

冈底斯东段汤不拉斑岩型钼(铜)矿床成矿模式

康丛轩¹, 宗雯², 肖渊甫², 陶专², 胡涛³

(1. 南京地质调查中心, 江苏 南京 210016; 2. 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059;
3. 西藏自治区地质调查院, 西藏 拉萨 850000)

摘要: 汤不拉斑岩型钼(铜)矿床地处冈底斯构造带东段, 具有优越的成矿条件。通过系统研究分析其成矿地质背景、成岩成矿时间、成矿物质来源、成矿作用和矿体赋存状态等, 建立成矿模式。冈底斯斑岩型铜矿床成岩成矿时间基本集中于喜山期, 形成作用主要与新特提斯洋壳向北俯冲到拉萨地体下有关, 赋矿岩体多为中酸性钙碱系列具有埃达克质岩特征的侵入岩。该矿床成矿模式的建立对其在区域上的成矿预测及区域成矿模式的建立具有现实意义。

关键词: 冈底斯; 汤不拉斑岩型钼(铜)矿床; 成矿模式

中图分类号: P618.65; P618.41

文献标识码: A

文章编号: 1009-6248(2013)03-0083-07

Mineralization Model for Tangbula Porphyry-Type Mo (Cu) Deposit in East Gangdisi, Tibet

KANG Cong-xuan¹, ZONG Wen², XIAO Yuan-fu², TAO Zhuan², HU Tao³

(1. *Nanjing Center of Geological Survey, Nanjing 210016, China*; 2. *College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China*; 3. *Tibetan Bureau of Geology and Exploration of Mineral Resources, Lasa 850000, China*)

Abstract: Located east to Gangdisi tectonic metallogenic belt, Tangbula porphyry-type Mo (Cu) deposit boasts advantageous metallogenic conditions. The article analyzed the geological background of mineralization, the time of digenesis and mineralization, the source of ore-forming materials, the process of mineralization, the state of orebodies occurrence, and finally established a metallogenic model. Results have shown that the digenesis and mineralization of Gangdisi porphyry-type copper deposit occurred intensively in the Himalayan period, the formation is related to the northward subduction of Tethyan oceanic crust into the bottom of the Lhasa terrane. The ore-bearing rock are mainly intrusive rocks of intermediate acid calc-alkaline rock series with characteristics of adakitic rock. The mineralization pattern is of practical significance to regional mineralization forecast and metallogenic model establishment.

Key words: Gangdisi; Tangbula porphyry-type Mo (Cu) deposit; mineralization model

收稿日期: 2013-03-18; 修回日期: 2013-05-15

基金项目: 西藏自治区矿产资源潜力评价项目 (1212010881631)

作者简介: 康丛轩 (1985-), 男, 硕士, 助理工程师, 主要从事矿物、岩石、矿床学研究。E-mail: kangcongxuan@si-na.com

1 成矿地质背景

冈底斯汤不拉斑岩型铜(钼)矿床位于西藏-三江造山系, II级构造单元属于拉达克-冈底斯弧

盆系, III级构造单元属于隆格尔-工布江达复合岛弧(西藏地质调查院, 2010), 由于地处冈底斯构造带东段而具有优越的成矿条件(张兴国等, 2008)(图1)。

区域上主要发育石炭系一二叠系, 岩性为一套

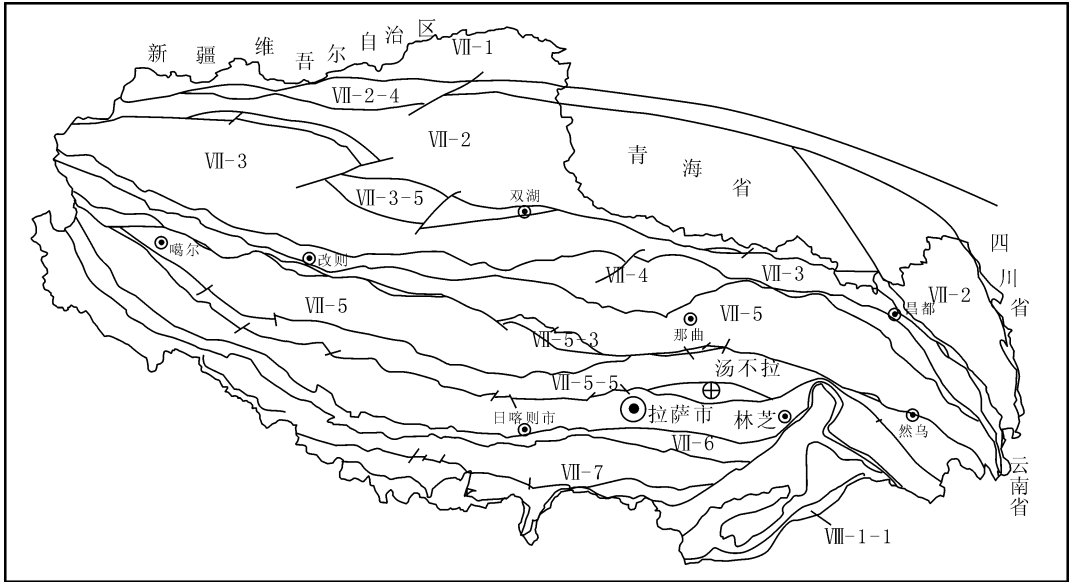


图1 矿区大地构造位置示意图(据西藏地质调查院, 2010)

Fig.1 Tectonic location scheme of typical ore deposits

Ⅶ. 西藏-三江造山系; Ⅶ-1. 巴颜喀拉地块; Ⅶ-2. 三江弧盆系; Ⅶ-2-4. 西金乌兰湖-金沙江-哀牢山蛇绿混杂岩带(C-T₂); Ⅶ-3. 羌塘湖盆系; Ⅶ-3-5. 龙木错双湖俯冲增生杂岩带(P₂₂-T₂); Ⅶ-4. 班公湖-怒江-昌宁-孟连结合带; Ⅶ-5. 拉达克-冈底斯湖盆系; Ⅶ-5-3. 狮泉河-申扎-嘉黎蛇绿混杂岩(J-K); Ⅶ-5-5. 隆格尔-工布江达复合岛弧(P、T、K); Ⅶ-6. 雅鲁藏布江结合带; Ⅶ-7. 喜马拉雅地块; Ⅷ. 印度地块; Ⅷ-1-1. 锡伐利克后碰撞压缩盆地

浅海-滨海沉积碎屑岩和生物碎屑岩。侵入岩发育, 尤以中酸性居多。燕山期与喜山期侵入岩区内均有分布(西藏地勘局区域地质调查大队, 2008)。

(1) 燕山期花岗岩的形成时间从早侏罗世一早白垩世均有分布, 年龄变化于198~89.2 Ma。形成作用主要与新特提斯洋壳向北俯冲到拉萨地体下有关, 显示了从中性→中酸性→酸性的演化特征。岩体主要呈复式岩体、岩基状, 少量呈岩株产出。岩石主要属钙碱性I型花岗岩, 花岗岩定位属主动侵位型。成岩物质主要来源于上地幔和下地壳。

(2) 喜山期花岗岩是冈底斯成矿带中出露面积最大、分布最广的花岗岩, 代表了该阶段强烈的中酸性岩浆活动。形成时间从晚白垩世至中新世, 年龄从95~8.07 Ma。同时其又可以分为3个次级岩浆活动阶段: 95~70 Ma、60~40 Ma和20~10

Ma, 分别代表了碰撞前洋壳快速俯冲、弧陆碰撞和造山后伸展3个构造演化阶段, 具有从中酸性→酸性演化的特征。同时岩体侵入深度逐渐变浅, 岩体形式早期主要呈复式岩体、岩基, 晚期主要呈小岩基、岩株和岩脉。岩石从钙碱性I型花岗岩逐渐演化为造山后A型和S型花岗岩, 定位机制从主动侵位演化为被动侵位型。成岩物质在早期主要来源于上地幔和下地壳, 晚期有一定比例上地壳物质的混入(西藏地勘局区域地质调查大队, 2008)。

侵入岩在两时期的变化主要由于拉萨地体相继经历的4次构造-岩浆事件, 即: ①印支期岛弧造山。②白垩纪陆缘弧叠加。③古近纪碰撞造山。④新近纪岩浆-变形(康从轩等, 2011)。而冈底斯构造带斑岩型铜(钼)矿床主要形成于第四次构造-岩浆事件, 也就是造山后伸展演化阶段(20

~10 Ma)。

2 矿床地质特征

汤不拉斑岩型钼（铜）矿区出露地层仅见沿沟谷分布的第四纪冲洪积、冰碛物，以及少量以残留体形式产出的前奥陶系松多岩群（AnOS），在区域上的石炭系及二叠系均未见分布。松多岩群主要为一套变质基底岩石，岩性主要以石英岩及二云片

岩为主。岩石具有不同程度的热接触变质，局部发育有混合岩化。

矿区断裂构造较为发育，主要表现为北东向、近东西向、北西向、近南北向断裂构造以及环形构造。矿区北东向、近南北向以及环形构造严格控制着矿床的产出，这些断裂构造提供了成矿空间。汤不拉钼矿体产于这 3 组断裂的交汇部位（王保弟等，2010）。这 3 组断裂是矿床的控矿、导矿和容矿构造，交叉控制了岩体及矿化的就位（图 2）。

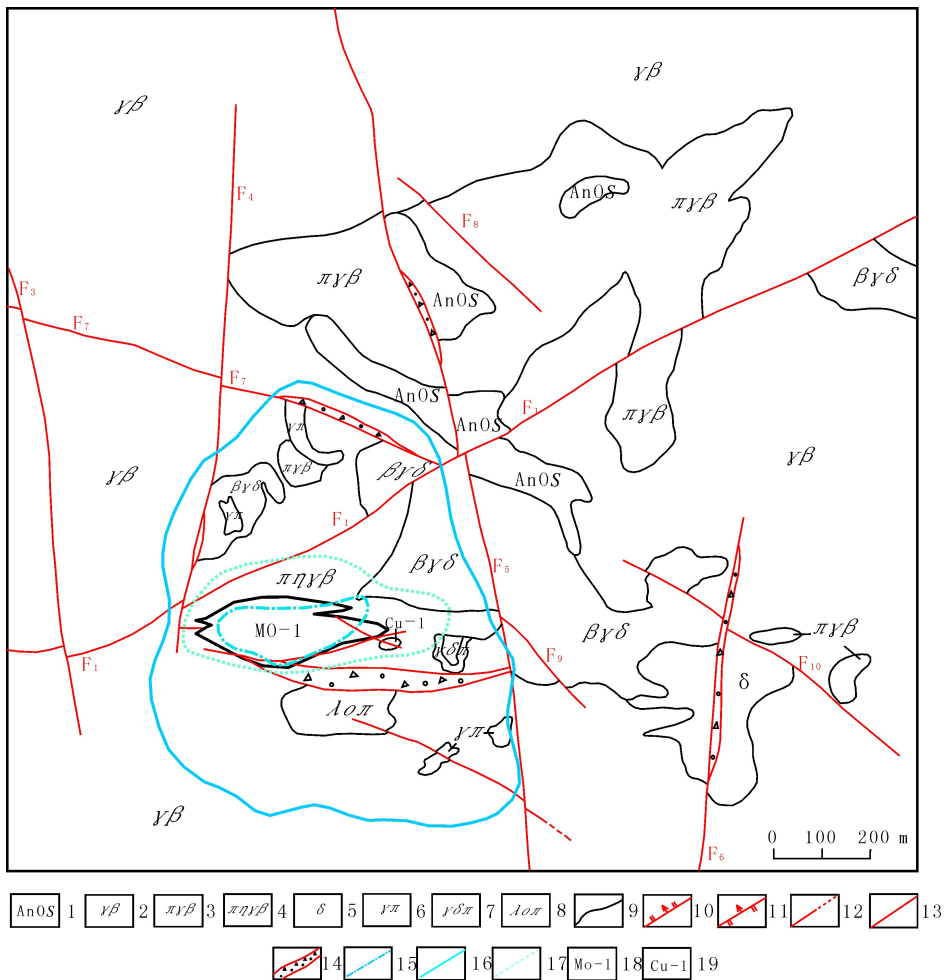


图 2 汤不拉斑岩型钼铜矿床地质要素简图（据西藏地勘局区域地质调查大队，2008 修改）

Fig. 2 Geological elements of Tangbula Porphyry molybdenum copper deposits

1. 前奥陶系松多岩群；2. 黑云母花岗岩；3. 斑状黑云母花岗岩；4. 斑状黑云母二长花岗岩；5. 闪长岩；6. 花岗斑岩；7. 花岗闪长斑岩；8. 石英斑岩；9. 地质界线；10. 正断层及产状；11. 逆断层及产状；12. 实测及推测断层；13. 性质不明断层；14. 构造破碎带；15. 钾化；16. 青磐岩化；17. 绢英岩化；18. 钼矿体及编号；19. 铜矿化及编号

研究区岩浆岩主要表现为侵入活动，侵入体数量众多，岩石类型多样，这些岩体在区域上分布范围广、面积大，多呈岩基产出，为与雅鲁藏布江北

向俯冲有关的岛弧型岩浆岩。其中区域大面积分布有深成侵入岩斑状黑云母二长花岗岩，其锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄为 (190.1 ± 1.8) Ma（西藏自

治区地质调查院, 2008), 直接参与成矿的是花岗斑岩、二长花岗斑岩和石英斑岩等, 主要以小岩株、岩枝、岩脉等侵入到早期岩体中, 在矿区呈星散状分布, 接触带围岩多数为斑状黑云母二长花岗岩和黑云母花岗岩(杨志明等, 2009)。钼矿体主要赋存于斑状黑云二长花岗岩体中, 其为研究区内重要的含矿、容矿岩石。浅成侵入岩多为区内重要的斑岩体, 岩石类型主要有花岗斑岩、二长花岗斑岩以及石英斑岩等。这些斑岩体在研究区是重要的含矿岩石。

Mo-1 钼矿体为区内主要矿体, 矿体呈东西向展布, 长 1 104 m, 南北最大宽 440 m, 呈大透镜体状、似层状。矿体产出于区内北东向 F₁、近南北向 F₃ 及近东西向 F₂ 三组断裂构造的交汇处, 矿体南界与 F₂ 断裂相一致, 矿体总体向北倾, 平均倾角 72°。矿体的形态、展布特征严格受断裂格局控制。钼矿体主要赋存于斑状黑云二长花岗岩体内, 矿石矿物以辉钼矿为主, 其次为黄铜矿、黄铁矿等, 主要呈细脉浸染状、稀疏浸染状等分布于岩体中。铜矿化体主要赋存于花岗闪长斑岩、石英斑岩体内, 斑状黑云二长花岗岩亦有分布。主要以地表氧化矿为主, 主要矿物有蓝铜矿、孔雀石、褐铁矿。

3 成矿模式

斑岩型铜(钼)矿床成矿模式的建立主要是根据成矿物质来源、蚀变矿物及其共生组合以及斑岩体系热液环流(芮宗瑶等, 2006; 夏抱本等, 2010; 向鹏等, 2013; 李文渊等, 2013)。斑岩型铜(钼)矿床的形成不论在时间还是在空间上与其构造背景都有着密不可分的联系, 所以全面考虑矿床的成因, 才可以建立完整的矿床成矿模式。冈底斯构造成矿带上的斑岩型铜矿是后碰撞伸展成矿阶段最重要的矿床类型, 冈底斯斑岩铜矿带产于雅鲁藏布江缝合带北侧、拉萨地体南缘的冈底斯构造-岩浆带中(侯增谦等, 2005; 侯增谦, 2001; 孟祥金等, 2004)。矿点及矿化点基本上沿东西向带状分布。成矿金属与成矿流体均来自含矿斑岩体系本身, 而具有埃达克质岩特征的含矿斑岩起源于新生的加厚下地壳。由于幔源物质不同程度、不同方式的添加作用, 致使新生的下地壳成分有别于古老的

下地壳, 成为含矿埃达克岩浆的重要源岩。新生的加厚下地壳部分熔融, 产生含矿埃达克质岩浆。地壳加厚(60~80 km)出现于陆内碰撞造山环境, 幔源镁铁质岩浆在地壳底部大规模底侵, 导致下地壳加厚, 并形成角闪榴辉岩质新生下地壳。冈底斯斑岩型铜矿带含矿斑岩一般为一套钾玄岩系列或高钾钙碱性系列中-酸性侵入体(芮宗瑶等, 2006; 夏抱本等, 2010), 成矿在时间和空间上都有一致性, 成矿与成岩几乎为同时。

研究区浅层侵入岩分布较广, 主要以小岩株、岩枝、脉状等侵入到岩体中, 在研究区呈星散状分布。岩石类型主要有花岗斑岩、二长花岗斑岩以及石英斑岩等, 这些斑岩体在研究区来讲都为重要的含矿岩体, 花岗斑岩及花岗闪长斑岩中获得锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄分别为 (19.80±0.20) Ma、(19.92±0.30) Ma, 能够代表岩浆的结晶年龄(图 3、图 4)。(西藏地勘局区域地质调查大队, 2008), 由这两个中性及酸性的斑岩年龄比较一致, 可以认定研究区含矿斑岩的成岩时代约 20 Ma, 为中新世早期。

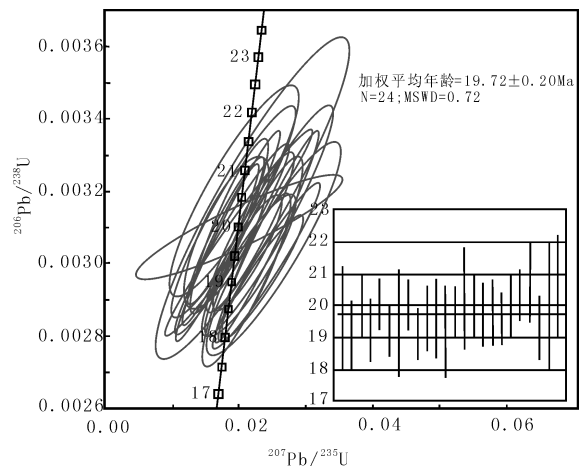


图 3 矿区含矿花岗斑岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 3 Zircon U-Pb Concordia diagram of ore-bearing porphyry granite in mining area

研究区围岩蚀变分带虽然不太明显, 但总体看矿区蚀变仍具有中心式面型分布特征, 由里向外依次为钾硅酸盐化带(局部强硅化、强钾化)—黄铁绢英岩化带—青磐岩化带, 大致呈不完整环带状分布, 各个蚀变带之间界线不清楚, 相邻的蚀变带有时相互叠加(李文渊, 2013)。矿化与广泛发育的

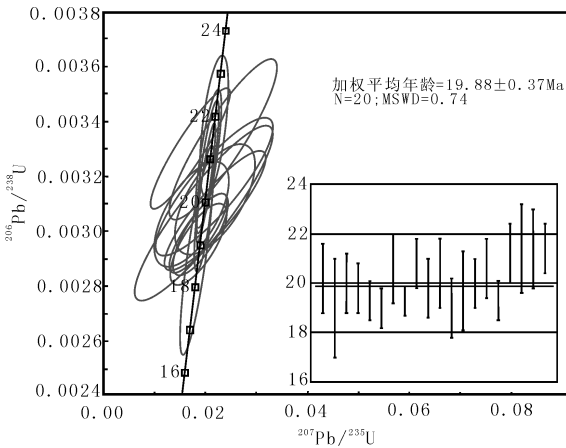


图4 矿区含矿花岗闪长斑岩锆石 U-Pb 年龄谱和图
Fig. 4 Zircon U-Pb concordia diagram of ore-bearing granodiorite-porphyry in mining area

钾化关系密切。钾化带大体上与强钼矿化带相对应，钾化带位于蚀变带的最内部，分布于矿区中部，包含了矿区的 Mo-1 矿体。蚀变矿物以钾长石和黑云母为主。钾长石有自形-半自形粒状、细脉状或呈细粒集合体产出。该蚀变带内硫化物矿物有黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿等。绢英岩化带主要发育于钾化带外侧，与钾带、青磐岩化带无明显界线，相互有叠加现象。蚀变矿物以石英和绢云母为主。热液蚀变过程中形成的次生石英，呈他形粒状，多围绕石英斑晶边缘生长而成为次生加大边，或呈脉状沿矿物解理和裂隙分布。该蚀变带内硫化物矿物为黄铁矿、铜蓝及少量的辉钼矿等。青磐岩化带位于最外圈，主要分布于矿区北外侧黑云母花岗岩、花岗闪长岩中，蚀变规模较大，分布面积最广。蚀变矿物以绿泥石和绿帘石为主。该蚀变带以黄铁矿为主（西藏地勘局区域地质调查大队，2008）。

通过对矿区岩石硅酸盐样品测试分析，矿区外围花岗岩标准矿物中皆出现了石英（Q）和刚玉分子（C），表明硅、铝皆处于过饱和状态，其 CIPW 标准矿物组合为：Q+C+An+Ab+Or。MME 包体 CIPW 标准矿物出现了石英（Q），没有出现刚玉分子（C），表明硅饱和、铝不饱和状态，其 CIPW 标准矿物组合为：Q+An+Ab+Or+Di。分异指数 DI 花岗岩为 73~82，MME 包体为 44~47。花岗岩固结指数 SI 平均为 7.58，碱度率 AR 平均为 1.96， A/CNK 变化范围较大，变化于 1.02~1.37，为偏铝质-过铝质岩石，指示岩浆来

源为壳幔。里特曼指数 δ 为 1.02~1.78，属钙碱性岩石系列。 $Mg^\#$ 值变化于 33.02~45.01，平均为 38.12。 $Mg^\#$ 值相对壳源源区偏高，反映了岩浆源区有幔源物质的加入。MME 包体固结指数 SI 平均为 23.36，碱度率 AR 平均为 1.70， A/CNK 变化于 0.88~1.12，为准铝质-偏铝质岩石，指示 MME 包体岩浆来源可能为幔源。 $Mg^\#$ 值平均为 56.21，值明显偏高。MME 包体有着比寄主岩石更高的 $Mg^\#$ 值和更低的过铝指数，暗示二者可能有着不同的源区属性或者不同的岩石成因。在矿区花岗岩体硅-全碱图解中（图 5），样品落入亚碱性岩石系列区。矿区外围花岗岩类的成因类型是由部分熔融作用形成的壳幔混合源 S-I 型花岗岩（西藏地勘局区域地质调查大队，2008）。

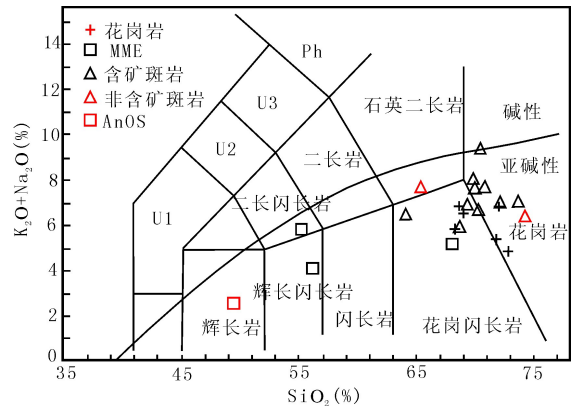


图5 汤不拉矿区侵入岩 $SiO_2-K_2O+Na_2O$ 图解
Fig. 5 $SiO_2-K_2O+Na_2O$ illustrations for intrusive rocks in Tangbula mining area

含矿斑岩 SiO_2 为 67.23%~73.34%，属于酸性岩范畴。 Al_2O_3 为 14.62%~19.13%，含量普遍较高。 Fe_2O_3 平均为 2.03%， MgO 变化于 0.39~0.85%。 CaO 平均为 1.79%，全碱含量为 5.80%~10.23%，总体碱含量较高，属于高钾系列。标准矿物中全部样品都出现石英分子（Q）和刚玉分子（C），Si、Al 皆处于饱和状态，其 CIPW 标准矿物组合为：Q+C+An+Ab+Or。分异指数 DI 为 78~90，平均为 83。固结指数 SI 平均为 9.76，表明岩浆的结晶分异程度较高。过铝指数 A/CNK 绝大部分样品变化于 1.02~1.56，属偏铝质-过铝质岩石，暗示岩浆来源主体应为壳源，可能有幔源物质的加入。 $Mg^\#$ 值变化为 39~58，平均为

46.5, 明显偏高。在矿区浅成岩体 $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ 中 (图 5), 研究区含矿斑岩体全部落入中钾-高钾钙碱性系列, 说明含矿斑岩体属于中钾-高钾钙碱性系列岩。总体来看, 含矿斑岩体具有高钾高 $\text{Mg}^\#$ 的特征 (西藏地勘局区域地质调查大队, 2008)。

4 结论

由上述因素总结并建立理想化汤不拉斑岩型钼

(铜) 矿床成矿模式图 (图 6)。

矿床成矿金属与成矿流体均来自含矿斑岩体系本身, 矿区蚀变具有中心式面型分布特征, 由里向外依次为钾硅酸盐化带—黄铁绢英岩化带—青磐岩化带, 钼矿化主要集中于钾化带内, 铜矿化主要集中于绢英岩化带内, 钼矿体主要赋存于斑状黑云母二长花岗岩内, 铜矿体主要赋存于花岗斑岩、石英斑岩及闪长斑岩体内, 其他沉积盖层由老到新依次叠加为: 前奥陶系松多岩群、石炭系诺错组、侏罗

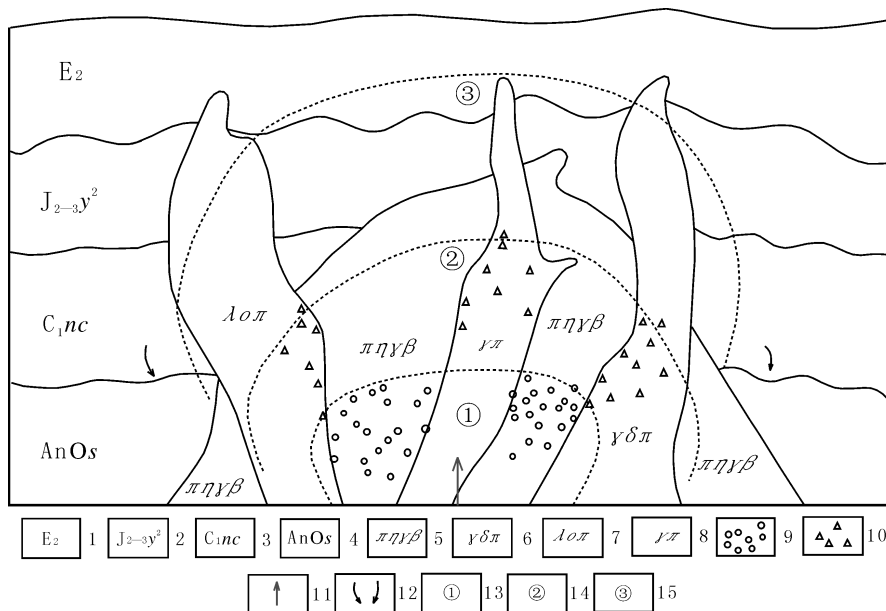


图 6 汤不拉斑岩型钼 (铜) 矿床成矿模式图

Fig. 6 Metallogenetic models for molybdenum copper deposits of Tangbula Porphyry

1. 古近系凝灰岩; 2. 侏罗系叶巴组; 3. 石炭系诺错组; 4. 前奥陶系松多岩群; 5. 斑状黑云母二长花岗岩;
6. 花岗闪长斑岩; 7. 石英斑岩; 8. 花岗斑岩; 9. 浸染状钼矿体 (化); 10. 浸染状铜矿化; 11. 岩浆热液 (水); 12. 循环地下水; 13. 钾化带; 14. 绢英岩化带; 15. 青磐岩化带

系叶巴组、古近系凝灰岩 (Andersen T., 2002; 李继亮等, 2013)。结合岩体穿切关系, 建立起一个较为理想化的成矿模式体系, 并能反映成矿时环境。

参考文献 (References):

张兴国, 王保弟, 夏抱本. 冈底斯成矿带东段汤不拉斑岩钼 (铜) 矿的发现及意义 [J]. 地质通报, 2008, 27 (6): 837-843.

Zhang Xingguo, Wang Baodi, Xia Baoben. Discovery of the Tangbula porphyry molybdenum-copper deposit in the

eastern segment of the Gangdise metallogenic belt and its significance [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27 (6): 837-843.

西藏地勘局区域地质调查大队, 西藏林芝工布江达县汤不拉矿区铜钼矿普查地质报告 [R]. 2008.

Regional geological survey team of Tibet Bureau of Geology and mineral exploration. Tibet Linzhi Tangbula mine Gongbo' gyamda County copper-molybdenum deposit geological report of the census [R]. 2008.

康丛轩, 肖渊甫, 宗雯, 等. 冈底斯东段汤不拉斑岩型钼 (铜) 矿床地质特征及找矿前景 [J]. 矿物学报, 2011, 28 (S1): 353-354.

Kang Congxuan, Xiao Yuanfu, Zong Wen. Geological char-

- acteristics and prospecting Gangdese porphyry molybdenum copper deposit in eastern Tangbula [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2011, 28 (S1): 353-354.
- 王保弟, 许继峰, 陈建林, 等. 冈底斯东段汤不拉斑岩 Mo-Cu 矿床成岩成矿时代与成因研究[J]. *岩石学报*, 2010, 26 (6): 1820-1832.
- Wang Baodi, Xu Jifeng, Chen Jianlin. Petrogenesis and geochronology of the ore-porphyrific rocks in Tangbula porphyry molybdenum-copper deposit in the eastern segment of the Gangdese metallogenic belt [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26 (6): 1820-1832.
- 杨志明, 侯增谦. 初论碰撞造山环境斑岩铜矿成矿模式 [J]. *矿床地质*, 2009, 28 (5): 515-538.
- Yang Zhiming, Hou Zengqian. Porphyry Cu deposits in collisional orogen setting: A preliminary genetic model [J]. *Mineral Deposits*, 2009, 28 (5): 515-538.
- 芮宗瑶, 侯增谦, 李光明等. 冈底斯斑岩铜矿成矿模式 [J]. *地质评论*, 2006, 52 (4): 459-466.
- Rui Zongyao Hou Zengqian, Li Guangming. A Genetic Model for the GandisPorphyry Copper Deposits [J]. *Geological Review*, 2006, 52 (4): 459-466.
- 夏抱本, 夏斌, 王保弟, 等. 汤不拉含矿斑岩的形成时代及其对斑岩铜矿的制约[J]. *大地构造与成矿学*, 2010, 34 (2): 291-297.
- Xia Baoben, Xia Bin, Wang Baodi. Formation Time of the Tangbula Porphyry Mo-Cu Deposit: Evidence from Shrimp Zircon U-Pb Dating of Tangbula Ore-Bearing Porphyries [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2010, 34 (2): 291-297.
- 向鹏, 姚书振, 周宗桂. 青海加当根斑岩型铜钼矿床岩石地球化学特征及其成因认识[J]. *西北地质*, 2013, 46 (1): 139-153.
- Xiang Peng, Yao Shuzhen, Zhou Zonggui. Geochemistry and Genesis of Igneous Rocks in Jiadanggen Porphyry Cu (Mo) Deposit, Qinghai Province, China [J]. *Northwestern Geology*, 2013, 46 (1): 139-153.
- 李文渊. 大陆生长演化与成矿作用讨论[J]. *西北地质*, 2013, 46 (1): 1-10.
- Li Wenyuan. The Continental Growth and Ore-Forming Processes [J]. *Northwestern Geology*, 2013, 46 (1): 1-10.
- 侯增谦, 孟祥金, 曲晓明, 等. 西藏冈底斯斑岩铜矿带埃达克质斑岩含矿性: 源岩相变及深部过程约束[J]. *矿床地质*, 2005, 24 (2): 108-121.
- Hou Zengqian, Meng Xiangjin, Qu Xiaoming, et al. Copper ore potential of adakitite intrusives in Gangdese porphyry copper belt: Constrains from rock phase and deep melting process [J]. *Mineral Deposits*, 2005, 24 (2): 108-121.
- 侯增谦, 曲晓明, 黄卫, 等. 冈底斯斑岩铜矿成矿带有望成为西藏第二条玉龙铜矿带[J]. *中国地质*, 2001, 28: 27-29.
- Hou Zengqian, Qu Xiaoming, Huang Wei, et al., Modes of occurrence of gold in supergene medium in arid areas of northern China [J]. *China Geologist*. 2001, 28: 27-29.
- 孟祥金, 侯增谦, 高永丰, 等. 碰撞造山型斑岩铜矿蚀变分带模式—以西藏冈底斯斑岩铜矿带为例[J]. *地学前缘*, 2004, 11 (1): 201-214.
- Meng Xiangjin, Hou Zengqian, Gao Yongfeng. The alteration zoning model of porphyry copper deposit in collisional orogen: case studies of porphyry copper deposits in gangdise belt tebet [J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11 (1): 201-214.
- 李继亮, 陈隽璐, 白建科, 等. 造山带沉积学系列之一—弧造山带的弧前沉积[J]. *西北地质*, 2013, 46 (1): 11-21.
- Li Jiliang, Chen Juanlu, Bai Jianke. Orogenic Sedimentology Series I-Sedimentations in the Forearc of Orogenic Belts [J]. *Northwestern Geology*, 2013, 46 (1): 11-21.
- 西藏自治区地质调查院. 冈底斯东段斑岩型铜钼矿规律研究[R]. 2008.
- Tibet Bureau of Geology and Exploration of Mineral resources. Study on the law of the Gangdese porphyry copper molybdenum deposit [R]. 2008.
- Allegre CJ, Courtillot V, Tapponnier P, et al. Structure and evolution of the Himalaya-Tibet orogenic belt. *Nature*, 1984, 307: 17-22.
- Andersen T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report Pb [J]. *Chemical Geology*, 2002, 192 (1-2): 59-79.