

汤不拉含矿斑岩的形成时代及其对斑岩钼铜矿的制约

夏抱本^{1,3}, 夏斌², 王保弟², 李建峰², 张兴国¹, 王英超⁴

(1. 西藏地勘局 区域地质调查大队, 西藏 拉萨 851400; 2. 中国科学院 广州地球化学研究所油气与资源研究中心, 广东 广州 510640; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 4. 中海油能源发展股份有限公司 湛江南海西部研究院, 广东 湛江 524057)

摘要:对汤不拉钼铜矿床斑岩体进行了 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 同位素定年, 获得其成岩年龄为 $(19.88 \pm 0.38) \text{Ma}$ 表明斑岩体与矿化的形成时间一致, 为中中新世中期; 含矿斑岩元素地球化学特征表明, 其与冈底斯成矿带其它斑岩型矿床的含矿斑岩类似, 具有埃达克质岩的地球化学属性, 并同时具有高钾、高铝特征, 与起源于俯冲洋壳熔融形成的埃达克岩构造背景不同。本文认为汤不拉含矿斑岩为新生增厚下地壳在上涌软流圈热流影响下部分熔融的产物, 同时上升的埃达克质岩浆萃取源区金属元素, 在后碰撞伸展构造环境下由于温度、压力的释放形成斑岩型矿床。

关键词:汤不拉斑岩铜矿; 锆石 U-Pb 同位素定年; 含矿斑岩

中图分类号: P597 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1552(2010)02-0291-07

0 引言

冈底斯斑岩铜矿带位于西藏腹地冈底斯地块南缘的冈底斯造山带中, 冈底斯地块南北缘分别以雅鲁藏布江缝合带和班公湖-怒江缝合带为界, 自中生代以来冈底斯带大致经历了晚侏罗世-早白垩世火山-岩浆弧阶段、中-晚白垩世火山-岩浆弧阶段、古新世-始新世碰撞造山阶段和随后的后碰撞伸展阶段等多个构造演化阶段(西藏自治区地质矿产局, 1993)。在南北两大板块之间俯冲、碰撞及后碰撞伸展等构造演化过程中, 伴随着不同级别、不同期次大型走滑断裂构造的形成, 深部物质出现部分熔融, 壳幔之间发生大规模的物质、能量交换, 造成广泛而强烈的火山-岩浆活动, 形成了钙碱性-高钾钙碱性-钾玄岩系列岩浆杂岩体(侯增谦等, 2004; 2005; 2006; 曲晓明等, 2004; 曲晓明和辛洪波, 2006; Hou et al., 2004; 夏抱本等, 2007)。这些岩浆岩具有分布广、期次多、规模大和时代新的特

点, 形成了现今展布于冈底斯南缘, 东西长逾 2000km 的大规模火山岩-花岗质侵入岩。近年来冈底斯带内的矿产勘察评价工作取得了重大突破, 在冈底斯中东段目前发现的具有代表性的矿床有: 墨竹工卡县驱龙铜矿、工布江达县汤不拉钼铜矿、吹败子铜矿、得明顶铜矿、尼木县冲江铜矿、厅宫铜矿、达孜县拉抗俄铜矿和曲水县达布铜钼矿(郑有业等, 2004a; 2004b; 2006; 2007; 侯增谦等, 2005; 夏抱本等, 2007; 张兴国等, 2008; 莫济海等, 2006), 这些不断发现的与碰撞造山作用有关的矿床或矿集区, 表明冈底斯岩浆岩带是研究大陆碰撞过程与成矿作用的理想地区(侯增谦等, 2005)。尤其汤不拉斑岩型钼铜矿床的发现, 使冈底斯斑岩铜矿带向东延伸了上百公里, 也使得其进一步向世界级斑岩铜矿带靠拢。本文选择汤不拉斑岩型钼铜矿中的含矿斑岩(07TBL-15), 分析其成岩年代, 以便对成岩、成矿作用作进一步的制约。同时为了更好的约束其地球化学性质, 作者对定年样品进行了地球化学分析。

收稿日期: 2009-06-08 改回日期: 2009-10-24

第一作者简介: 夏抱本(1962-), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向为矿产地质学、生态环境地质学。通信作者: 夏斌, Email: xiab in01@ gn ail com

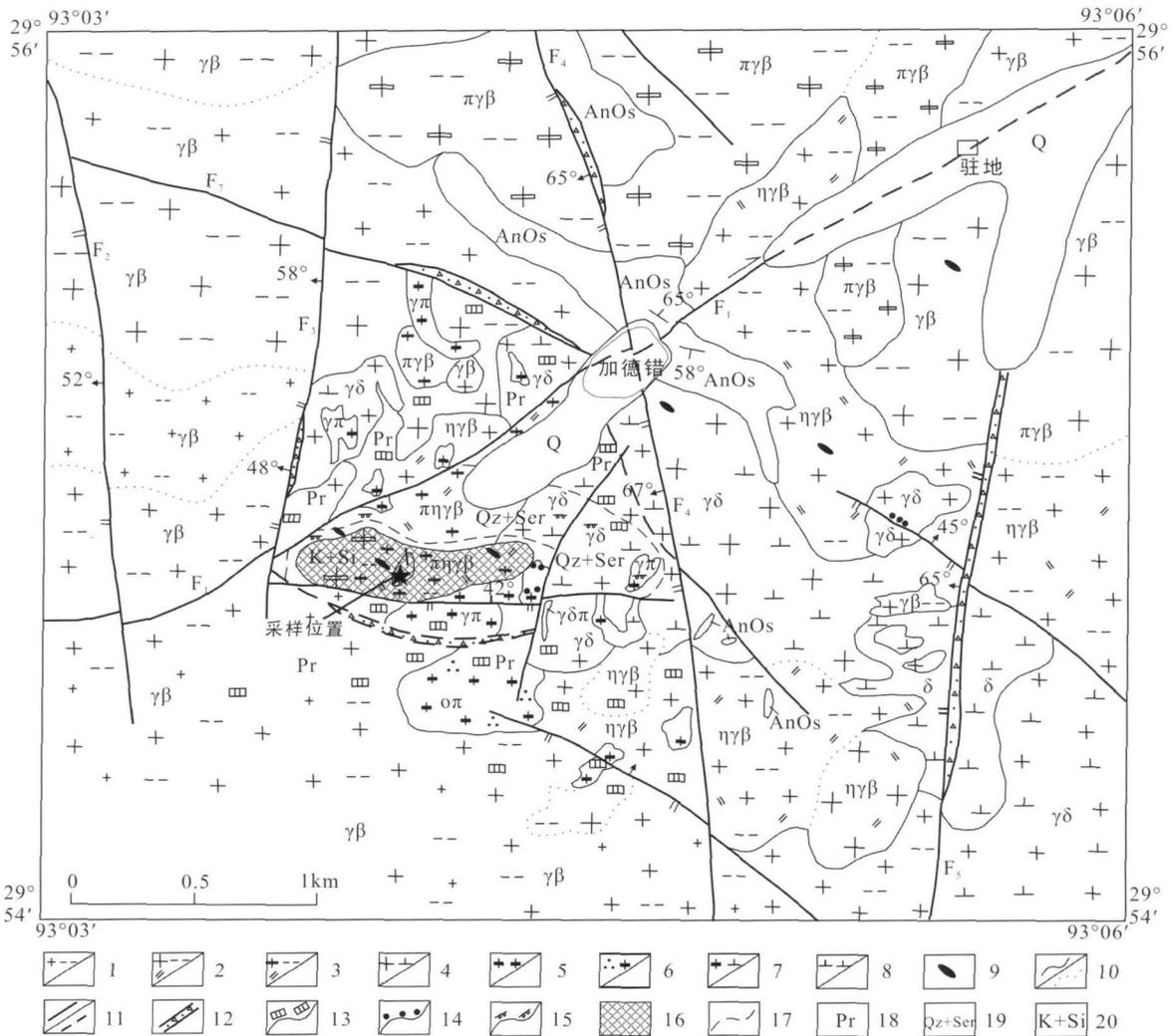
1 矿区地质及岩石岩相学特征

汤不拉斑岩铜矿位于冈底斯东段火山 - 岩浆弧之中酸性杂岩带中 (西藏自治区地质矿产局, 1993), 区内为大面积岩浆岩分布区 (图 1), 南距雅鲁藏布江结合带约 80km。在矿区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纪松多岩群 (AnOs) 出露; 在矿区内部出露的侵入岩主要为斑状黑云母二长花岗岩、粗粒 - 中细粒黑云母花岗岩、花岗斑岩、石英斑岩、二长花岗斑岩、花岗闪长斑岩以及浅灰色中细粒黑云母花岗岩, 而直接参与成矿的是花岗闪长斑岩、花岗斑岩

和石英斑岩等斑岩, 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; 其中斑状黑云母二长花岗岩是重要的容矿岩石, 矿石品位较富 (图 1)。

花岗斑岩: 斑状结构, 块状构造, 斑晶大小为 1 ~ 3mm。斑晶主要成分为石英 5% ~ 10%、中长石 10% ~ 15%、黑云母 3% ~ 4%。基质为显微细晶结构, 主要成分为石英 20% ~ 30%、中长石 20% ~ 25%、正长石 7% ~ 10%、黑云母 1% ~ 2%、金属硫化物 1% ~ 2%。副矿物主要为磷灰石、锆石等。该类岩石常发育有细脉浸染状、稀疏浸染状辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿等矿物。

石英斑岩: 斑状结构, 块状构造, 斑晶大小约 2



Q 第四系 (未分); AnOs 前奥陶纪松多岩群; 1 黑云母花岗岩; 2 黑云二长花岗岩; 3 似斑状黑云二长花岗岩; 4 黑云母花岗闪长岩; 5 花岗斑岩; 6 石英斑岩; 7 花岗闪长斑岩; 8 闪长岩; 9 闪长质包体; 10 岩性界线、岩相界线; 11 断层及产状; 12 构造破碎带; 13 黄铁矿化; 14 黄铜矿化、孔雀石化; 15 辉钼矿化; 16 辉钼矿 (化) 体; 17 蚀变带界线; 18 青磐岩化带; 19 石英绢云母化带; 20 钾硅酸盐化带。

图 1 冈底斯东段汤不拉斑岩钼铜矿区地质简图 (据张兴国等, 2008)

Fig 1 Simplified geological map of the Tangbula Porphyry Mo-Cu ore district in the east segment of Gangdese

~ 3mm, 个别可达 5mm, 基质为隐晶质 - 细晶结构。斑晶成分为石英, 无色, 它形粒状, 含量约 10% ~ 20%, 玻璃光泽强烈, 与基质界线明显。基质成分主要为石英 (30% ~ 35%)、中长石 (50% ~ 55%)、黑云母 (3% ~ 5%) (部分已变为绿泥石)。副矿物为磷灰石、锆石等。主要蚀变有绢云母化、黝帘石化等, 该类岩石是矿区主要含铜矿岩石, 主要金属矿物有黄铜矿、磁铁矿、黄铁矿及零星的辉钼矿。

花岗闪长斑岩: 斑状结构, 块状构造, 斑晶大小约 1~ 3mm, 基质为微晶结构。斑晶成分为石英, 无色, 它形粒状, 含量 5% ~ 10%; 斜长石, 板条状, 含量 5% ~ 10%, 晶面浑浊。基质成分主要为石英 (35%)、中长石 (57%)、黑云母 (5%)。副矿物为磷灰石、锆石等。该类岩石主要蚀变有绢云母化、黝帘石化等, 该类岩石是矿区主要含钼、铜矿岩石, 主要金属矿物有辉钼矿、黄铜矿、辉铜矿和黄铁矿等。辉钼矿主要以细脉浸染状、微细脉浸染状、薄膜状和零星浸染状产于此岩石之中。

斑状黑云母二长花岗岩: 似斑状结构, 块状构造, 斑晶大小一般为 1~ 3cm, 最大可达 3~ 5cm, 基质大小为 1~ 8mm 不等; 斑晶成分主要为斜长石, 含量约 5% ~ 15%, 常发育有聚片双晶, 受后期蚀变影响, 双晶多模糊; 基质主要成分为斜长石和钾长石 (微斜长石 + 条纹长石), 二者含量近于相等, 均在 25% ~ 38% 之间变化。斜长石为厚板状, 具少量不清晰环带, 牌号 An18~ 30 为中 - 更长石; 钾长石以微斜长石为主, (010) \wedge Ng = 2° ~ 18°, 三斜度为 0.2 ~ 0.1。基质次要成分为黑云母, 常呈棕褐色, 含量约 5% ~ 15%; 石英, 无色, 呈他形粒状, 含量 25% ~ 32%; 副矿物主要有磷灰石、斜黝帘石、独居石、锆石和金属矿物等。该类岩石主要蚀变有绢云母化、绿泥石化、硅化、钾化和钠化等, 为矿区主要容矿岩石, 岩体内发育细脉浸染状、稀疏浸染状辉钼矿、黄铜矿和黄铁矿等矿物。

汤不拉矿区内主要金属矿化有辉钼矿、黄铜矿、辉铜矿、黄铁矿和磁铁矿等。其中辉钼矿为区内的主要矿化, 主要以薄膜状、细脉浸染状及微细脉浸染状及零星浸染状产于花岗闪长斑岩、花岗斑岩、石英斑岩以及接触带围岩斑状黑云母二长花岗岩中, 辉钼矿大多为自形细小鳞片状结构, 鳞片大小不一, 多数小于 1mm, 金属光泽, 硬度低, 污手; 集合体常呈束状、放射状。

矿区断裂构造较为发育, 主要表现为北东向、北西向、近东西向、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, 这些断裂构造体系对岩体的就位与含矿热液的沉淀成矿具有重要的作用, 提供了成矿空间, 汤不拉 Mo-Cu 矿体产于这三组断裂的交汇部位。

2 采样与锆石分选

样品 (07TBL-15) 采自汤不拉斑岩钼铜矿区, 采样位置如图 1。为挑选到足量、大小合适、晶形良好的锆石, 将 1~ 2kg 样品人工破碎至 1cm³、放入直径 20cm 不锈钢钵中, 置于 XZW 100 型振动磨样机 (1.1/0 75kW) 研磨 3~ 5 秒后过 0.4mm 一次性孔径筛, 如此反复至样品均通过 0.4mm 孔径筛, 经铝制淘洗盘淘洗富集重矿物, 然后先经磁选将磁性矿物分离, 再分别在依次 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 电流下让样品通过电磁选仪器, 获得的非电磁性矿物, 再进行淘洗富集锆石, 最后在双目镜下手工挑选锆石, 整个分选流程使用装置可彻底清洗, 避免了混染。

3 测试方法和精度

将所有的锆石颗粒在双目镜下按晶形用双面胶粘在玻璃基板上, 然后去掉玻璃基板, 在细砂纸上小心地粗磨使锆石晶体揭露出来, 之后抛光制成样品靶, 然后, 在广州地球化学研究所同位素年代学及地球化学重点实验室进行锆石晶体的阴极发光 (CL) 观察和分析, 以确定锆石颗粒的内部结构, 寻找保存完好的晶体部位, 进行 LA-ICP-MS 测定。这样, 既可以避免在测定过程中发生 Pb 丢失的部位, 又可以避免锆石晶体的边、幔、核之间过渡或混合部位, 以确保年龄的可靠性及其明确的地质意义。

锆石中 Pb, U 和 Th 的同位素成分分析在中国地质大学 (武汉) 地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。其激光 - 电感耦合等离子质谱仪由美国 PE 公司生产的 ELAN 6100 DRC 型 ICP-MS 和德国 Lambda Physik 公司的 ComPex 102 激光器以及 Microlas 公司的 GedLas 200M 光学系统组成。激光器为 ArF 193nm 准分子激光器, 单脉冲能量为 200mJ, 激光斑束直径为 30 μ m; 最高重复频率 20Hz, 平均功率 4W。经光学系统匀光和聚焦, 能量密度可达 20J/cm²。采用激光剥蚀进样。本次测试设置的剥蚀坑直径为 30~ 50 μ m, ICP-MS 为 Agilent 7500。测试过程中, 用 NIST 610 来计算 Th, U 含量, 用标准锆石 91500 做年代校正。分析流程为: 2 个标准样品 + 5 个样品 + 2 个标准样品 + 5 个样品。工作条件

为 Power 1200W; Nebulizer gas 0.55L/min; Auxiliary gas 1.0L/min; Plasma gas 13L/min; 激光能量为 30kV, 180±2mJ; He 气流速为 1880scm。样品的同位素比值及元素含量采用 GLITTER (ver 4.0 Macquarie University) 软件进行计算, 普通 Pb 的校正用 ComPbCor#3_15 by Tam Andosen xls (Andersen, 2002) 来进行, 年龄计算及协和图的分析采用 Isoplot (ver 2.06) 完成 (Ludwig, 2003), 详细分析步骤和数据处理方法参见文献 (Gao et al., 2002; Yuan et al., 2004; Wang et al., 2006)。

4 分析结果

分析锆石粒度约为 100 μm × 250 μm , 阴极发光照相显示锆石具有良好的晶形, 结构比较简单 (图 2), 显示细密而规则的振荡结晶环带, 属典型的岩浆锆石。根据阴极发光照片选择测点位置, 测点尽量避开裂隙处。由测年结果 (表 1) 可见 U、Th 含量分别介于 123.89~440.8 $\mu\text{g/g}$ 、69.08~503 $\mu\text{g/g}$ 之间, 放射成因 Pb 含量非常低 (< 2.05 $\mu\text{g/g}$), Th/U 介于 0.37~1.22, 绝大多数大于 0.5, Th/U 比值的

平均值为 0.745, 表明锆石为典型的岩浆结晶锆石, 与阴极发光图像的特征一致。所有 24 个测点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 19.0~21.4Ma 之间, 加权平均年龄值为 (19.88±0.37)Ma (2 σ , MSWD=0.74, 见图 3), 即含矿斑岩的形成年龄。

5 定年样品的地球化学特征

为了更好地约束成矿作用, 本文对定年样品进行了地球化学分析。主微量元素分析在中国科学院广州地球化学研究所同位素年代学与地球化学重点实验室完成, 具体步骤和分析精度参照李献华等 (2002) 和刘颖等 (1996), 分析结果见表 2。

主量元素分析结果在 TAS 图上 (图略) 投点于花岗闪长岩区, 显示含矿斑岩属于花岗闪长斑岩。A/CNK=1.07, 属于偏铝质岩石, 暗示岩浆来源主体应为壳源, 可能有幔源物质的贡献。在 $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ 图中 (图略), 样品投点于中钾钙碱性系列岩石区域。由此看来, 汤不拉斑岩钼铜矿含矿斑岩具有高铝和高钾的特征。

定年样品稀土元素含量 ΣREE 较小 (75.98

表 1 汤不拉斑岩钼铜矿区花岗闪长斑岩锆石 U-Pb 定年分析结果

Table 1 Zircon U-Pb dating results for granodioritic porphyry in Tangbula porphyry Cu-Mo deposit

测点	U		Th		Pb ^f		Th/U	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	
	$\mu\text{g/g}$		$\mu\text{g/g}$		$\mu\text{g/g}$								Age	σ	Age	σ
07FBL-15-01	166.89	113.17	0.75	0.68	0.01101	0.02225	0.0047	0.00314	0.00011	20.2	0.7	22.0	5.0			
07FBL-15-02	144.73	83.03	1.09	0.57	0.00459	0.01912	0.00147	0.00301	0.00019	19.0	1	19.0	1.0			
07FBL-15-03	289.33	191.48	1.56	0.66	0.0021	0.01968	0.00067	0.0031	0.00009	20.0	0.6	19.8	0.7			
07FBL-15-04	249.11	171.49	1.89	0.69	0.00501	0.01956	0.00208	0.00308	0.00007	19.8	0.5	20.0	2.0			
07FBL-15-05	412.15	503.92	2.05	1.22	0.00569	0.01902	0.00231	0.00299	0.00006	19.3	0.4	19.0	2.0			
07FBL-15-06	305.91	313.31	1.80	1.02	0.00562	0.01875	0.00225	0.00295	0.00006	19.0	0.4	19.0	2.0			
07FBL-15-07	194.35	135.37	0.87	0.70	0.0113	0.03726	0.00483	0.0032	0.00011	20.6	0.7	37.0	5.0			
07FBL-15-08	440.80	162.32	1.97	0.37	0.00121	0.01902	0.00038	0.00299	0.00005	19.3	0.3	19.1	0.4			
07FBL-15-09	393.42	390.22	2.01	0.99	0.00524	0.02051	0.00229	0.00323	0.00007	20.8	0.5	21.0	2.0			
07FBL-15-10	186.71	126.09	0.79	0.68	0.00927	0.02246	0.00388	0.00307	0.00009	19.8	0.6	23.0	4.0			
07FBL-15-11	200.68	157.53	1.00	0.78	0.00218	0.02011	0.00068	0.00317	0.0001	20.4	0.7	20.2	0.7			
07FBL-15-12	254.26	265.84	1.58	1.05	0.01804	0.05413	0.00712	0.00295	0.0001	19.0	0.6	54.0	7.0			
07FBL-15-13	191.1	183.68	0.87	0.96	0.01325	0.02007	0.00554	0.00306	0.00013	19.7	0.8	20.0	6.0			
07FBL-15-14	137.06	76.78	0.68	0.56	0.00187	0.0197	0.00059	0.0031	0.00008	20.0	0.5	19.8	0.6			
07FBL-15-15	123.89	69.08	0.78	0.56	0.0022	0.02036	0.00076	0.00321	0.0001	20.6	0.6	20.5	0.8			
07FBL-15-16	227.87	145.12	1.02	0.64	0.00137	0.01907	0.00041	0.003	0.00006	19.3	0.4	19.2	0.4			
07FBL-15-17	369.79	181.69	1.99	0.49	0.00224	0.0211	0.00088	0.00332	0.00008	21.4	0.5	21.0	1.0			
07FBL-15-18	167.12	120.28	1.38	0.72	0.00334	0.02108	0.00127	0.00332	0.00013	21.4	0.9	24.0	4.0			
07FBL-15-19	211.45	176.96	0.96	0.84	0.00717	0.01736	0.00323	0.0033	0.00009	21.2	0.6	17.0	3.0			
07FBL-15-20	208.39	148.69	1.04	0.71	0.00958	0.02375	0.00431	0.00333	0.00012	21.4	0.8	21.2	0.9			

注: 分析测试单位为中国地质大学 (武汉) 地质过程与矿产资源国家重点实验室。Pb^f 为放射性成因铅。

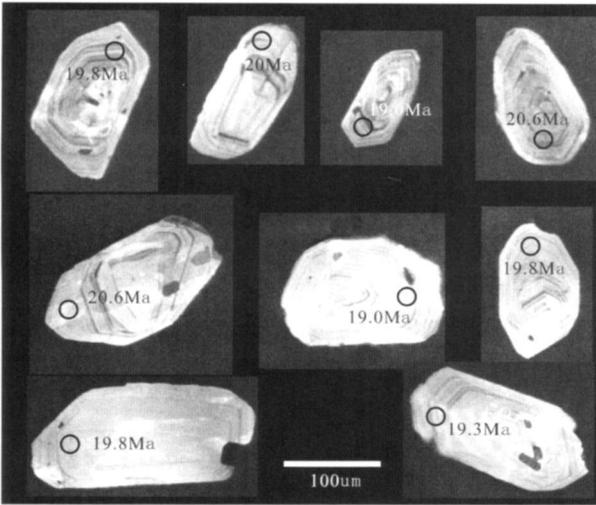


图 2 汤不拉花岗闪长斑岩代表性锆石阴极发光照片
 Fig 2 Cathodoluminescence images of representative zircons from Tangbuh granodioritic porphyry

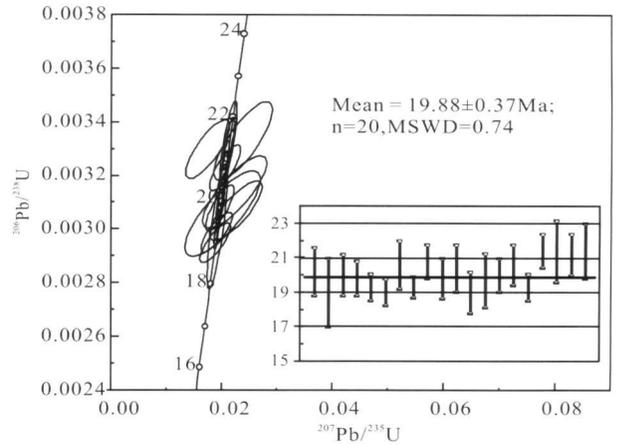


图 3 汤不拉花岗闪长斑岩锆石 U-Pb 年龄谱和图
 Fig 3 Zircon SHRIMP U-Pb concordia diagram for Tangbuh granodioritic Porphyry

表 2 汤不拉斑岩钼铜矿区花岗闪长斑岩定年样品 (07TBL-15) 元素地球化学分析结果 (主量%, 微量 µg/g)

Table 2 Geochemical analysis results for granodioritic porphyry (07TBL-15) from Tangbuh porphyry Cu-Mo deposit

SD ₂	TD ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ ^T	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total	M _g [#]
63.82	0.8	18.05	4.67	0.07	1.55	4	4.46	2.08	0.129	0.86	100.49	43.6
Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	Rb	Sr	Zr	Nb
4.599	76.4	11.46	5.402	11.61	138.2	45.87	20.38	1.28	83.86	969.8	101.6	4.294
Cs	Ba	Hf	Ta	Pb	Th	U	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu
3.042	502.4	3.054	0.264	9.534	2.599	0.948	14.91	30.88	4	15.53	2.506	0.956
Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	REE			
1.593	0.18	0.817	0.136	0.342	0.048	0.32	0.05	3.711	75.98			

µg/g), LREE/HREE 为 9.56, 属轻稀土富集型。ΣEu 为 1.38。含矿斑岩定年样品具有较低的 HREE (Yb 为 0.32µg/g) 和 Y 含量 (Y 为 3.711µg/g), 较高的 Sr/Y (261.33) 和 (La/Yb)_N (33.42) 比值, 具有与埃达克岩相似的地球化学特征。在其微量元素原始地幔蛛网图 (图略) 中曲线向右倾斜, 富集大离子亲石元素 (如 Rb, Ba, Th), 亏损高场强元素 Nb, Ta 呈现低谷负异常。

6 讨论

汤不拉斑岩型钼铜矿床位于冈底斯岩浆弧的东段, 该矿床的发现使冈底斯斑岩铜矿带向东延伸了上百公里 (张兴国等, 2008)。本文对汤不拉钼铜矿床斑岩体进行了 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 同位素定年, 获得了其成岩年龄为 (19.88 ± 0.38)Ma。

近年来, 对于冈底斯成矿带的成岩、成矿时代的

研究取得了较大进展。侯增谦等 (2003) 和孟祥金等 (2003) 据该带含矿斑岩体矿化 Re-Os 年龄提出成矿时代在 14Ma 左右。林武等 (2004) 现有汇总的资料表明, 冈底斯矿带含矿斑岩成岩成矿时代在 12 ~ 18Ma 之间, 岩浆活动时限约为 6Ma。

结合前人研究资料, 以及本文所获得的汤不拉含矿斑岩年龄, 本文对冈底斯斑岩成矿带的成岩成矿时限归纳如下: 冈底斯斑岩成矿带成岩时代主要集中在 20~11Ma, 成矿时代集中在 16.5~13.5Ma, 并且具有以下特征: ①冈底斯斑岩成矿带的含矿斑岩的形成时代与成矿作用时间几乎相同, 成岩成矿作用具有同时性; ②各个矿床近乎同时形成, 其成矿作用是在短暂的时间内快速发生, 可能具爆发成矿的特征; ③冈底斯斑岩成矿带含矿斑岩岩浆活动具有由东向西逐渐变新的迁移趋势。

同时汤不拉含矿斑岩与冈底斯成矿带其它斑岩型铜矿床的含矿斑岩类似, 具有埃达克岩的地球化

学属性,并同时具有高钾、高铝的特征,与起源于俯冲洋壳的埃达克岩有所不同,也与中国东部埃达克质岩浆不同(李印等,2009)。前人认为该类埃达克质岩浆为地壳厚度加大到或超过 50km 时,下地壳的镁铁质物质处于榴辉岩相,并被局部上涌的软流圈地幔热流影响,触发部分熔融形成(侯增谦等,2006 王强等,2007)。据此本文推测:汤不拉斑岩铜矿为新生增厚下地壳在上涌软流圈热流影响下发生部分熔融的产物,形成的埃达克质岩浆在上升过程中萃取源区金属元素并在 ~ 20Ma 侵位于地壳浅部后碰撞伸展构造环境,同时由于温度、压力的释放则形成含矿斑岩以及斑岩型矿床。

致谢:本文在成文过程中得到了周详教授级高级工程师、曾庆高高级工程师、李关清高级工程师的帮助,郑有业教授及另一位审稿老师提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢!

参考文献 (References):

- 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. 中国科学(D辑), 33(7): 609 - 618
- 侯增谦,高永丰,孟祥金,曲晓明,黄卫. 2004 西藏冈底斯中新世斑岩铜矿带:埃达克质斑岩成因与构造控制. 岩石学报, 20(2): 239-248
- 侯增谦,孟祥金,曲晓明,高永丰. 2005 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. 矿床地质, 24(2): 108-121
- 侯增谦,杨竹森,徐文艺,莫宣学,丁林,高永丰,董方浏,李光明,曲晓明,赵志丹,江思宏,孟祥金,李振清,秦克章,杨志明. 2006 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
- 李印,凌明星,丁兴,刘健,韩峰,孙卫东. 2009 中国东部埃达克岩及成矿作用. 大地构造与成矿学, 33(3): 448 - 464
- 林武,梁华英,张玉泉,谢应雯. 2004 冈底斯铜矿带冲江含矿斑岩的岩石化学及锆石 SHRIMP 年龄特征. 地球化学, 11(6): 585-592
- 刘颖,刘海臣,李献华. 1996 ICP-MS 准确测定岩石样品中的 40 余种微量元素. 地球化学, 5(6): 552-558
- 孟祥金,侯增谦,高永丰,黄卫,曲晓明,屈文俊. 2003 西藏冈底斯成矿带驱龙铜矿 Re-Os 年龄及成矿学意义. 地质论评, 49(6): 660-666
- 莫济海,梁华英,喻亨祥,谢应雯,张玉泉. 2006 冈底斯斑岩铜矿带冲江及驱龙含矿斑岩体锆石 ELA-CPMS 及 SHRIMP 定年对比研究. 大地构造与成矿学, 30(4): 504-509
- 曲晓明,侯增谦,国连杰,徐文艺. 2004 冈底斯铜矿带埃达克质含矿斑岩的源区组成与地壳混染: Nd-Sr-Pb-O 同位素约束. 地质学报, (06): 813-821
- 曲晓明,辛洪波. 2006 藏西班牙湖斑岩铜矿带的形成时代与成矿构造环境. 地质通报, 25(7): 792-799
- 王强,许继峰,赵振华,资锋,唐功建,贾小辉,姜子琦. 2007 中国埃达克岩或埃达克质岩及相关金属成矿作用. 矿物岩石地球化学通报, (04): 336-349
- 西藏自治区地质矿产局. 1993 西藏自治区区域地质志. 北京:地质出版社.
- 夏抱本,夏斌,王保弟,赵守仁. 2007 冈底斯中段达布埃达克质含矿斑岩增厚下地壳熔融与斑岩铜钼矿成因. 地质科技情报, 26(4): 19-26
- 张兴国,王保弟,夏抱本,穷达. 2008 冈底斯成矿带东段汤不拉斑岩(铜)矿的发现及意义. 地质通报, 27(6): 837-843
- 郑有业,高顺宝,程力军,李国梁,冯南平,樊子瑛,张华平,郭建慈,张刚阳. 2004a 西藏冲江大型斑岩铜(钼金)矿床的发现及意义. 地球科学, 29(3): 333-339
- 郑有业,薛迎喜,程力军,樊子瑛,高顺宝. 2004b 西藏驱龙超大型斑岩铜(钼)矿床:发现、特征及意义. 地球科学, 29(1): 103-108
- 郑有业,高顺宝,张大权,樊子瑛,张刚阳,马国桃. 2006 西藏朱诺斑岩铜矿床发现的重大意义及启示. 地学前缘, 13(4): 233-239
- 郑有业,多吉,张刚阳,高顺宝,樊子瑛. 2007 西藏吉如斑岩铜矿床的发现过程及意义. 矿床地质, 26(3): 317-321
- Andersen T. 2002 Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb . *Chemical Geology*, 192(1-2): 59-79
- Gao S, Liu X, Yuan H, Hattendorf B, Gunther D, Chen L and Hu S. 2002 Determination of Forty Two Major and Trace Elements in USGS and NIST SRM Glasses by Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 26(2): 181-196
- Hou ZQ, Gao YF, Qu XM, Rui ZY and Mo XX. 2004 Origin of adakitic intrusives generated during mid-Miocene east-west extension in southern Tibet. *Earth and Planetary Science Letters*, 220(1-2): 139-155
- Ludwig K R. 2003 User's manual for Isoplot 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft Excel. *Berkeley Geochronology Center Special Publication*, 4: 1-70
- Wang X L, Zhou J C, Qiu J S, Zhang W L, Liu X M and Zhang G L. 2006 LA-ICP-MS U-Pb zircon geochronology of the Neoproterozoic igneous rocks from Northern Guangxi

South China: Implications for tectonic evolution. *Precambrian Research*, 145: 111–130.

Yuan H., Gao S., Liu X., Li H., Gunther D. and Wu F.: 2004, Accurate U–Pb Age and Trace Element Determinations of

Zircon by Laser Ablation–Inductively Coupled Plasma–Mass Spectrometry. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 28: 353–370.

Formation Time of the Tangbula Porphyry Mo–Cu Deposit: Evidence from SHRMP Zircon U–Pb Dating of Tangbula Ore-Bearing Porphyries

XIA Baoben^{1,3}, XIA Bin², WANG Baodi², LI Jianfeng²,
ZHANG Xingguo¹ and WANG Yingchao⁴

(1 Geological Survey Team of Tibetan Bureau of Geological Survey, Lhasa 851400, Tibet, China; 2 Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China; 3 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4 Western South China Sea Institute of Energy Development Co., Ltd., CNOOC, Zhanjiang 524057, Guangdong, China)

Abstract The discovery of the Tangbula porphyry Mo–Cu deposit makes the Gangdese porphyry copper belt extend to the east more than one hundred kilometers, so that it is close to a world class porphyry copper belt. The ore-bearing porphyries of the Tangbula deposit are granitic porphyry, quartz porphyry and granodioritic porphyry. The wall rocks in contact zone, porphyritic biotite and anorthite, are the major ore-hosted rocks. In this paper, zircon U–Pb dating on the Tangbula ore-porphyry is performed by LA–ICP–MS dating technique. The mean $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age is 19.88 ± 0.38 Ma, which means that the ore-bearing porphyry intruded in middle Miocene, it also implies that the formation of the ore-bearing porphyry was simultaneous with the Mo–Cu mineralization. Geochemical analyses of the dating samples show that they have the characteristics similar to adakite, the same as ore-bearing porphyries in other deposits of the Gangdese belt. However, Al and K are higher in these rocks, which is different from the adakites generated from subducting oceanic slab. According to these results, we deduced that the magma forming the adakitic ore porphyry was generated by the partial melting of the thickened new lower crust under the heating of the ascending asthenosphere; this adakitic magma extracted ore elements from its origin and formed the porphyry Mo–Cu deposit in a shallow extension structural environment due to the decreasing of temperature and pressure.

Keywords Tangbula porphyry Mo–Cu deposit, SHRMP zircon U–Pb dating, adakite, ore-bearing porphyry