

文章编号: 0258-7106(2013)05-0963-09

西藏夏垅铅锌银矿床绢云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄及其地质意义*

赵晓燕^{1,3} 杨竹森³ 刘英超² 纪现华¹ 费凡¹ 徐玉涛¹

(1 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;
3 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要 西藏冈底斯成矿带位于班公湖-怒江缝合带与雅鲁藏布江缝合带之间, 从北向南依次可划分为3个成矿亚带: 勒青拉-洞中松多铅锌银多金属成矿亚带, 驱龙-甲马-邦铺斑岩铜钼成矿亚带, 克鲁-冲木达斑岩-矽卡岩铜钼金成矿亚带。驱龙-甲马-邦铺成矿亚带内矿床的类型以斑岩型为主, 部分伴生有矽卡岩型及热液脉型矿床。夏垅矿床位于驱龙-甲马-邦铺斑岩铜钼成矿亚带的西段, 产于黑云母二长花岗岩基中, 属于隐爆角砾岩型铅锌银多金属矿床。对夏垅矿床内与石英、方铅矿、闪锌矿密切共生的绢云母进行了⁴⁰Ar-³⁹Ar定年, 确定其坪年龄及反等时线年龄分别为(23.56±0.22) Ma和(23.9±1.6) Ma。该矿床作为隐爆角砾岩型铅锌银多金属矿床的发现以及冈底斯火山岩自西向东逐渐变年轻的时空迁移规律说明在冈底斯成矿带的西侧存在着岩浆活动。夏垅矿床成矿年龄的精确测定把驱龙-甲马-邦铺斑岩铜钼成矿亚带向西延伸了120 km, 增大了该成矿亚带的找矿潜力, 为在该成矿亚带内寻找此类铅锌银多金属矿床提供了理论及实际依据。

关键词 地球化学; ⁴⁰Ar/³⁹Ar定年; 绢云母; 夏垅铅锌银矿床; 驱龙-甲马-邦铺斑岩铜钼成矿亚带; 西藏
中图分类号: P618.42; P618.43; P618.52 **文献标志码**: A

⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of sericite from Xialong Pb-Zn-Ag deposit and its geological significance

ZHAO XiaoYan^{1,3}, YANG ZhuSen³, LIU YingChao², JI XianHua¹, FEI Fan¹ and XU YuTao¹

(1 School of Geosciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China; 3 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract

Lying between Bangonghu-Nujiang suture zone and Yarlung Zangbo suture zone, the Gangdise metallogenic belt of Tibet can be divided into three metallogenic subbelts, which are from north to south Leqingla-Dongzhongsongduo Pb-Zn-Ag polymetal metallogenic subbelt, Qulong-Jiama-Bangpu porphyry Cu-Mo metallogenic subbelt and Kelu-Chongmuda porphyry-skarn Cu-Mo-Au metallogenic subbelt. The Qulong-Jiama-Bangpu metallogenic subbelt is mainly characterized by porphyry Cu-Mo mineralization, with some deposits within it also having Pb-Zn mineralization. The Xialong deposit is located in the west of the Qulong-Jiama-Bangpu metallogenic subbelt and occurs in the biotite monzonitic granite, belonging to the cryptoexplosive brecciated Pb-Zn-Ag deposit. ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of sericite that is highly related to mineralization yielded the plateau age and isochron

* 本文得到国家重点基础发展计划(973计划)青藏高原南部大陆聚合与成矿作用(编号:2011CB4031006)项目和中国地质调查局地质调查项目(编号:1212011121253)的联合资助

第一作者简介 赵晓燕,女,1989年生,硕士研究生,主要从事矿床学研究。Email: zxy19890926@163.com

收稿日期 2012-06-17; 改回日期 2013-05-17。许德焕编辑。

age of (23.56 ± 0.22) Ma and (23.9 ± 1.6) Ma respectively. The successful discovery of the Xialong deposit and the migration characteristics of Gangdise volcanic rocks from west to east indicate that there existed magmatism in the west of Gangdise metallogenic belt. The precise determination of the age of the Xialong deposit results in the westward extension of the Qulong-Jiama-Bangpu porphyry Cu-Mo metallogenic subbelt for 120 km, which increases the potential of ore prospecting in the Qulong-Jiama-Bangpu metallogenic subbelt and provides the theoretic and actual foundation for exploring Pb-Zn-Ag mineral commodities in this subbelt.

Key words: geochemistry, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating, sericite, Xialong Pb-Zn-Ag deposit, Qulong-Jiama-Bangpu metallogenic subbelt, Tibet

西藏冈底斯巨型成矿带南、北分别以雅鲁藏布江缝合带和班公湖-怒江缝合带为界,东西绵延 1500 km,是一条具有双倍地壳厚度(70~80 km)的新生代巨型构造-岩浆带。随着研究的不断深入,该巨型成矿带根据成岩-成矿时代可进一步划分出 3 个亚带(图 1)北部的勒青拉-洞中松多铅锌银多金属成矿亚带,中部的驱龙-甲马-邦铺斑岩铜钼成矿亚带,南部的克鲁-冲木达斑岩-矽卡岩铜钼金成矿亚带(李光明等,2006)。北亚带是一条以铅锌银矿化为主的成矿带,包括洞中松多、亚贵拉、蒙亚啊等一系列矿床及矿化点,成岩-成矿年龄分布于 41~62 Ma 之间(侯增谦等,2006a;孟祥金等,2007;费光春等,2010;王立强等,2010;崔晓亮等,2011);中亚带的矿床以斑岩型为主,如驱龙、甲马、邦铺、厅宫等,主要形成于印度-亚洲大陆处于后碰撞伸展的环境,成岩-成矿年龄集中于 12~18 Ma(Hou et al.,2009a;2009b;2011;Yang et al.,2009;孟祥金等,2005;2006;芮宗瑶等,2006;侯增谦等,2007;杨志明等,2008a;2008b;2009;2011;唐菊兴等,2010;王焕等,2011);南亚带分布着克鲁、怒日、冲木达等一系列斑岩-矽卡岩复合成因矿床,成岩-成矿时间集中于 23~30 Ma 之间(李光明等,2006;侯增谦等,2012;张松等,2012),是青藏高原处于晚碰撞构造转换,应力释放阶段的产物。

夏垅矿床赋存于晚白垩世中粒斑状黑云母花岗岩岩基,是一个隐爆角砾岩型铅锌银矿床。前人仅对该矿床的矿石样品做过极少量的 S、Pb 同位素研究,由于缺乏可靠的年龄数据,故该矿床一直被划归为冈底斯北成矿亚带(臧文栓等,2007)。本文对夏垅矿床内与成矿密切相关的绢云母进行了 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年研究,精确厘定了该矿床的成矿年龄,以查明其是哪个成矿亚带的西延部分。

1 区域地质背景

西藏驱龙-甲马-邦铺斑岩铜钼成矿亚带位于拉萨地体南缘的火山-岩浆带内。该火山-岩浆带自晚三叠世从印度板块分离出来(Yin et al.,2002)后,相继经历了侏罗纪岛弧造山、白垩纪陆缘弧叠加、古近纪碰撞造山及碰撞后地壳变形等构造事件。该带内,现已发现诸如驱龙、甲马等大型斑岩型矿床数十处,集中分布在其中-东部。在空间上,这些矿床东西断续成带,南北串珠成列,构成了一条长约 700 km,宽约 80 km 的斑岩型铜钼成矿亚带(侯增谦等,2007;2012;Hou et al.,2009b)。这些矿床的成矿背景明显不同于岛弧带及大陆边缘带,但其矿化特征则与岛弧带或大陆边缘带的斑岩铜矿床相似(杨勇等,2010;Hou et al.,2011)。含矿岩体的侵位受近 EW 向展布的冈底斯弧花岗岩基和近 NS 向的正断裂系统的控制。含矿岩体一般为多期多相的斑岩杂岩体,空间上多呈近等轴状,岩石组合以花岗闪长岩-钾(二)长花岗斑岩为主,与 Cu-Mo 矿化有关的岩石主要为二长花岗斑岩,少数为花岗闪长斑岩、石英二长斑岩及花岗斑岩(侯增谦等,2012)。结合含矿斑岩主量元素和微量元素地球化学特征(曲晓明等,2001;Hou et al.,2012a;2012b),可知冈底斯斑岩铜钼成矿亚带内的成矿斑岩属于碱性斑岩,是加厚的下地壳局部熔融的产物,具有埃达克质岩的性质(侯增谦等,2003;2012;Qu et al.,2004;2007)。

按照地层-构造区划,夏垅矿区及其邻区范围内主要出露有冈底斯-腾冲区及雅鲁藏布江区的地层。雅鲁藏布江地层区的地层主要为昂仁组(K_{1-2a}),整合于拉马野加组(K_{1l})之上,或与大竹卡组(E_3-N_{1d})呈断层接触,由深灰色、灰绿色、黄绿色砾岩、

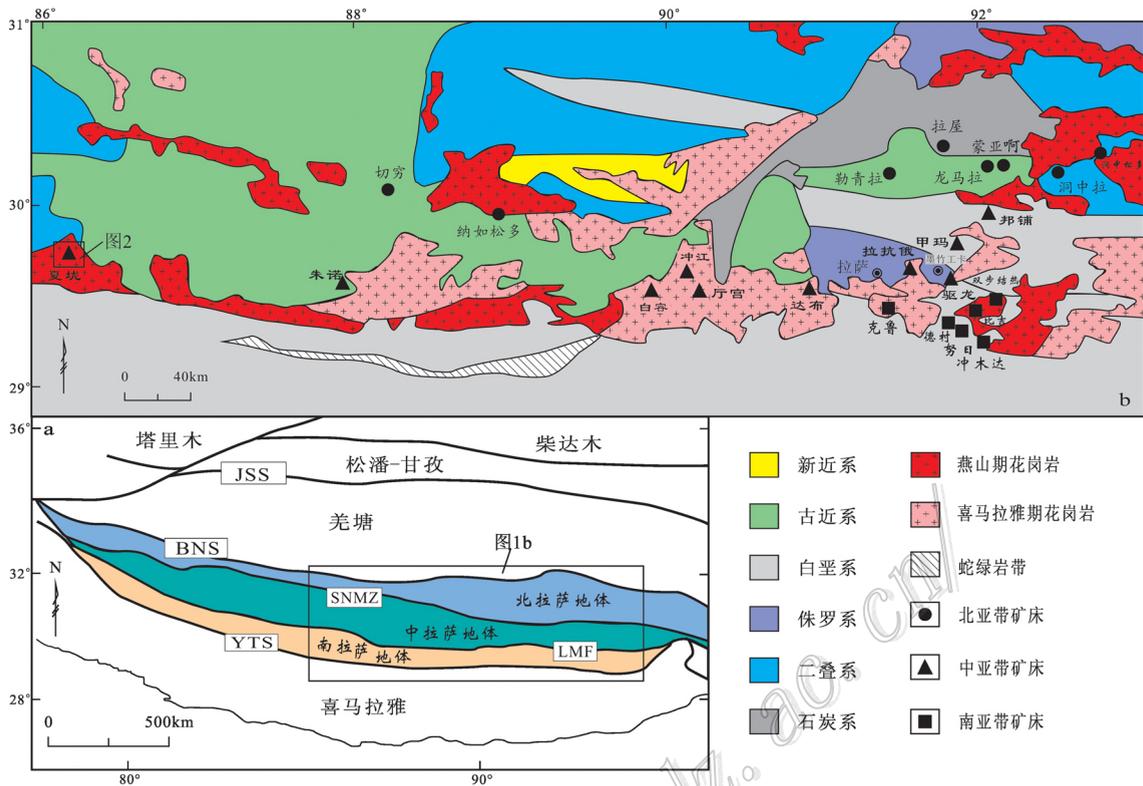


图 1 青藏高原造山带成矿区(带)图(底图据臧文栓等, 2007 修改)

JSS—金沙江缝合带; BNS—班公湖-怒江缝合带; SNMZ—狮泉河-纳木错蛇绿混杂岩带; LMF—洛巴堆-米拉山断裂带; YTS—雅鲁藏布江缝合带

Fig. 1 Geological sketch map of the metallogenic belt in Tibetan orogenic belt (modified after Zang et al., 2007)

JSS—Jinshajiang suture zone; BNS—Bangonghu-Nujiang suture zone; SNMZ—Shiquanhe-Namucuo ophiolite melange zone; LMF—Luobadui-Mila Mountain fault zone; YTS—Yarlung Zangbo River suture zone

砂岩、灰岩及泥页岩组成韵律性沉积。冈底斯-腾冲地层区的地层主要为年波组(E_{2n})和机曲组(E_{3j})。年波组由灰绿色、灰白色凝灰质含砾砂岩、含海绿石凝灰质砂岩、流纹质沉角砾凝灰岩组成;机曲组则主要为灰色粗安岩、粗安质火山碎屑岩夹凝灰质砂岩(河北省地质调查院区域地质调查所, 2003)。

区域内出露的花岗岩主要有白垩纪的中粒斑状黑云母二长花岗岩、中-粗粒斑状黑云母二长花岗岩、中粒二长花岗岩、中粒石英二长闪长岩、中粒斑状角闪二长花岗岩及古近纪的石英二长斑岩等(河北省地质调查院区域地质调查所, 2003)。

区内构造线总体呈近 EW 向,以线性复式褶皱、压扭性逆冲推覆构造为主;NE 向及近 SN 向构造形成较晚,以发育张性构造为主要特征(臧文栓等, 2007)。

2 矿区地质

夏垅矿床位于昂仁县阿木雄乡的西部,属驱龙-

甲马-邦铺斑岩铜钼成矿亚带的西段,是一个隐爆角砾岩型铅锌银矿床。矿区内发育以断裂为主的构造形迹,主要有 EW 向、NW 向和近 SN 向 3 组断裂,隐爆角砾岩筒主要受这 3 组断裂的复合控制(图 2)。

夏垅矿区的地质情况比较简单,矿床产于晚白垩世中粒斑状黑云母花岗岩基内。该岩基内的中粒斑状黑云母二长花岗岩分布在阿木错以西的拔尔巴拉-切岗-尼杠布一带,出露面积约 772 km²,岩体边界形态不规则,长轴方向近 EW 向。岩体北侧与古近纪中组呈不整合接触关系,南侧与大竹卡组呈不整合关系或断层接触(河北省地质调查院区域地质调查所, 2003)。岩体内可见穿切其中的中-粗粒斑状黑云母二长花岗岩及中粒石英二长闪长岩。

中粒斑状黑云母二长花岗岩的新鲜面呈浅肉红色,似斑状结构,块状构造。岩石由斑晶和基质组成。斑晶以钾长石为主,呈半自形板状,粒度 5~10 mm,含量 15%~20%,可见卡氏双晶;基质主要由斜长石(30%~35%)、钾长石(20%~25%)、石英(5%

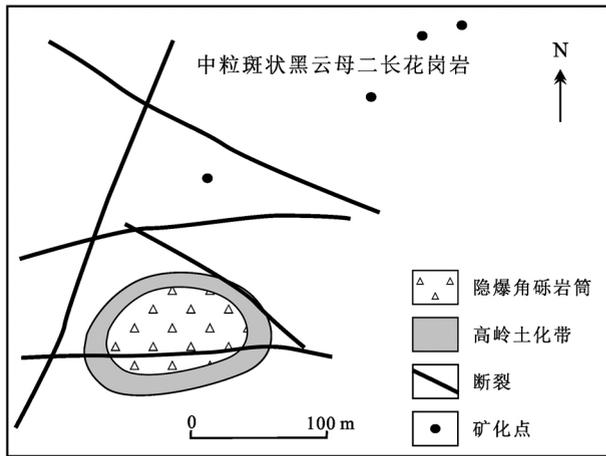


图2 夏垅矿区地质简图

Fig. 2 Geological sketch map of the Xialong ore district

~20%)、黑云母(5%)等组成,呈中粒花岗结构;副矿物主要为榍石、磷灰石、锆石、磁铁矿、钛铁矿、褐帘石等。

夏垅矿床的矿体产于隐爆角砾岩筒中。该岩筒平面上呈椭圆状,地表出露面积约 $100\text{ m} \times 80\text{ m}$ 。岩筒外围的中粒斑状黑云母二长花岗岩发生了较强的高岭土化,形成了 $20 \sim 30\text{ m}$ 宽的高岭土蚀变带(图 3a)。在地表以下约 80 m 标高的开采平硐内,可见整个角砾岩筒近于直立,走向为 NW 向,长轴可达 300 m ,短轴约 150 m ,由大小混杂的斑状黑云母花岗岩角砾构成。角砾直径大者可达 2 m ,小者仅有 3 cm ,角砾边部可见 $5 \sim 10\text{ cm}$ 的高岭土化带(图 3b);角砾被方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿以及石英所胶结(图 3c)。

该矿床成矿作用简单,仅见一期成矿,即富含硫化物的热液胶结黑云母二长花岗岩角砾,未见后期热液硫化物脉体穿切。

3 样品及测试

3.1 样品特征及测试方法

夏垅隐爆角砾岩型铅锌银矿床主要由中粒斑状黑云母二长花岗岩角砾与方铅矿、闪锌矿、黄铁矿及石英等胶结物组成。石英多呈晶簇状产出,与方铅矿、闪锌矿密切共生。伴随石英发育有大量同期的片状绢云母(图 3c、d)。用于 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年的绢云母样品采于矿区地下 80 m 标高处 2 号平硐内的胶结物石英中,因而,这些绢云母的年龄可代表该矿床

的成矿年龄。

首先将选纯的矿物(纯度 $>99\%$)用超声波清洗。再用经过 2 次亚沸蒸馏净化的纯净水清洗 3 次,每次 3 min ,以清除矿物表面和解理缝中在天然状态下和碎样过程中吸附的粉末和杂质;然后在丙酮中清洗 2 次,每次 3 min ,以清除矿物表面吸附的油污等有机物质(田世洪等,2008)。清洗后的样品被封进石英瓶中送核反应堆中接受中子照射。照射工作在中国原子能科学研究所的“游泳池堆”中进行,使用 B4 孔道,中子流密度约为 $2.65 \times 10^{13}\text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$ 。照射总时间为 3025 分钟,积分中子通量为 $4.81 \times 10^{18}\text{ n} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。同期接受中子照射的还有用做监控样的标准样 ZBH-25 黑云母标样,其标准年龄为 $(132.7 \pm 1.2)\text{ Ma}$, $w(\text{K})$ 为 7.6% 。

样品测试工作在中国地质科学院地质研究所同位素地质重点实验室完成。样品的阶段升温加热使用石墨炉,每一个阶段加热 30 min ,净化 30 min 。质谱分析在多接收惰性气体质谱仪 Helix MC 上进行,每个峰值均采集 20 组数据。所有的数据在回归到时间零点值后再进行质量歧视校正、大气氩校正、空白校正和干扰元素同位素校正。中子照射过程中产生的干扰同位素校正系数通过分析照射过的 K_2SO_4 和 CaF_2 来获得,其值为: $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_o)_{\text{Ca}} = 0.000\ 2389$, $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.004\ 782$, $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_o)_{\text{Ca}} = 0.000\ 806$ 。 ^{37}Ar 经过放射性衰变校正; ^{40}K 衰变常数 $\lambda = 5.543 \times 10^{-10}\text{ a}^{-1}$ 。用 ISOPLOT 程序(Ludwig, 2001)计算坪年龄及正、反等时线;坪年龄误差以 2σ 给出。详细实验流程见有关文献(陈文等,2006;张彦等,2006;Steiger et al., 1977)。

3.2 测试结果

夏垅铅锌银矿床绢云母样品的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测定结果见表 1。

绢云母样品经过 11 个阶段的分步加热,加热温度区间为 $700 \sim 1300^\circ\text{C}$,这 11 个阶段组成了一个微受扰动的年龄坪。第 1 至 4 阶段,样品的年龄坪呈现出一定的波动性,这可能是由于绢云母的形成略早于石英,后期热液作用不可避免地会对较早形成的绢云母产生一定的影响。而在 $950 \sim 1150^\circ\text{C}$ 温度范围内(即第 5 至第 9 加热阶段),样品的年龄谱形成较平坦的年龄坪,其累计 ^{39}Ar 占总释放量的 58.6% ,采用加权平均计算出其坪年龄为 $(23.56 \pm 0.22)\text{ Ma}(2\sigma)$ (图 4a)。由这 5 个数据计算出相应的 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ - $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 反等时线年龄为 $(23.9 \pm 1.6)\text{ Ma}$

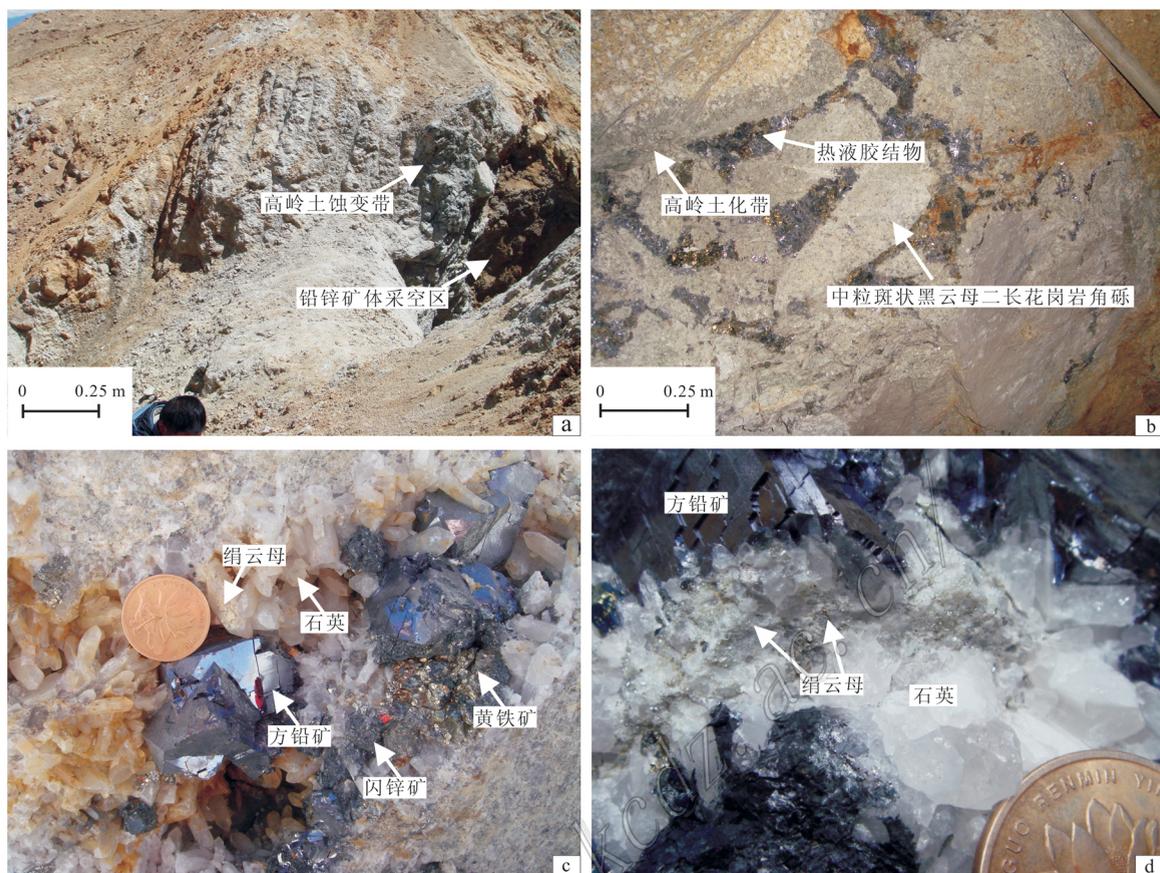


图 3 夏垅矿区岩、矿特征

- a. 铅锌矿体采空区及外围的高岭土化蚀变带；b. 隐爆角砾岩，由中粒黑云母二长花岗岩角砾和热液胶结物组成；
- c. 角砾岩胶结物，主要由晶簇状石英、方铅矿、闪锌矿及黄铁矿组成；d. 与石英伴生的绢云母

Fig. 3 Characteristics of rocks and ores from the Xialong ore district

- a. Pb-Zn ore body goaf and kaolin alteration zone; b. Cryptoblastic breccia, composed of granite breccia and cement;
- c. Breccia cement, comprising quartz, galena, sphalerite and pyrite; d. Sericite associated with quartz

表 1 夏垅铅锌银矿床样品绢云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄测定

Table 1 ⁴⁰Ar-³⁹Ar age of sericite sample from the Xialong Pb-Zn-Ag deposit

<i>t</i> /°C	(⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁶ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁷ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁸ Ar/ ³⁹ Ar) _m	⁴⁰ Ar/%	F	³⁹ Ar/10 ⁻¹⁴ mol	³⁹ Ar _{Cum.} /%	年龄/Ma	±1σ/Ma
700	4.7562	0.0128	0.0276	0.0149	20.35	0.9680	3.55	2.37	22.90	0.52
800	3.1086	0.0071	0.0088	0.0137	32.17	1.0002	13.05	11.07	23.66	0.27
850	1.6957	0.0022	0.0135	0.0127	60.93	1.0333	15.70	21.54	24.44	0.26
900	1.4674	0.0015	0.0000	0.0125	69.89	1.0255	19.56	34.59	24.25	0.25
950	1.3620	0.0012	0.0046	0.0124	73.46	1.0006	19.67	47.91	23.67	0.25
1000	1.3888	0.0013	0.0103	0.0125	71.41	0.9918	14.29	57.44	23.46	0.25
1050	1.5102	0.0018	0.0064	0.0126	65.43	0.9881	15.04	67.47	23.37	0.25
1100	1.5233	0.0018	0.0200	0.0126	65.56	0.9987	19.17	80.26	23.62	0.26
1150	1.4501	0.0015	0.0113	0.0128	69.01	1.0008	19.44	93.23	23.67	0.24
1200	1.4321	0.0013	0.0314	0.0125	72.77	1.0422	8.39	98.82	24.65	0.28
1300	1.9263	0.0018	0.1548	0.0130	73.30	1.4121	1.77	100.00	33.30	1.00

注：表中下标 m 代表样品中测定的同位素比值；F 为放射成因⁴⁰Ar 和³⁹Ar 的比值。

测试条件：XL001-1 绢云母，W = 52.30 mg，J = 0.013198。

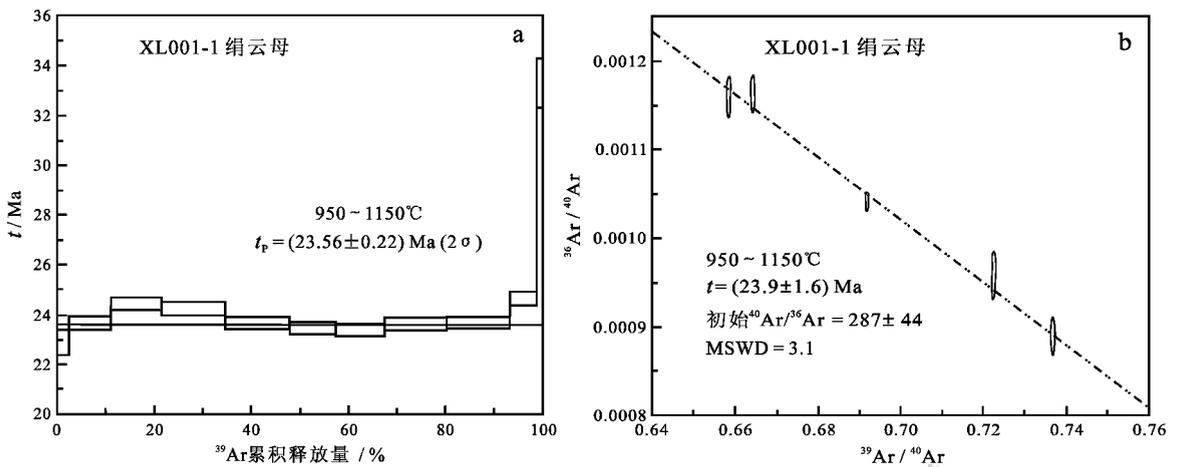


图4 夏垅矿区绢云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 坪年龄(a)及反等时线年龄(b)

Fig. 4 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ plateau age (a) and inverse isochron age (b) of Sericite from the Xialong ore district

(初始 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} = 287 \pm 44$, $\text{MSWD} = 3.1$) (图4b) 样品的坪年龄与反等时线年龄在误差范围内相互吻合, 并且, 初始 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 值在误差范围内与大气值(295.5)无差别, 表明样品中没有过剩氩的存在。这些都说明所获得的年龄真实可信, 可以代表夏垅矿床的成矿年龄。

4 讨论与结论

4.1 成矿区(带)归属

侯增谦等(2006a; 2006b; 2006c; 2006d)对青藏高原碰撞造山带的成矿作用进行了系统研究, 认为印度-亚洲大陆碰撞造山带是一个相继经历了主碰撞(65~41 Ma)、晚碰撞(40~26 Ma)和后碰撞(25~0 Ma)过程的, 目前仍处于活动状态的全球最典型的大陆碰撞带, 在不同的阶段发育有不同的矿床组合。拉萨地体内现已发现的铅锌银多金属矿床多形成于主碰撞陆陆汇聚时期, 如纳如松多矿床的成矿年龄为57.8 Ma(纪现华等, 2012)、洞中拉矿床的成矿年龄为42.2 Ma(费光春等, 2010)、亚贵拉矿床的成矿年龄为65.0 Ma(高一鸣等, 2011)等。以往, 将夏垅矿床划归于拉萨地体北侧的铅锌银成矿亚带(臧文栓等, 2007), 现在, 根据绢云母 Ar-Ar 定年发现, 该矿床的成矿年龄为23.9 Ma, 与该成矿亚带中其他矿床的成矿年龄相差甚远, 同时, 其空间位置也并不位于北亚带, 因此, 需对夏垅矿床进行重新定位, 这对研究青藏高原的成矿事件以及部署找矿工作均具重要意义。

冈底斯的驱龙-甲马-邦铺斑岩铜钼成矿亚带以斑岩型铜钼矿化为主, 部分矿床伴生有同时期的矽卡岩型及热液脉型铅锌矿化。该区域内分布着一系列大型且适于近期开发利用的斑岩型矿床, 这些矿床在成岩-成矿年龄上具有高度的一致性, 集中形成于25 Ma之后, 例如就辉钼矿 Re-Os 年龄而言, 驱龙矿床为16.41 Ma(孟祥金等, 2003a), 甲马矿床为15.22 Ma(应立娟等, 2010), 邦铺矿床为16.32 Ma(孟祥金等, 2003b), 厅官矿床为17.04 Ma(芮宗瑶等, 2004), 朱诺矿床为15.6 Ma(郑有业等, 2007), 冲江矿床为16.8 Ma(芮宗瑶等, 2003)。这些矿床都是青藏高原经历了强烈碰撞挤压、剪切走滑之后进入地壳伸展阶段的产物。夏垅矿床的成矿年龄为23.9 Ma, 时间上与该成矿带内的矿床较为一致, 是地壳进入后碰撞伸展阶段的产物, 空间位置上又是驱龙-甲马-邦铺斑岩铜钼成矿亚带的西延部分, 同属冈底斯下察隅火山-岩浆岩带, 其北侧为隆格尔-工布江达弧背断隆带。综合夏垅矿床的时空特征, 应将其划归于驱龙-甲马-邦铺斑岩铜钼成矿亚带。

驱龙-甲马-邦铺成矿亚带内斑岩型矿床的成岩-成矿年龄集中分布于12~18 Ma之间, 与之相比, 夏垅矿床的成矿年龄相对更早。这可能是由于已发现的斑岩型矿床大都分布在该成矿亚带的中-东部。许多地质学家经研究发现: 自65 Ma左右至近代, 青藏高原从碰撞到后碰撞, 火山活动发生过明显的时空迁移, 迁移过程表现为自65 Ma始于冈底斯南缘, 向北迁移至羌塘地区, 之后, 自内向外迁移, 北向可可西里, 南向冈底斯, 东向西秦岭(Chung et al.,

1998, 2005; Mo et al., 2006; 莫宣学等, 2003, 2007); 而在冈底斯内部又表现为自西向东的迁移(莫宣学等, 2007)。火山岩的迁移规律表明, 在冈底斯存在着自西向东逐渐变年轻的岩浆活动。夏垅矿床的发现恰恰是冈底斯中亚带西部存在岩浆活动的一个有力证据。

传统意义上认为, 驱龙-甲马-邦铺成矿亚带中有经济意义的矿床多集中于该成矿亚带的中-东侧, 在西侧找到具工业意义的矿床的可能性不大。夏垅矿床的发现使得驱龙-甲马-邦铺成矿亚带向西延伸了 120 km; 同时, 火山岩自西向东的时空迁移表明, 该成矿亚带的西侧存在着岩浆活动。这些都为在该成矿亚带的西侧寻找到有工业价值的矿床提供了理论及实际依据。驱龙-甲马-邦铺成矿亚带内矿床的类型以斑岩型为主, 部分伴生有矽卡岩型、热液脉型矿床。甲马矿床是该成矿亚带内极具代表性的矿床之一, 是斑岩-矽卡岩-角岩三位一体的铜多金属矿床, 曾在甲马矿区发现热液隐爆角砾岩的报道(宋磊等, 2011), 但并未成为该矿床的一种成矿类型。夏垅矿床作为隐爆角砾岩型铅锌银多金属矿床, 填补了该成矿亚带内隐爆角砾岩型矿床的空白, 为在该成矿亚带内寻找此类铅锌矿床提供了进一步的支持。一般来说, 隐爆角砾岩型矿床与斑岩型矿床存在着密切的成因联系, 隐爆角砾岩型矿床多形成于斑岩型矿床的外侧或顶部, 因此, 在夏垅矿床的深部是否可能存在着斑岩型矿床尚需做进一步的考证和研究。

4.2 成矿背景及过程

夏垅矿床位于冈底斯驱龙-甲马-邦铺斑岩铜钼成矿亚带的西段。后碰撞期的埃达克质岩浆遍布整个冈底斯带(Hou et al., 2012a; 2012b; Zheng et al., 2012a, 2012b), 并被认为是新生下地壳部分熔融的产物。同时期的钾质-超钾质岩浆在 87° 以西的冈底斯成矿带广泛分布, 现在普遍认为钾质-超钾质岩浆起源于富集地幔的部分熔融(孙晨光等, 2007; 胡文洁, 2012; Zhao et al., 2009)。所以, 强烈的岩浆-热液活动对夏垅矿床的形成发挥了必不可少的作用。

夏垅矿床的赋矿围岩为中粒斑状黑云母二长花岗岩基, 是在新特提斯洋闭合、雅鲁藏布江洋壳向北俯冲消减的构造背景下生成的(莫宣学等, 2003; Bortolotti et al., 2005; Shahabpour, 2005, 2007; 侯增谦等, 2006a; Dilek et al., 2007)。俯冲洋壳及地幔物质对岩浆的形成具有重要的贡献。伴随着雅鲁藏布

江洋壳不断向北俯冲, 印度大陆与欧亚大陆剧烈碰撞。冈底斯岩浆弧在经历了陆-陆碰撞过程之后进入了应力释放、走滑伸展的环境。夏垅矿床更接近于在晚碰撞与后碰撞的转换时间内形成。在地壳应力松弛的背景下, 深部岩浆上涌, 在距地表一定距离处, 富含 Pb、Zn、Fe 的成矿流体从岩浆中出溶, 当出溶流体的压力大于上覆斑状黑云母二长花岗岩的压力时, 斑状黑云母二长花岗岩被引爆并破碎成角砾, 富含 Pb、Zn 等成矿组分的流体胶结了岩体角砾, 最终形成了夏垅隐爆角砾岩型铅锌银矿床。

4.3 结论

(1) 对夏垅隐爆角砾岩型铅锌银矿床内与石英、方铅矿、闪锌矿同期的成矿期绢云母进行了精确的年龄测定, 确定了夏垅矿床的成矿年龄为 23.9 Ma, 这一年龄与驱龙-甲马-邦铺成矿亚带中矿床的成矿年龄大体一致, 为后碰撞时期的产物。该矿床的发现将驱龙-甲马-邦铺成矿亚带向西延伸了 120 km, 扩展了该成矿亚带的范围, 增大了进一步找矿的潜力。

(2) 夏垅矿床成矿年龄的精确测定以及冈底斯火山岩自西向东逐渐变年轻的时空迁移规律说明在冈底斯成矿亚带的西侧存在着岩浆活动, 这与驱龙-甲马-邦铺成矿亚带内矿床的成矿年龄自西向东逐渐变年轻相吻合。

(3) 驱龙-甲马-邦铺成矿亚带内矿床的类型以斑岩型为主, 部分伴生有矽卡岩型及热液脉型矿床。夏垅矿床作为隐爆角砾岩型铅锌银多金属矿床, 填补了该成矿亚带内隐爆角砾岩型矿床的空白, 也为在该成矿亚带内寻找此类铅锌矿床提供了理论和实际依据。

志 谢 在野外以及室内工作期间, 始终得到中国地质科学院矿产资源研究所田世洪研究员、孟祥金研究员以及中国科学院地球化学研究所罗泰义研究员的悉心指导和帮助, 在此表示衷心的感谢。

参考文献/References

- 陈 文, 张 彦, 金贵善, 张岳桥. 2006. 青藏高原东南缘晚新生代幕式抬升作用的 Ar-Ar 热年代学证据[J]. 岩石学报, 22(4): 867-872.
- 崔晓亮, 唐菊兴, 多 吉, 钟康惠, 高一鸣, 刘鸿飞, 张金树, 王成辉, 刘婷婷. 2011. 西藏洞中拉铅锌矿床石英斑岩锆石 U-Pb 年

- 代学研究[J]. 成都理工大学学报, 38(5): 557-562.
- 费光春, 温春齐, 周雄, 吴鹏宇, 温泉. 2010. 西藏洞中拉铅锌矿床石英激光探针⁴⁰Ar-³⁹Ar定年及地质意义[J]. 矿物岩石, 30(3): 38-43.
- 高一鸣, 陈毓川, 唐菊兴, 李超, 李新法, 高明, 蔡志超. 2011. 西藏工布江达地区亚贵拉铅锌铜矿床辉钼矿 Re-Os 测年及其地质意义[J]. 地质通报, 30(7): 1027-1036.
- 河北省地质调查院区域地质调查所. 2003. 1:25万区域地质调查报告(桑桑区幅) [R]. 内部资料.
- 侯增谦, 莫宣学, 高永丰, 曲晓明, 孟祥金. 2003. 埃达克岩斑岩铜矿的一种可能的重要含矿母岩——以西藏和智利斑岩铜矿为例[J]. 矿床地质, 22(1): 1-121.
- 侯增谦, 莫宣学, 杨志明. 2006a. 青藏高原碰撞造山带成矿作用: 构造背景、时空分布和主要类型[J]. 中国地质, 33(3): 340-351.
- 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, 李光明, 赵志丹, 江思宏, 孟祥金, 李振清, 秦克章, 杨志明. 2006b. 青藏高原碰撞造山带: I. 主碰撞造山成矿作用[J]. 矿床地质, 25(4): 337-358.
- 侯增谦, 潘桂堂, 王安建, 莫宣学, 田世洪, 孙晓明, 丁林, 王二七, 高永丰, 谢玉玲, 曾普胜, 秦克章, 许继峰, 曲晓明, 杨志明, 杨竹森, 费红彩, 孟祥金, 李振清. 2006c. 青藏高原碰撞造山带: II. 晚碰撞转换成矿作用[J]. 矿床地质, 25(5): 521-543.
- 侯增谦, 曲晓明, 杨竹森, 孟祥金, 李振清, 杨志明, 郑绵平, 郑有业, 聂凤军, 高永丰, 江思宏, 李光明. 2006d. 青藏高原碰撞造山带: III. 后碰撞伸展成矿作用[J]. 矿床地质, 25: 629-651.
- 侯增谦, 潘小菲, 杨志明, 曲晓明. 2007. 初论大陆环境斑岩铜矿[J]. 现代地质, 21(2): 332-351.
- 侯增谦, 郑远川, 杨志明, 杨竹森. 2012. 大陆碰撞成矿作用: I. 冈底斯新生代斑岩铜矿系统[J]. 矿床地质, 31(4): 647-670.
- 胡文洁, 田世洪, 杨竹森, 张兆脚. 2012. 拉萨地块西段中新世查加寺钾质火山岩岩石成因——岩石地球化学、年代学和 Sr-Nd 同位素约束[J]. 矿床地质, 31(4): 813-830.
- 纪现华, 杨竹森, 于玉帅, 申俊峰, 田世洪, 孟祥金, 李振清, 刘英超. 2012. 西藏纳如松多铅锌矿床成矿岩体形成机制: 岩浆锆石证据[J]. 矿床地质, 31(4): 758-774.
- 李光明, 刘波, 余宏全, 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.
- 孟祥金, 侯增谦, 高永丰, 黄卫, 曲晓明, 屈文俊. 2003a. 西藏冈底斯成矿带驱龙铜矿 Re-Os 年龄及成矿学意义[J]. 地质评论, 49(5): 661-666.
- 孟祥金, 侯增谦, 高永丰, 黄卫, 曲晓明, 屈文俊. 2003b. 西藏冈底斯东段斑岩铜铅锌成矿系统的发育时限: 帮浦铜多金属矿床辉钼矿 Re-Os 年龄证据[J]. 矿床地质, 22(3): 246-252.
- 孟祥金, 侯增谦, 李振清. 2005. 西藏冈底斯三处斑岩铜矿床流体包裹体及成矿作用研究[J]. 矿床地质, 24: 398-408.
- 孟祥金, 侯增谦, 李振清. 2006. 西藏驱龙铜矿 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.
- 孟祥金, 侯增谦, 叶培盛. 2007. 西藏冈底斯银多金属矿化带的基本特征与成矿远景分析[J]. 矿床地质, 26(2): 153-162.
- 莫宣学, 赵志丹, 邓晋福, 董国臣, 周肃, 郭铁鹰, 张双全, 王亮亮. 2003. 印度-亚洲大陆主碰撞过程的火山作用响应[J]. 地学前缘, 10: 135-148.
- 莫宣学, 赵志丹, 邓晋福, 喻学惠, 罗照华, 董国臣. 2007. 西藏新生代钾质火山活动的时空迁移及向东部玄武岩省的过渡: 壳幔深部物质流的暗示[J]. 现代地质, 21(2): 255-264.
- 曲晓明, 侯增谦, 黄卫. 2001. 冈底斯斑岩矿(化)带: 西藏第二条“玉龙”铜矿带[J]. 矿床地质, 20(4): 355-366.
- 芮宗瑶, 侯增谦, 曲晓明, 张立生, 刘玉琳. 2003. 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, 李光明, 张立生, 王龙生. 2004. 西藏斑岩铜矿对重大地质事件的响应[J]. 地学前缘, 11(1): 145-152.
- 芮宗瑶, 侯增谦, 李光明, 刘波, 张立生, 王龙生. 2006. 冈底斯斑岩铜矿成矿模式[J]. 地质评论, 52: 459-466.
- 宋磊, 汪雄武, 唐菊兴, 秦志鹏, 雷传扬, 张俊成. 2011. 从喷流成因到斑岩-矽卡岩成矿系统: 甲玛铜多金属矿床成功勘查的几点启示[J]. 矿床地质, 30(2): 219-230.
- 孙晨光, 赵志丹, 莫宣学, 朱弟成, 董国臣, 周肃, 谢国刚. 2007. 青藏高原拉萨地块西部中新世赛利普超钾质岩石的地球化学与岩石成因[J]. 岩石学报, 23(11): 2715-2726.
- 唐菊兴, 王登红, 汪雄武, 钟康惠, 应立娟, 郑文宝, 黎枫信, 郭娜, 秦志鹏, 姚晓峰, 李磊, 王友, 唐晓倩. 2010. 西藏甲玛铜多金属矿床地质特征及其矿床模型[J]. 地球学报, 31(4): 495-506.
- 田世洪, 侯增谦, 杨竹森, 陈文, 杨志明, 袁忠信, 谢玉玲, 费红彩, 尹淑萍, 刘英超, 李政, 李小渝. 2008. 川西冕宁-德昌稀土成矿带成矿年代学研究: 热液系统维系时限和构造控矿模型约束[J]. 矿床地质, 27(2): 177-187.
- 王焕, 唐菊兴, 应立娟, 王立强, 秦志鹏. 2011. 西藏甲玛铜多金属矿床主要矿石矿物特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 38(1): 103-112.
- 王立强, 顾雪祥, 程文斌, 唐菊兴, 钟康惠, 刘晓吉. 2010. 西藏蒙亚刚铅锌矿床 S、Pb 同位素组成及对成矿物质来源的示踪[J]. 现代地质, 24(1): 52-58.
- 杨勇, 罗泰义, 黄智龙, 杨竹森, 田世洪, 钱志宽. 2010. 西藏纳如松多银铅矿 S、Pb 同位素组成: 对成矿物质来源的指示[J]. 矿物学报, 30(3): 311-318.
- 杨志明, 侯增谦, 夏代祥, 宋玉财, 李政. 2008a. 西藏驱龙铜矿西部斑岩与成矿关系的厘定: 对矿床未来勘探方向的重要启示[J]. 矿床地质, 27: 28-36.
- 杨志明, 侯增谦, 宋玉财, 李振清, 夏代祥, 潘凤雏. 2008b. 西藏驱龙超大型斑岩铜矿床: 地质、蚀变与矿化[J]. 矿床地质, 27: 279-318.
- 杨志明, 侯增谦. 2009. 西藏驱龙超大型斑岩铜矿的成因: 流体包裹体及 H₂O 同位素证据[J]. 地质学报, 83(12): 1838-1859.
- 杨志明, 侯增谦, 江迎飞, 张洪瑞, 宋玉财. 2011. 西藏驱龙矿区早

- 侏罗世斑岩的 Sr-Nd-Pb 及锆石 Hf 同位素研究[J]. 岩石学报, 27(7):2003-2010.
- 应立娟,王登红,唐菊兴,畅哲生,屈文俊,郑文宝,王 焕. 2010. 西藏甲马铜多金属矿辉钼矿 Re-Os 年龄及其成矿意义[J]. 地质学报, 84(18):1165-1174.
- 臧文栓,孟祥金,杨竹森,叶培胜. 2007. 西藏冈底斯成矿带铅锌银矿床的 S、Pb 同位素组成及其地质意义[J]. 地质通报, 26(10):1393-1397.
- 张 松,郑远川,黄克贤,李 为,孙清钟,李秋耘,付 强,梁 维. 2012. 西藏努日砂卡岩型铜钼矿辉钼矿 Re-Os 定年及其地质意义[J]. 矿床地质, 31(2):337-346.
- 张 彦,陈 文,陈克龙,刘新宇. 2006. 成岩混层(1/S)Ar-Ar 年龄谱型及³⁹Ar 核反冲丢失机理研究——以浙江长兴地区 P-T 界线粘土岩为例[J]. 地质论评, 52(4):556-561.
- 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成岩成矿时代约束[J]. 科学通报, 52(21):2542-2548.
- Bortolotti V and Principi G. 2005. Tethyan ophiolites and Pangea breakup[J]. *Island Arc*, 14(4):442-470.
- Chung S J, Lo C H and Lee T Y. 1998. Disynchronous uplift of the Tibetan plateau starting from 40 Ma[J]. *Nature*, 349:769-773.
- Chung S J, Chu M F, Zhang Y Q, et al. 2005. Tibetan tectonic evolution inferred from spatial and temporal variations in post-collisional magmatism[J]. *Earth Science Reviews*, 68:173-196.
- Dilek Y, Furnes H and Shallo M. 2007. Suprasubduction zone ophiolite formation along the periphery of Mesozoic Gondwana[J]. *Gondwana Research*, 11:453-475.
- Hou Z Q and Cook N J. 2009a. Metallogenesis of the Tibetan collisional orogen: A review and introduction to the special issue[J]. *Ore Geology Reviews*, 36:2-24.
- Hou Z Q, Yang Z M, Qu X M, Meng X J, Li Z Q, Beaudoin G, Rui Z Y, Gao Y F and Zaw K. 2009b. The Miocene Gangdese porphyry copper belt generated during post-collisional extension in the Tibetan Orogen[J]. *Ore Geology Reviews*, 36:25-51.
- Hou Z Q, Zhang H R, Pan X F and Yang Z M. 2011. Porphyry Cu(Mo-Au) deposits related to melting of thickened mafic lower crust: Examples from the eastern Tethyan metallogenic domain[J]. *Ore Geology Reviews*, 39:21-45.
- Hou Z Q, Zheng Y C, Yang Z M, Rui Z Y, Zhao Z D, Qu X M and Sun Q Z. 2012a. Contribution of mantle components within juvenile lower-crust to collisional zone porphyry Cu systems in Tibet[J]. *Mineralium Deposita*, DOI:10.1007/S00126-012-0415-6.
- Hou Z Q, Zheng Y C, Zeng L S, Gao L E, Huang K X, Li W, Li Q Y, Liang W and Sun Q Z. 2012b. Eocene-Oligocene granitoids of southern Tibet: Constrains on crustal anatexis and tectonic evolution of the Himalayan orogen[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 349-350:38-52.
- Ludwig K R. 2001. Isoplot/EX, rev. 2. 49: A geochronological toolkit for microsoft excel[M]. Berkeley: Geochronological Center, Special Publication, 13a.
- Mo X X, Zhao Z D, Deng J F, et al. 2006. Petrology and geochemistry of post collisional volcanic rocks from the Tibetan plateau: Implications for lithosphere heterogeneity and collisional-induced asthenospheric mantle flow[A]. In: Dilek Y and Pavlides S, eds. Postcollisional tectonics and magmatism in the Mediterranean region and Asia[M]. Washington: The Geological Society of America. 507-530.
- Qu X M, Hou Z Q and Li Y G. 2004. Melt components derived from a subducted slab in late orogenic ore-bearing porphyries in the Gangdese copper belt, southern Tibetan plateau[J]. *Lithos*, 74:131-148.
- Qu X M, Hou Z Q and Zaw K. 2007. Characteristics and genesis of Gangdese porphyry copper deposits in the southern Tibetan Plateau: Preliminary geochemical and geochronological results[J]. *Ore Geology Reviews*, 31:205-223.
- Shahabpour J. 2005. Tectonic evolution of the orogenic belt in the region located between Kerman and Neyriz[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24:405-417.
- Shahabpour J. 2007. Island-arc affinity of the Central Iranian volcanic belt[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30:652-665.
- Steiger R H and Jager E. 1977. Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 36:359-362.
- Yang Z M, Hou Z Q, White N C, Chang Z S, Li Z Q and Song Y C. 2009. Geology of the post-collisional porphyry copper-molybdenum deposit at Qulong, Tibet[J]. *Ore Geology Reviews*, 36:133-159.
- Yin A and Harrison T M. 2002. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen[J]. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 28:211-280.
- Zhao Z D, Mo X X, Dilek Y, Niu Y L, DePaolo D J, Robinson P, Zhu D C, Sun C G, Dong G C, Zhou S, Luo Z H and Hou Z Q. 2009. Geochemical and Sr-Nd-Pb-O isotopic compositions of the post-collisional ultrapotassic magmatism in SW Tibet: Petrogenesis and implications for India intra-continental subduction beneath southern Tibet[J]. *Lithos*, 113:190-212.
- Zheng Y C, Hou Z Q, Li W, Liang W, Huang K X, Li Q Y, Sun Q Z, Fu Q and Zhang S. 2012a. Petrogenesis and geological implications of the Oligocene Chongmuda-Mingze adakite-like intrusions and their mafic enclaves, southern Tibet[J]. *Chicago Journals*, 12(6):647-669.
- Zheng Y C, Hou Z Q, Li Q Y, Sun Q Z, Liang W, Fu Q, Li W and Huang K X. 2012b. Origin of Late Oligocene adakitic intrusives in the southeastern Lhasa terrane: Evidence from in situ zircon U-Pb dating, Hf-O isotopes, and whole-rock geochemistry[J]. *Lithos*, 148:296-311.