2012 年 7 月 地 球 学 报 Jul. 2012
第 33 卷 第 4 期: 510-518 Acta Geoscientica Sinica Vol.33 No.4: 510-518
www.cagsbulletin.com www.地球学报.com

西藏雄村斑岩型铜金矿红柱石成因矿物学特征

黄 勇[1, 2)], 丁 俊[2)*], 唐菊兴[3)], 张 丽[2)], 郎兴海[1)]

1)成都理工大学, 四川成都 610059;
2)中国地质调查局成都地质调查中心, 四川成都 610081;
3)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

摘 要: 雄村斑岩铜金矿中广泛分布有红柱石, 红柱石主要呈三种产出状态: ①石英-钾长石-白云母/绢云母-红柱石组合; ②红柱石-石英-绢云母/白云母组合; ③石英-红柱石-硫化物脉。矿物组合关系、红柱石结构和成分等特征均表明红柱石属热液成因。早期钾硅酸盐化带中的石英-钾长石-白云母/绢云母-红柱石组合形成于高温(大于 550℃)、低$^{+}K/^{+}H$ 比值环境。随着热液体系温压降低, 热液体系$^{+}K/^{+}H$ 比值升高, 早期钾硅酸盐化被黄铁绢英岩化强烈交代, 形成相对较低温环境的红柱石-石英-绢云母/白云母组合, 黄铁绢英岩化交代早期钾硅酸盐化过程可能伴随有大量循环大气降水进入崩塌的热液体系。石英-红柱石-硫化物脉分布较少, 且只分布在黄铁绢英岩化外围, 硫化物以黄铁矿为主, 脉体两侧见有较为宽广的绢云母蚀变晕, 形成于相对低温环境的高$^{+}K/^{+}H$ 比值环境。雄村斑岩铜金矿中的热液成因红柱石特征与智利的 El Salvador 斑岩矿床中热液红柱石特征类似, 富含 Al_2O_3 的火山岩/侵入岩为红柱石提供了良好的物质条件, 同时广泛分布的热液红柱石重塑了岩浆-热液过程中的 P-T 条件。

关键词: 红柱石; 斑岩铜金矿床; 雄村; 西藏
中图分类号: P578.945; P571; P618.41 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2012.04.11

Genetic Mineralogy of Andalusite in Xiongcun Porphyry Copper-Gold Oredeposit, Tibet

HUANG Yong[1, 2)], DING Jun[2)], TANG Ju-xing[3)], ZHANG Li[2)], LANG Xing-hai[1)]

1) *Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan* 610059;
2) *Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu, Sichuan* 610081;
3) *MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resource Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100037

Abstract: There are abundant andalusites in the Xiongcun porphyry copper-gold deposit. Three major assemblages are recognized, i.e., quartz–K-feldspar-muscovite/sericite-andalusite assemblage, andalusite–quartz-sericite/muscovite assemblage, and quartz – andalusite – sulfide veins. The mineral association, texture and composition of andalusites indicate that the andalusites are of hydrothermal type. The quartz-K-feldspar-muscovite/sericite-andalusite assemblage in early K-silicate alteration zone was formed under the conditions of fairly high temperatures (above 550℃) and relatively low $^{+}K/^{+}H$ ratios. Early K-silicate alteration was replaced by later phyllic/sericitic alteration under lower P-T and higher $^{+}K/^{+}H$ conditions, and meteoric water probably entered the collapsed hydrothermal system during this period. Quartz-andalusite-sulfide veins with sericite alteration envelope

本文由自然科学基金(编号: 41172077)、国家 973 项目(编号: 2011CB403103)、青藏专项(编号: 1212010012005)和西藏大型矿床成矿专属性研究(编号: 1212011221073)联合资助。
收稿日期: 2012-05-03; 改回日期: 2012-05-28。责任编辑: 魏乐军。
第一作者简介: 黄勇, 男, 1982 年生。博士研究生。矿物学、岩石学、矿床学专业, 主要从事矿床学与成矿规律研究。通讯地址: 610081, 成都市一环路北三段 2 号。电话: 028-83220270。E-mail: yong.huang@hotmail.com。
*通讯作者: 丁俊, 男, 1956 年生。博士生导师, 研究员。主要从事地层古生物、区域地质、构造地质、矿产地质研究。通讯地址: 610081, 成都市一环路北三段 2 号。电话: 028-83232360。E-mail: cddjun@163.com。

CAGS

occur rather rarely and are only observed within the phyllic alteration zone. This assemblage was formed under lower P-T and higher $^{+}K/^{+}H$ condition. Andalusite assemblages are similar to the El Salvador porphyry copper deposit in Chile. Volcanic tuff and porphyry stock had rich Al_2O_3, which was favorable for the formation of andalusite. The andalusite within different assemblages helps reconstruct the P-T condition of the magmatic-hydrothermal process.

Key words: andalusite; porphyry copper-gold deposit; Xiongcun; Tibet

世界范围内少数几个斑岩型矿床中见有热液成因红柱石的报道(如: 美国蒙大拿州的 Butte 斑岩矿床, Brimhall, 1977; 智利的 El Salvador 斑岩矿床, Gustafson et al., 1995; 印度尼西亚的 North Sulawesi 斑岩矿床, Lowder et al., 1978), 西藏雄村斑岩型铜-金矿床中广泛分布的红柱石与 Outhuis(1989)描述的瑞典中部 Persberg 北东地区元古代的辉长岩-英云闪长岩-花岗岩侵入体外围的热液成因红柱石特征, 以及 Steefel 等(1984)报道的蒙大拿州 Elkhorn 地区斑岩铜-钼矿床中的热液成因红柱石特征类似。雄村斑岩铜金矿中早期钾-硅酸盐蚀变, 强硅化带和黄铁矿-绢云母-石英蚀变带(黄铁绢英岩化带)中均见有热液成因红柱石, 红柱石主要成呈三种产状: ①钾长石-红柱石-石英-绢云母/白云母组合; ②红柱石-石英-绢云母/白云母组合; ③红柱石-石英-硫化物脉, 上述三种产状确切表明红柱石属热液成因, 矿物组合关系特征为我们重塑了岩浆-热液过程的 P-T 条件。

西藏雄村斑岩型铜金矿位于西藏冈底斯成矿带中段南缘, 地处日喀则地区谢通门县镜内。传统意义上冈底斯成矿带是指东起墨竹工卡县, 西至谢通门县, 南以雅鲁藏布江缝合带为界, 东西延伸约 350 km, 南北宽约 50 km, 相当于朱第成等(2008)划分的南冈底斯带中段。冈底斯成矿带自东向西发育了一系列的斑岩-矽卡岩矿床, 如著名的矿床有甲玛斑岩-矽卡岩铜多金属矿, 驱龙斑岩铜钼矿、厅宫斑岩铜矿、雄村斑岩铜金矿等(唐菊兴等, 2009a, c, 2010a, b, 2012; 黄勇等, 2011a, b; 郎兴海等, 2010, 2012; 杨志明等, 2005; 胡正华, 2011)。斑岩-矽卡岩

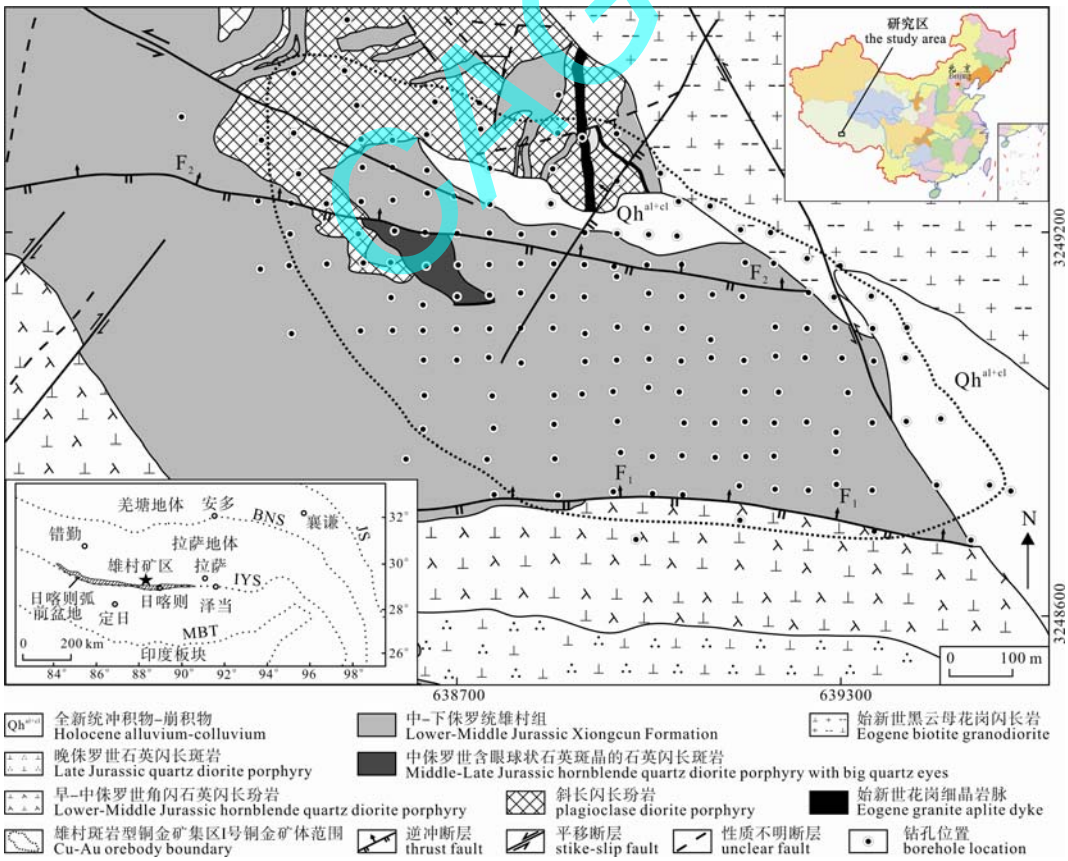

图 1　雄村斑岩型铜金矿集区 I 号矿区地质图(据唐菊兴等, 2006; Oliver, 2006 修改)

Fig. 1　Geological map of No. I ore body in the Xiongcun porphyry copper-gold ore concentration area (after TANG Ju-xing et al., 2006; Oliver, 2006)

CNKI

矿床主要形成于两个重要的地质时期：①古新世至始新世成矿期(65～45 Ma)，如沙让，亚贵拉，蒙亚啊等(唐菊兴等，2009a)；②中新世成矿期(23～10 Ma)，如：甲玛、驱龙、厅宫。两种重要成矿期分别与陆-陆碰撞，后碰撞伸展对应。而雄村斑岩铜金矿的发现为我们揭示出了另一期重要的成矿期，即早-中侏罗世成矿期。

雄村斑岩铜金矿床与西南太平洋菲律宾、斐济、巴布亚新几内亚带内多数斑岩铜矿床类似，矿体富铜和金，成矿斑岩体偏中型，矿区内见有多期斑岩体：(1)成矿早期的早中侏罗世角闪石英闪长斑岩，斜长石斑晶含量较高，斑晶被绢云母强烈交代，并见有少量的石英斑晶。岩体呈北西展布，倾向北东。(2)成矿期的含眼球状石英斑晶的石英闪长斑岩，LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 171.3±1.0 Ma(Tafti et al., 2009；唐菊兴等, 2010a)。矿化与围岩蚀变围绕石英闪长斑岩呈环带状分布，石英闪长斑岩斑晶以溶蚀状眼球斑岩为主，并见有少量的斜长石斑晶，岩体普遍遭受早期钾-硅酸盐化蚀变，并被黄铁绢英岩化叠加交代。(3)成矿晚期的含粗粒石英斑晶的石英闪长斑岩，石英斑晶粒径可达 1～1.5 cm，并含较多的斜长石斑晶，岩体较新鲜，蚀变极弱。此外，矿区内出露面积最大的是分布在矿床北东面的始新世黑云母花岗闪长岩，由石英-斜长石-钾长石-黑云母组成，具等粒花岗结构。

1 热液蚀变

雄村铜金矿矿化与围岩蚀变围绕含眼球石英斑晶的石英闪长斑岩呈环带状分布，由斑岩体内向外，蚀变可以划分为以下四类：(1)早期钾硅酸盐化，这类蚀变分布在斑岩体内，以钾长石-黑云母-磁铁矿-红柱石蚀变组合为主；(2)广泛分布的硅化，强硅化带中含有大量网脉状穿插的石英硫化物脉，基质基本被大量石英和少量白云母交代，红柱石在强硅化带中分布较少。强硅化带分布在斑岩体与围岩的接触带上，强烈交代早期的钾硅酸盐化；(3)黄铁绢英岩化，这类蚀变分布较广，并强烈交代早期的钾-硅酸盐蚀变，以黄铁矿-绢云母/白云母-石英-黄铜矿-磁黄铁矿组合为主，是矿区内主要的含矿蚀变；(4)晚期的青磐岩化，青磐岩化主要分布在矿区外围，以绿泥石-绿帘石-石英-黄铁矿-绢云母蚀变组合为特征，此外在 II 号矿体还见有以阳起石-钠长

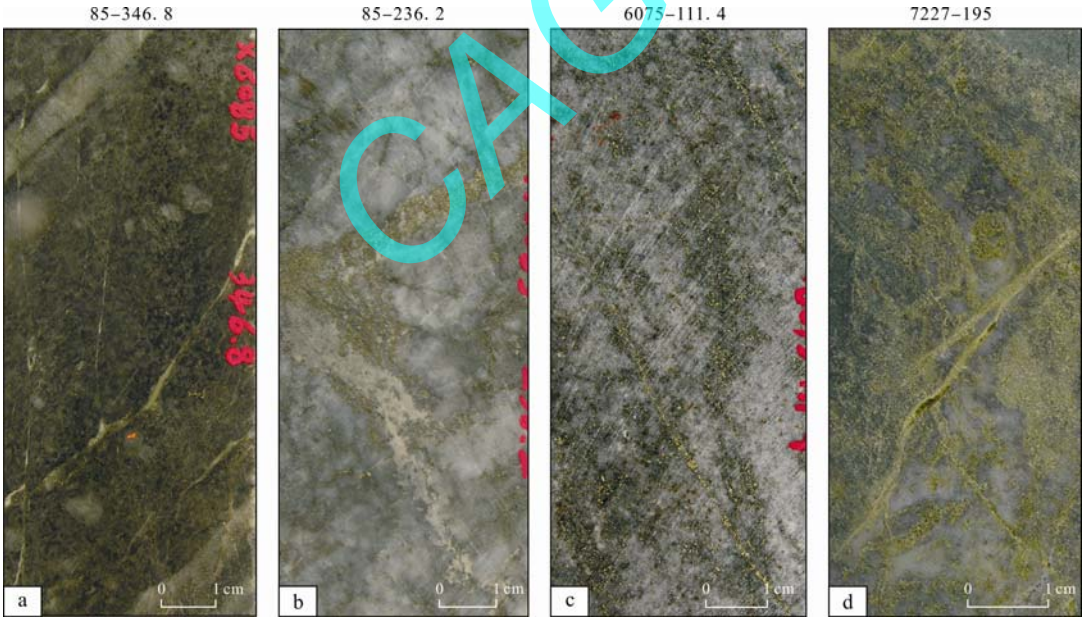

图 2 雄村铜金矿蚀变组合

Fig. 2 Alteration association of the Xiongcun copper-gold deposit

a-含眼球状石英斑晶的石英闪长斑岩内早期钾硅酸盐化，以钾长石，黑云母，磁铁矿蚀变为主，并见少量的红柱石，白云母，钾长石被红柱石和白云母/绢云母交代，红柱石被绢云母交代，样品采自 ZK6085-346.8 m; b-强硅化，以石英为主，并含少量的白云母，少量或微量红柱石，样品采自钻孔 ZK6085-236.2 m; c-黄铁绢英岩化，黄铁矿，绢云母，石英蚀变组合为主，并见较多的它形-半自形红柱石，样品采自 ZK6075-111.4 m; d-晚期的青磐岩化，以绿帘石，绿泥石蚀变组合为主，样品采自 ZK7227-195 m

a-Early K-silicate alteration within augen quartz phenocryst-bearing quartz diorite, major minerals being keldspar, biotite, magmatite, and minor minerals being andalusite, muscovite. K-feldspar replaced by andalusite and muscovite/sericite, andalusite replaced by sericite, from ZK6085-346.8 m; b-strong silicification , mainly quartz with minor muscovite and andalusite, from ZK6085-236.2 m; c-dominantly phyllic alteration, pyrite-sericite-quartz assemblage, with subhedral to anhedral andalusites, from ZK6075-111.4 m; d-later propylitization zone, major minerals being epidote and chlorite, from ZK7227-195 m

CAGS

石-绿泥石-绿泥石-少量电气石为主的钠质-钙质蚀变(Tafti et al., 2009)，早期钾-硅酸盐化普遍被晚期的黄铁绢英岩化和硅化交代。钾硅酸盐化带和黄铁绢英岩化带中含有较多的它形，半自形，少量自形晶红柱石，红柱石的产状主要有三类：①钾长石-红柱石-石英-绢云母/白云母组合；②红柱石-石英-绢云母/白云母组合；③红柱石-石英-硫化物脉，其中以第二种组合分布最为广泛。第一种组合主要分布在斑岩体内的钾硅酸盐化带中。第二种组合在早期钾硅酸盐化带，强硅化带，黄铁绢英岩化带中均有分布，但在黄铁绢英岩化带中分布最为广泛。第三种组合主要分布在晚期的黄铁绢英岩化带中。本文所指的“组合”是指矿物共存组合，不含有同时形成的意思。

2　红柱石特征

2.1　石英-钾长石-白云母/绢云母-红柱石组合

石英-钾长石-白云母/绢云母-红柱石组合主要分布含眼球状石英斑晶的角闪石英闪长斑岩中，角闪石英闪长斑岩中主要矿物为石英，白云母/绢云母，黑云母，次要矿物为红柱石，斜长石，钾长石，并见锆石，磷灰石，铁白云石、金红石等副矿物，斜长石普遍被绢云母交代。

红柱石以半自形和它形为主，常见红柱石边缘被白云母和绢云母交代(图 3c, 4d)，另外见有黑云母和绢云母中包裹的变嵌晶红柱石(图 3d)，红柱石与钾长石的接触带多不规则(图 3c, 4a)，但也偶见较为平直的接触界线(图 3a，b)。与红柱石相交或接触的

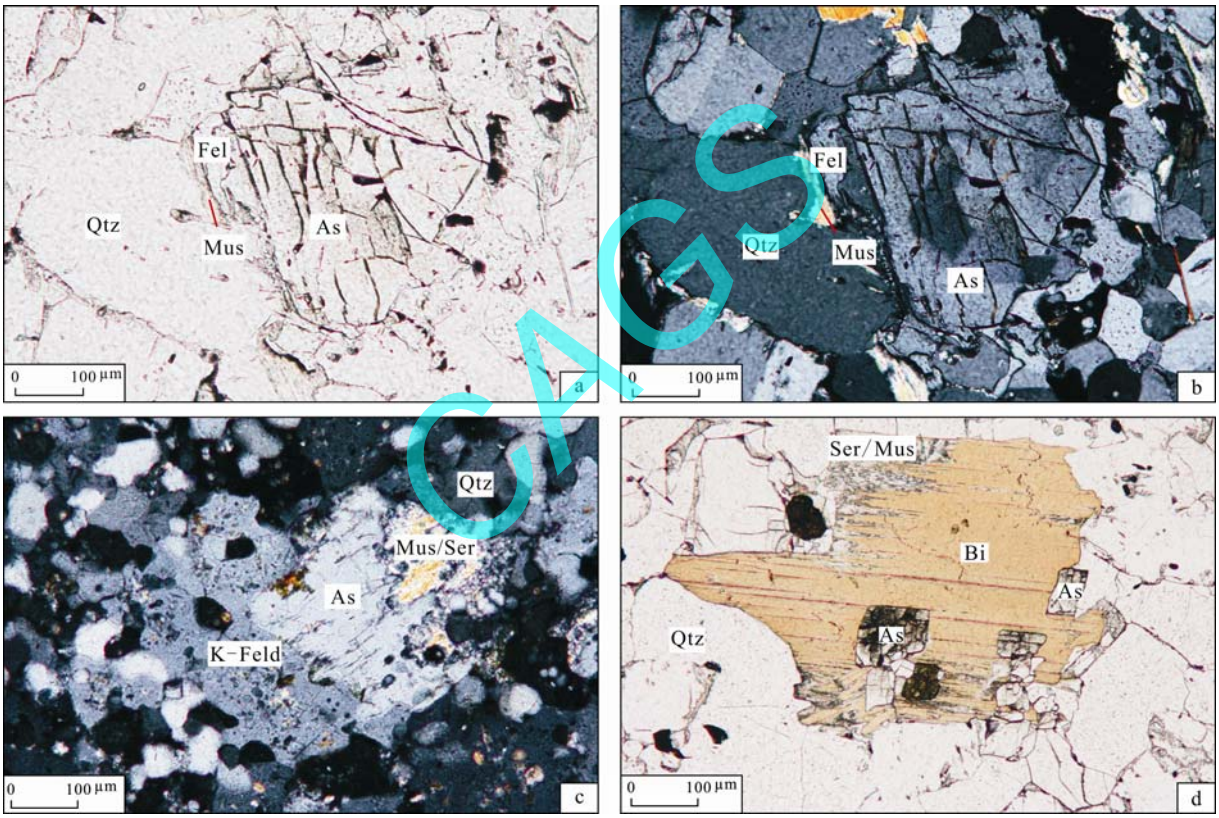

图 3　红柱石产出状态

Fig. 3　Photomicrographs of andalusite

a-红柱石-长石-石英-绢云母/白云母组合，长石边缘被白云母/绢云母交代，共生组合显示出体系温度不断降低，单偏光，样品采自 ZK5018-27.4 m; b-同照片 a，正交偏光，样品采自 ZK5018-27.4 m; c-红柱石-钾长石-石英-绢云母/白云母组合，矿物组合表面红柱石是由钾长石热液蚀变而成，随着体系温度的降低，红柱石被绢云母/白云母交代，并析出石英，正交偏光，样品采自 ZK6085-315.7m; d-黑云母-红柱石-石英-绢云母/白云母组合，黑云母中包裹的红柱石颗粒，样品采自 ZK6085-315.7m;　a～d 样品均采自含眼球状石英斑晶的角闪石英闪长玢岩中; Qtz-石英; Mus-白云母; K-Feld-钾长石; Bi-黑云母; As-红柱石; Fel-长石; Ser-绢云母

a-andalusite-feldspar-quartz-sericite/muscovite assemblage, feldspar replaced by muscovite/sercite along the rim, showing decreasing temperature, plainlight, sample from ZK5018-27.4 m; b-same as photo a, crossed nicols, sample from ZK5018-27.4 m; c-andaluste-K-feldspar-quartz-sericite/muscovite assemblage, andaluste formed by altered K-feldspar, along with decreasing temperature, andalusite replaced by sericite/muscovite, forming quartz, crossed nicols, from ZK6085-315.7 m; d-biotite-andalusite-quartz-sericite/muscovite assemblage, andalusite as inclusions within biotite, sample from ZK6085-315.7 m; a, b, c d all sampled from augen quartz bearing hornblende quartz diorite; Qtz-quartz; Mus-muscovite; K-feld-K-feldspar; Bi-biotite; As-andalusite; Fel: feldspar; Ser-sericite

CAGS

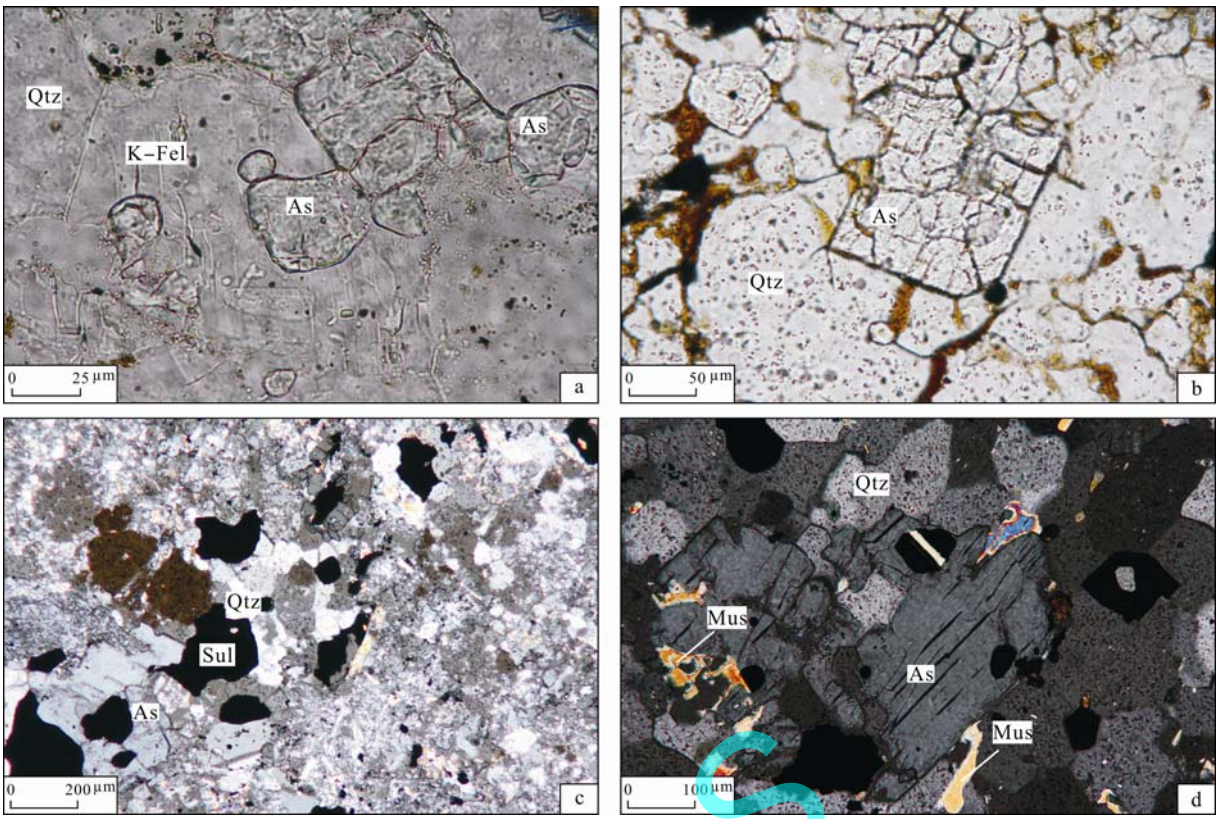

图 4 红柱石产出状态

Fig. 4 Photomicrographs of andalusite

a-红柱石-石英-钾长石组合，钾长石中包裹孤岛状它形红柱石，共生组合表明钾长石被红柱石交代，单偏光，样品采自 ZK5018-18.7 m; b-红柱石-石英组合，自形红柱石，单偏光，样品采自 ZK5018-18.7 m; c-晚期红柱石-石英-硫化物脉，红柱石的产出特征表明红柱石属热液成因，正交偏光，样品采自 ZK5018-351.9 m; d-红柱石-石英-白云母组合，红柱石被白云母和黑云母交代，正交偏光，样品采自 ZK5018-351.9 m; Sul-硫化物

a-andalustie-quartz-K-feldspar assemblage, K-feldspar bearing island anhedral andalusite, the assemblage indicates that K-feldpsar is replaced by andalusite, plainlight, from ZK5018-18.7 m; b- andalusite-quartz assemblage, anhedral andalusites, plainlight, from ZK5018-18.7 m; c-later andalusite-quartz-sulfide vein, indicating hydrothermal origin of andalusite, crossed nicols, from ZK5018-351.9; d-andalusite-quartz-muscovite assemblage, andalusite replaced by muscovite and biotite, crossed nicols, from ZK5018-351.9 m; Sul-sulphide

钾长石常被绢云母或白云母沿边缘交代(图 5c)，此外也见有钾长石中包裹有绢云母/白云母和红柱石。上述矿物组合特征表明红柱石是由钾长石经热液蚀变而成，而无论是钾长石被红柱石交代，或钾长石和红柱石被白云母/绢云母交代，其矿物组合均含有大量的石英颗粒集合体。

2.2 红柱石-石英-绢云母/白云母组合

红柱石-石英-绢云母/白云母组合在早期钾硅酸盐化，硅化带以及黄铁绢英岩化带中均有分布，但早期钾硅酸盐化带和硅化带中分布较少，且不均匀。黄铁绢英岩化带中的红柱石以半自形和它形为主，少见自形晶红柱石(图 4b)。黄铁绢英岩化中主要矿物为石英，绢云母，黄铁矿，磁黄铁矿，黄铜矿，红柱石，次要矿物为白云母，另见磷灰石、锆石等副矿物。大多数红柱石边缘被绢云母/白云母交代，红柱石呈半自形和它形，并与石英交生或连生(图 4d)。在极少情况下可以观察到红柱石与石英、绢云母/白云母、黑云母共生，黑云母沿红柱石解理面交代红柱石(图 4d)。早期钾-硅酸盐化带被黄铁绢英岩化带强烈交代，因而石英-钾长石-白云母/绢云母-红柱石组合较少见，而红柱石-石英-绢云母/白云母组合分布最为广泛。

2.3 红柱石-石英-硫化物脉

红柱石-石英-硫化物脉分布较少，只在外围的黄铁绢英岩化带中见有少量这类细脉。脉体两侧具有较强的绢云母蚀变晕。脉体较为平直，脉中硫化物以黄铁矿为主，含少量或微量的黄铜矿，脉中红柱石多呈半自形-它形晶，红柱石表面洁净，边缘少见绢云母沿红柱石边缘交代的蚀变晕(图 4c)。红柱石粒径与石英粒径大小基本一致，表明红柱石-石英-硫化物脉形成于石英-红柱石平衡环境下的相对低温热液环境。

GACS

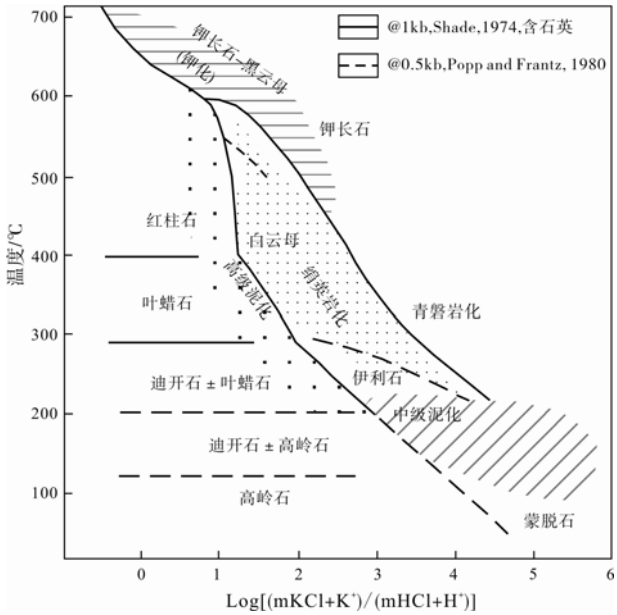

图 5　K_2O-KCl-Al_2O_3-SiO_2-H_2O-HCl 体系相图
(据 Shade, 1974; Popp et al., 1980 修改)
Fig. 5　Stability relationships in the system K_2O-KCl-Al_2O_3-SiO_2-H_2O-HCl (modified after Shade, 1974; Popp et al., 1980)

3　讨论

Clarke 等(2005)在详细研究全球范围内 108 件含红柱石的长英质岩石样品后提出长英质火山岩中红柱石可形成于以下三种情况：①变质作用-包括进变质作用，如过铝花岗岩的进变质作用，退变质作用，如硅线石的转换等；②岩浆来源；③交代作用，如交代长石，黑云母。矿相学研究显示早期钾-硅酸盐化带中的矿物组合特征为石英-钾长石-黑云母-红柱石-磁铁矿，同样的矿物组合特征在 E1 Salvador 斑岩铜矿中也有报道(Gustafson et al., 1995; Outhuis, 1989)。钾长石-红柱石组合分布在钾硅酸盐化带中，红柱石交代钾长石以及红柱石和钾长石被绢云母/白云母交代，红柱石具有较低的 TiO_2(小于 0.1%，表 1)，未见到红柱石中有熔融包裹体，且红柱石以半自形和它形为主，上述特征与 Clarke 等(2005)讨论的交代成因红柱石完全一致，说明红柱石是长石热液蚀变的产物，石英-钾长石-红柱石-白云母/绢云母组合指明钾长石可通过如下反应蚀变为红柱石：

$$KAlSi_3O_8+HCl=1/2Al_2SiO_5+5/2SiO_2+1/2H_2O+KCl \quad (1)$$
K-spar　　Andalusite　Quartz

据 K_2O-KCl-Al_2O_3-SiO_2-H_2O-HCl 体系相图(图 5)，早期钾硅酸盐蚀变形成的最低温度为 550℃ (0.5 kb)，初始流体$^+K/^+H$ 比值较低。随着体系温度和压力不断降低，流体酸度以及$^+K/^+H$ 比值不断升高。此时发生大规模黄铁绢英岩化交代早期的钾硅酸盐蚀变，钾长石、红柱石被绢云母/白云母交代，交代反应式如下：

$$3/2Al_2SiO_5+ 3/2SiO_2 + 3/2H_2O + KCl = KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2 + HCl \quad (2)$$
Andalusite　Quartz　　Muscovite

$$3/2KAlSi_3O_8 + HCl = 1/2KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2 + 3SiO_2 + KCl \quad (3)$$
K-Spar　　Muscovite　　Quartz

(上述 1、2、3 反应式据 Popp et al., 1980)

反应式(1)和(3)会形成大量石英，而红柱石被绢云母/白云母交代过程会消耗一部分石英，加上岩浆热液体系富硅，因而在早期钾硅酸盐外围形成强硅化带，且硅化在整个矿体内普遍发育。黄铁绢英岩化带强烈交代部位，钾化蚀变中的钾长石和黑云母完全被石英和绢云母交代。因热液体系$^+K/^+H$ 比值较高，从而形成黄铁绢英岩化带中的红柱石-石英-绢云母/白云母组合，黄铁绢英岩化中广泛分布的红柱石由原生长石或热液长石蚀变而成。相对低温环境下形成的红柱石-石英-绢云母/白云母组合可能是在循环的大气降水参与崩塌的热液体系中形成的

表 1　钾长石、红柱石、绢云母电子探针分析结果
Table 1　Electron microprobe analyses of K-feldspar, andalusite, and sericite

矿物名称	样品编号	Al_2O_3	MgO	TiO_2	FeO	SiO_2	Na_2O	K_2O	CaO
红柱石	51-150.7①	62.61	0.05	0.04	0.48	36.68	0.02	0.12	0.00
	56-217.6①	61.24	0.00	0.08	0.48	38.06	0.00	0.13	0.00
	88-139.3	62.35	0.07	0.03	0.22	37.17	0.05	0.11	0.00
钾长石	47-139.6	19.59	0.00	0.02	0.02	65.48	3.96	10.88	0.05
	56-217.6③	19.85	0.04	0.05	0.04	64.64	1.28	14.11	0.00
	47-186.2①	19.59	0.00	0.02	0.02	65.48	3.96	10.88	0.05
绢云母	68-176.4②	33.52	6.84	0.00	10.09	49.39	0.11	0.00	0.04
	68-176.4③	33.86	6.94	0.00	9.95	48.64	0.18	0.42	0.01

注：红柱石数据来源于张丽(2007)，①、②、③为探针分析点号。

CAGS

(Steefel et al., 1984)。徐文艺等(2006)报道的雄村斑岩铜矿成矿流体的 $\delta^{18}O$ 值范围为–4.7‰~+2.2‰, δD 值范围为–104‰~82‰。黄勇(2009)报道的成矿流体 $\delta^{18}O$ 变化范围为+9.3‰~+10.81‰, δD 值变化范围为 –83.597‰ ~ –92.464‰, 同位素特征表明此时大气降水已大量进入崩塌的热液体系, 并可能参与黄铁绢英岩化蚀变过程。

通常控制红柱石形成的条件很多, 如富 Al_2O_3, 富水, 高 Be-B-Li-P, 高 F, 高 Fe-Mn-Ti, 但富 Al_2O_3 和流体释放效应是红柱石形成的最主要的两个条件(Clarke et al., 2005)。雄村Ⅰ号矿体火山岩/侵入岩的 $A1_2O_3$ 含量为 13.08% ～ 18.2%, 主要集中在 15.28%～18.08%中, 铝饱和指数 A/CNK 的值介于 1.27～3.78 之间, 为过铝质岩石(黄勇, 2009; 郎兴海等, 2010), 火山岩/侵入岩富含 Al_2O_3 为红柱石的形成提供了良好的物质条件。

Gustafson 等(1995)在研究智利 El Salvador 斑岩矿床后也发现矿床深部早期钾硅酸盐化带中含有红柱石, 上部发育强黄铁绢英岩化。Hemley 等(1980)认为深部钾硅酸盐化带中的红柱石形成于早期斑岩演化系统, 而上部黄铁绢英岩化带中的红柱石形成于热液流体演化晚期阶段的相对低温环境, 红柱石与绢云母平衡相限定了体系 $^{+}K/^{+}H$ 比值。雄村斑岩铜金矿中大量分布的红柱石与 El Salvador 斑岩矿床中红柱石特征类似。

4 结论

雄村斑岩铜金矿广泛发育热液成因的红柱石, 红柱石主要呈三类产状: ①石英-钾长石-白云母/绢云母-红柱石组合; ②红柱石-石英-白云母/绢云母组合; ③红柱石-石英-硫化物脉。石英-钾长石-白云母/绢云母-红柱石组合只分布在早期钾硅酸盐化带中, 矿物共生组合限定早期钾化蚀变形成的最低温度为 550℃, 初始岩浆-热液流体 $^{+}K/^{+}H$ 比值低。红柱石-石英-白云母/绢云母组合广泛分布在黄铁绢英岩化带中, 早期钾化和强硅化带中也见有这类组合。随着热液体系温度和压力的降低, $^{+}K/^{+}H$ 值升高, 钾长石被红柱石交代。$^{+}K/^{+}H$-T 相图显示在相对低温, 高 $^{+}K/^{+}H$ 比值环境, 红柱石和钾长石被绢云母/白云母交代, 成矿流体特征具有大气降水与岩浆混合特征, 因此黄铁绢英岩化带中的红柱石-石英-绢云母/白云母组合可能形成于循环大气降水进入崩塌的热液体系。红柱石-石英-硫化物脉主要分布在黄铁绢英岩化带内, 硫化物以黄铁矿为主, 脉体两侧见有分布较广的绢云母蚀变晕, 脉体形成于相对低温, 高 $^{+}K/^{+}H$ 比的热液体系。

参考文献:

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), 38(3): 306-312.

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.

黄勇. 2009. 西藏谢通门县雄村铜金矿矿床地球化学特征[D]. 成都: 成都理工大学.

郎兴海, 陈毓川, 唐菊兴, 李志军, 黄勇, 王成辉, 陈渊, 张丽. 2010. 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, 李志军, 黄勇, 丁枫, 王成辉, 张丽, 周云. 2012. 西藏雄村斑岩型铜金矿集区Ⅰ号矿体的硫、铅同位素特征及其对成矿物质来源的指示[J]. 地球学报, 33(4): 459-470.

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, 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

CAGS

娜, 秦志鹏, 姚晓峰, 李磊, 王友, 唐晓倩. 2010b. 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.

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 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄及地质意义[J]. 矿床地质, 28(6): 759-769.

徐文艺, 曲晓明, 侯增谦, 杨丹, 杨竹森, 崔艳合, 陈伟十. 2006. 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[J]. 矿床地质, 25(3): 243-251.

杨志明, 谢玉玲, 李光明, 徐九华. 2005. 西藏冈底斯斑岩铜矿带驱龙铜矿成矿流体特征及其演化[J]. 地质与勘探, 41(2): 21-26.

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.

朱弟成, 潘桂棠, 王立全, 莫宣学, 赵志丹, 周长勇, 廖忠礼, 董国臣, 袁四化. 2008. 西藏冈底斯带中生代岩浆岩的时空分布和相关问题的讨论[J]. 地质通报, 27(9): 1535-1550.

References:

BRIMHALL G H JR. 1977. Early fracture-controlled disseminated mineralization at Butte, Montana[J]. Economic Geology, 72(1): 37-59.

CLARKE D B, DORALS M, BARBARIN B, BARKER D, CESARE B, CLARKE G, EL BAGHDADI M, ERDMANN S, FÖRSTER H J, GAETA M, GOTTESMANN B, JAMIESON R A, KONTAK D J, KOLLER F, GOMES C L, LONDON D, MORGAN G B VI, NEVES L J P F, PATTISON D R M, PEREIRA A J S C, PICHAVANT M, RAPELA C W, RENNO A D, RICHARDS S, ROBERTS M, ROTTURA A, SAAVEDRA J, SIAL A N, TOSELLI A J, UGIDOS J M, UHER P, VILLASECA C, VISONÀ D, WHITNEY D L, WILLIAMSON B, WOODARD H H. 2005. Occurrence and Origin of Andalusite in Peraluminous Felsic Lgneous Rocks[J]. Journal of Petrology, 46(3): 441-472.

GUSTAFSON L B, QUIROGA G J. 1995. Patterns of Mineralization and Alteration below the Porphyry Copper Orebody at El Salvador, Chile[J]. Economic Geology, 90(1): 2-16.

HEMLEY J J, MONTOYA J W, MARINENKO J W, LUCE R W. 1980. Equilibria in the system $A1_20_3$-SiO_2-H_2O and some general implications for alteration/mineralization processes[J]. Economic Geology, 75(2): 210-228.

HU Zheng-hua, TANG Ju-xing, DING Feng, ZHENG Wei-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, CHEN Yuan, ZHANG Li. 2011a. Tectonic setting and source of ore-forming materials of No.1 orebody in the Xiongcun copper-gold deposit, Tibet[J]. Journal of Chengdu University of Techology (Science & Techonology Edition), 38(3): 306-312 (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 Yong. 2009. Geochemistry character of Xiongcun copper-gold deposit, Xietongmen county, Tibet[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology(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. 2010. Characteristics of rock geochemistry of orebody No. Ⅰ 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, LI Zhi-jun, HUANG Yong, DING Feng, WANG Cheng-hui, ZHANG Li, ZHOU yun. 2012. 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[J]. Acta Geoscientica Sinica, 33(4): 459-470(in Chinese with English abstract).

LOWDER G G, DOW J A S. 1978. Geology and exploration of porphyry copper deposits in North Sulawesi, Indonesia[J]. Economic Geology, 73(5): 628-644.

OLIVER J. 2006. Geological mapping of the Xietongmen property and continuous areas, Tibet, People's Re-public of China[R]. Private Report to Continental Minerals Corp.

OUTHUIS J H M. 1989. Hydrothermal Andalusite and Corundum in a Potassic Alteration Zone Around a Proterozoic Gabbro-Tonalite-Granite Intrusion NE of Persberg, Central Swe-

CAGS

den[J]. Mineralogy and Petrology, 40(1): 1-16.

POPP R K, FRANTZ J D. 1980. Mineral-solution equilibria-III. The system Na_2O-$A1_2O_3$-SiO_2-H_2O-HCl[J]. Geochim Cosmochim Acta, 44(7): 1029-1037.

SHADE J W. 1974. Hydrolysis Reactions in the SiO_2-Excess Portion of the System K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O in Chloride Fluids at Magmatic Conditions[J]. Economic Geology, 69(2): 218-228.

STEEFEL C I, WILLIAM W, ATKINSON J R. 1984. Hydrothermal Andalusite and Corundum in the Elkhorn District, Montana[J]. Economic Geology, 79(3): 573-579.

TAFTI R, MORTENSEN J K. 2009. Jurassic U-Pb and Re-Os ages for the newly Discovered Xietongmen Cu-Au Porphyry District, Tibet, PRC: Implications for Metallogenic Epochs in the Southern Gangdese Belt[J]. Economic Geology, 104(1): 127-136.

TANG Ju-xing, CHEN Yu-chuan, WANG Deng-hong, WANG Cheng-hui, XU Yuan-ping, QU Wen-jun, HUANG Wei, HUANG Yong. 2009a. Re-Os dating of Molybdenite from the Sharang Porphyry Molybdenum Deposit in Gongbo'gyamda 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): 461-475(in Chinese with English abstract).

TANG Ju-xing, LI Zhi-jun, ZHONG Kang-hui, SUN Chuan-min, LIU Wen-zhou, YE Jiang, XU Shi-hai, GUO Ke, DING Feng, GUO Wen-bo, ZHANG Ting-bing, ZHANG Li, WANG Zhi-hui, MAO Yan-shi, GUO La, LANG Xing-hai, LING Juan, ZHANG Feng, CUI Xiao-liang, HUANG Hou-hui, HUANG Yong, WANG You. 2006. Exploration of Xiongcun copper deposit, Xietongmen county, Tibet Autonomous Region[R]. Chengdu: Archives 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, QING 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 Chen-hui, LI Zhi-jun, DENG Qi, LANG Xin-hai, WANG You. 2009c. $^{40}Ar/^{39}Ar$ 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).

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

YANG Zhi-ming, XIE Yu-ling, LI Guang-ming, XU Jiu-hua. 2005. Characteristics and forming process of ore-forming fluids at Qulong copper deposit in Gangdise Porphyry copper belt, Tibet[J]. Geology and Prospecting, 41(2): 21-26(in Chinese with English abstract).

ZHANG Li, TANG Ju-xing, DENG Qi, HUANG Yong, LANG Xing-hai, LANG J, TAFTI 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).

ZHU Di-cheng, PAN Gui-tang, WANG Li-quan, MO Xuan-xue, ZHAO Zhi-dan, ZHOU Chang-yong, LIAO Zhong-li, DONG Guo-chen, YUAN Si-hua. 2008. Tempo-spatial variations of Mesozoic magmatic rocks in the Gangdise belt, Tibet, China, with a discussion of geodynamic setting-related issues[J]. Geological Bulletin of China, 27(9): 1535-1550(in Chinese with English abstract).

CAGS