010c. 西藏谢通门县雄村斑岩型铜金矿区II号矿体中辉钼矿Re-Os年代学及地质意义. 矿物岩石, 30(4):55–61.
- 郎兴海, 唐菊兴, 李志军, 等, 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. 矿床地质, 30(2):327–338.
- 莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 等, 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. 高校地质学报, 11(3):281–290.
- 莫宣学, 赵志丹, 邓晋福, 等, 2003. 印度—亚洲大陆主碰撞过程的火山作用响应. 地学前缘, 10(3):135–148.
- 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等, 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化. 岩石学报, 22(3):521–533.
- 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. 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. 地质学报, 81(7): 965–971.
- 屈文俊, 杜安道, 2003. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定辉钼矿铼—锇地质年龄. 岩矿测试, 22(4): 254–257.
- 唐菊兴, 黎凤信, 李志军, 等, 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. 矿床地质, 29(3):161–175.
- 唐菊兴, 李志军, 张丽, 等, 2007. 雄村式斑岩型—浅成低温热

附中文参考文献

- 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. 矿床地质, 25(增刊):399–402.
- 董彦辉, 许继峰, 曾庆高, 等, 2006. 存在比桑日群弧火山岩更

- 液型铜金矿地质特征. 矿物学报, Z1:127—128.
- 唐菊兴, 李志军, 钟康惠, 等. 2006. 西藏自治区谢通门县雄村铜矿勘探地质报告. 成都: 成都理工大学.
- 唐菊兴, 黄勇, 李志军, 等, 2009a. 西藏谢通门县雄村铜金矿元素地球化学特征. 矿床地质, 28(1):15—28.
- 唐菊兴, 张丽, 黄勇, 等, 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. 矿床地质, 28(6):759—769.
- 王立全, 潘桂棠, 朱弟成, 等, 2008. 西藏冈底斯带石炭纪一二叠纪岛弧造山作用: 火山岩和地球化学证据. 地质通报, 27(9):1509—1534.
- 徐文艺, 曲晓明, 侯增谦, 等, 2005. 西藏冈底斯中段雄村铜金矿床流体包裹体研究. 岩石矿物学杂志, 24(4): 301—310.
- 徐文艺, 曲晓明, 侯增谦, 等, 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. 矿床地质, 25(3): 243—251.
- 徐文艺, 曲晓明, 侯增谦, 等, 2006b. 西藏雄村大型铜金矿床的特征、成因和动力学背景. 地质学报, 80(9): 1393—1406.
- 张宏飞, 徐旺春, 郭建秋, 等, 2007. 冈底斯南缘变形花岗岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成: 新特提斯洋早侏罗世俯冲作用的证据. 岩石学报, 23(6):1347—1353.
- 张丽, 唐菊兴, 邓起, 等, 2007. 西藏谢通门县雄村铜(金)矿矿石物质成分研究及其意义. 成都理工大学学报(自然科学学报), 34(3):318—326.
- 钟大赉, 季建清, 胡世玲, 1999. 新特提斯洋俯冲时间: 变质洋洋壳残片⁴⁰Ar/³⁹Ar 微区年龄. 科学通报, 44(16): 1782—1785.
- 周肃, 2002. 西藏冈底斯岩浆岩带及雅鲁藏布蛇绿岩带关键地段同位素年代学研究. 博士学位论文. 北京: 中国地质大学, 70—72.
- 朱弟成, 莫宣学, 赵志丹, 等, 2009. 西藏南部二叠纪和早白垩世构造岩浆作用与特提斯演化: 新观点. 地学前缘, 16(2):1—20.
- 朱弟成, 潘桂棠, 王立全, 等, 2008. 西藏冈底斯带侏罗纪岩浆作用的时空分布及构造环境. 地质通报, 27(4): 458—468.
- 朱占祥, 廖远安, 腾云, 等, 1996. 雅鲁藏布江开合带蛇绿岩地层. 地层学杂志, 20(4):299—304.