

西藏沙让斑岩钼矿床锆石 SHRIMP 定年和角闪石 Ar-Ar 定年及其地质意义*

高一鸣¹, 陈毓川², 唐菊兴¹

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 中国地质科学院, 北京 100037)

摘要 采用 SHRIMP 锆石微区 U-Pb 测年及角闪石⁴⁰Ar-³⁹Ar 测年对冈底斯成矿带东段工布江达县沙让斑岩钼矿区的角闪石闪长岩体进行了年代学研究。对角闪石闪长岩中单颗粒锆石 11 个样品点分析, 其²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄范围在(45.39±0.77)~(52.7±3.3)Ma 之间, 加权平均值为(47.17±0.41)Ma (n=11, MSWD=2.0)。对角闪石样品采用⁴⁰Ar-³⁹Ar 阶段升温测年, 年龄谱呈马鞍形, 说明角闪石样品存在过剩氩, 加权平均年龄(55.10±0.79)Ma 不具地质意义, 最低坪年龄(53.25±0.60)Ma 接近但大于角闪石的结晶年龄。综合前人研究结果, 笔者认为: ①角闪石闪长岩体形成年龄为(53.25±0.60)Ma, 属于喜马拉雅期, 相当于始新世, 岩体侵入时间早于含矿主岩体斜长花岗斑岩的形成时间。②受后期花岗斑岩体侵入热事件的影响, 锆石的蜕晶化作用导致年龄偏小, 角闪石 Ar-Ar 法最低坪年龄基本代表成岩年龄。③斑岩钼矿的形成与主碰撞期岩浆底侵作用有关, 始新世早期, 冈底斯成矿带的地壳已经增厚到可以产生地壳熔融的厚度, 形成斑岩钼矿。④冈底斯成矿带存在 40~65 Ma 的主碰撞期, 显示出念青唐古拉成矿带具有良好的寻找斑岩型钼矿-矽卡岩型多金属矿的潜力。

关键词 地质学, 斑岩钼矿, SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄, 角闪石 Ar-Ar 年龄, 沙让, 冈底斯

中图分类号: P618.65

文献标志码: A

SHRIMP zircon U-Pb and amphibole ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating of amphibole diorite from Sharang porphyry molybdenum deposit in Gongbo'gyamda County, Tibet, and its geological implications

GAO YiMing¹, CHEN YuChuan² and TANG JuXing¹

(1 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2 Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract

Located in Gongbo'gyamda County of Tibet, the Sharang ore deposit is a porphyry Mo deposit belonging to the eastern part of the Gangdese metallogenic belt. This study provides the high-precision magmatic zircon SHRIMP and ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating of the amphibole diorite from the Sharang Mo deposit. SHRIMP U-Pb dating data of 11 zircon grains from the amphibole diorite present ²⁰⁶Pb/²³⁸U concordant ages from (45.39±0.77)Ma to (52.7±3.3) Ma with a weighted mean age of (47.17±0.41) Ma (n=11, MSWD=2.0). The amphibole samples yielded a ⁴⁰Ar-³⁹Ar saddle-shaped age spectrum after the incremental heating from 800°C to 1 200°C, showing the existence of excess argon. The minimum ⁴⁰Ar-³⁹Ar plateau age is (53.25±0.60) Ma. Based on previous studies and the authors' dating results, some conclusions have been reached: ① crystallization of the amphibole diorite occurred at (53.25±0.60) Ma during the Himalayan period (early Eocene); ② the later magmatic activity resulted in the metamictization of zir-

* 本文为国家科技支撑项目(编号:2006BAB01A01)、青藏专项(编号:1212010818089)、国家基础研究计划“印度-亚洲大陆主碰撞带成矿作用”973项目(编号:2002CB412607)资助的成果

第一作者简介 高一鸣,男,1981年生,博士研究生,主要从事矿床学研究。Email:rob8153@126.com

收稿日期 2009-02-27;改回日期 2009-12-09。张绮玲编辑。

cons, which has caused the incorrect test result, i. e., the data obtained are lower than the zircon crystallization age; the minimum Ar-Ar plateau age (53.25 ± 0.60) Ma represents the rock-forming age of the amphibole diorite; ③ in early Eocene, crust thickening beneath the Gangdese belt led to the melting of the crust, which contributed to the formation of the porphyry Mo deposits; ④ there existed mineralization during the main Indian-Asian collision period (40~65 Ma) in the Gangdese belt, which is of great significance for the ore-prospecting work of this region.

Key words: geology, porphyry Mo deposit, SHRIMP U-Pb zircon dating, ^{40}Ar - ^{39}Ar dating of the amphibole, Sharang, Gangdese

冈底斯成矿带是中国重要的有色金属成矿带,铅、锌、铜、银、钼等优势资源潜力巨大,是有色、贵金属成矿集中区。自2000年国土资源大调查工作开展以来,西藏冈底斯斑岩成矿带的找矿工作取得重大突破,发现及评价了雄村、驱龙、冲江、朱诺、厅官等一系列大型-超大型斑岩铜矿床(李光明等,2004a,2004b;孟祥金等,2003,2006;曲晓明等,2001;芮宗瑶等,2003;唐菊兴等,2008;2009a;2009b;杨志明等,2008a;2008b;郑有业等,2007,2008;张丽等,2007)。根据印度大陆向亚洲大陆俯冲-碰撞的成矿系列理论(侯增谦等,2003a;2006a,2006b,2006c;2006d;2006e),俯冲阶段成矿(65~180 Ma)已经基本得到证实,并在西藏谢通门县雄村铜矿取得重大找矿突破(张丽等,2007;唐菊兴等,2007,2009a)。冈底斯东段发现的驱龙大型-超大型斑岩(钼)矿床(13~17 Ma)(芮宗瑶等,2003;李光明等,2004a;2004b;孟祥金等,2003;2006;莫济海等,2006;杨志明等,2008a;2008b),侯增谦等(2003a,2003b,2006e)将其归于后碰撞伸展期;而目前虽然已经在40~65 Ma的碰撞期发现大型-超大型的斑岩-砂卡岩矿床,但工作与研究程度尚低,需要进一步的分析研究。沙让矿床是目前西藏首例达到详查程度的独立钼矿,区内有多期次岩浆活动,其中与矿化密切相关的主要为花岗斑岩和角闪闪长岩岩体,它们属于不同侵入次的产物,构成一个复式岩体,花岗斑岩为含矿主岩体,但出露面积更广的角闪闪长岩体内也发育规模较大的钼矿化。一般认为,与斑岩钼矿有关的岩体多为钙碱性的酸性岩体,与中性闪长岩有关的钼矿化极为少见(王建业等,1983),而沙让斑岩钼矿床正是这样一个极为特殊的、在闪长岩岩体中发育钼矿化、矿化受构造控制的斑岩型钼矿床,它在冈底斯带上的独特地理位置,使其极具研究价值。西藏冈底斯-念青唐古拉斑岩铜矿带不仅存在俯冲阶段成矿(65~180 Ma)和后碰撞伸展期(12~21 Ma)成矿,而且存在40~65 Ma的碰撞期斑岩矿床。本研究中,笔者对工布江达县沙让斑岩钼矿床矿区内分布面积大、且具有钼矿化的角闪闪长岩体进行了SHRIMP锆石U-Pb定年和角闪石 ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年研究,旨在厘定该岩体的侵位年代,有助于建立沙让矿区岩浆岩的时空演化序列,丰富斑岩型钼矿床地质特征谱系,并对指导在冈底斯成矿带寻找主碰撞期(40~65 Ma)大型-超大型斑岩矿床,完善冈底斯成矿带成矿系列的研究具有重要意义。

1 地质背景

沙让斑岩型钼矿床地处雅鲁藏布江缝合带北侧的冈底

斯东段火山-岩浆岩弧北侧。该矿床处于西藏自治区工布江达县金达镇,矿区面积 8.91 km^2 。矿区距川藏公路318国道约40 km,距拉萨市约260 km。

区内地层有前奥陶系松多岩群(AnO)的一套石英岩、硅质岩、变石英砂岩夹绢云石英片岩(图1)。断裂构造主体表现为东西向的深大断裂及其派生出的北西向、北东向、近南北向次级断裂,以线性断裂构造和节理、劈理化带发育为特征。矿区主要发育3期断裂构造,互相错切,但断距一般不大。东西向断裂为区内的主要容矿构造。区域上岩浆活动强烈,具有多期次活动的特点。侵入岩极为发育,产状复杂,有岩基、岩墙、岩株等。岩石类型有角闪闪长岩、花岗岩、花岗斑岩、黑云母钾长花岗斑岩、钾长花岗细晶岩等。根据本文锆石定年结果认为其侵入时间从燕山晚期到古新世-早始新世。本区含矿主岩体是斜长花岗斑岩和角闪闪长岩岩体,斜长花岗斑岩体有不同程度的矿化,钼含量大多在0.01%以上,局部有富矿存在(钼含量在0.5%以上)。角闪闪长岩主要分布于矿区北东、南东区,区域上角闪闪长岩与二叠系蒙拉组呈侵入接触,与矿区矿化有着较为密切的关系。在矿区南东的角闪闪长岩中,地表连续辉钼矿矿化达90多米,矿化面积较大,钼平均品位0.03%。辉钼矿呈脉状、星点状及薄膜状产出,沿岩石劈理及节理裂隙充填辉钼矿化硅化石英脉及辉钼矿细脉(唐菊兴等,2009b)。岩石呈灰黑色,具半自形粒状结构,块状构造,矿物成分主要为斜长石55%、角闪石33%、黑云母1%、石英5%、磷灰石1%和不透明矿物5%。岩石中黄铁矿较发育。围岩蚀变发育,常见有硅化、钾长石化、黑云母化、硬石膏化、绢云母化、伊利石化、高岭土化及绿帘石化等。硅化、绢云母化、黄铁矿化与钼矿化关系密切。

2 样品及测试结果

2.1 采样位置及样品简述

本次研究的(锆石SHRIMP U-Pb测年、角闪石Ar-Ar测年)样品采于西藏工布江达县沙让斑岩钼矿床北部角闪闪长岩中。所选岩石样品无蚀变、无风化或矿化现象,样品质量约2.6 kg。取样点坐标:东经 $92^{\circ}41'16''$,北纬 $30^{\circ}11'43''$,高程4 400 m。取样位置见图1。

2.2 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年

锆石样品的分离和挑选由廊坊市科大岩石矿物分选技术服务有限公司完成。将待测样品锆石颗粒与标准锆石SL13

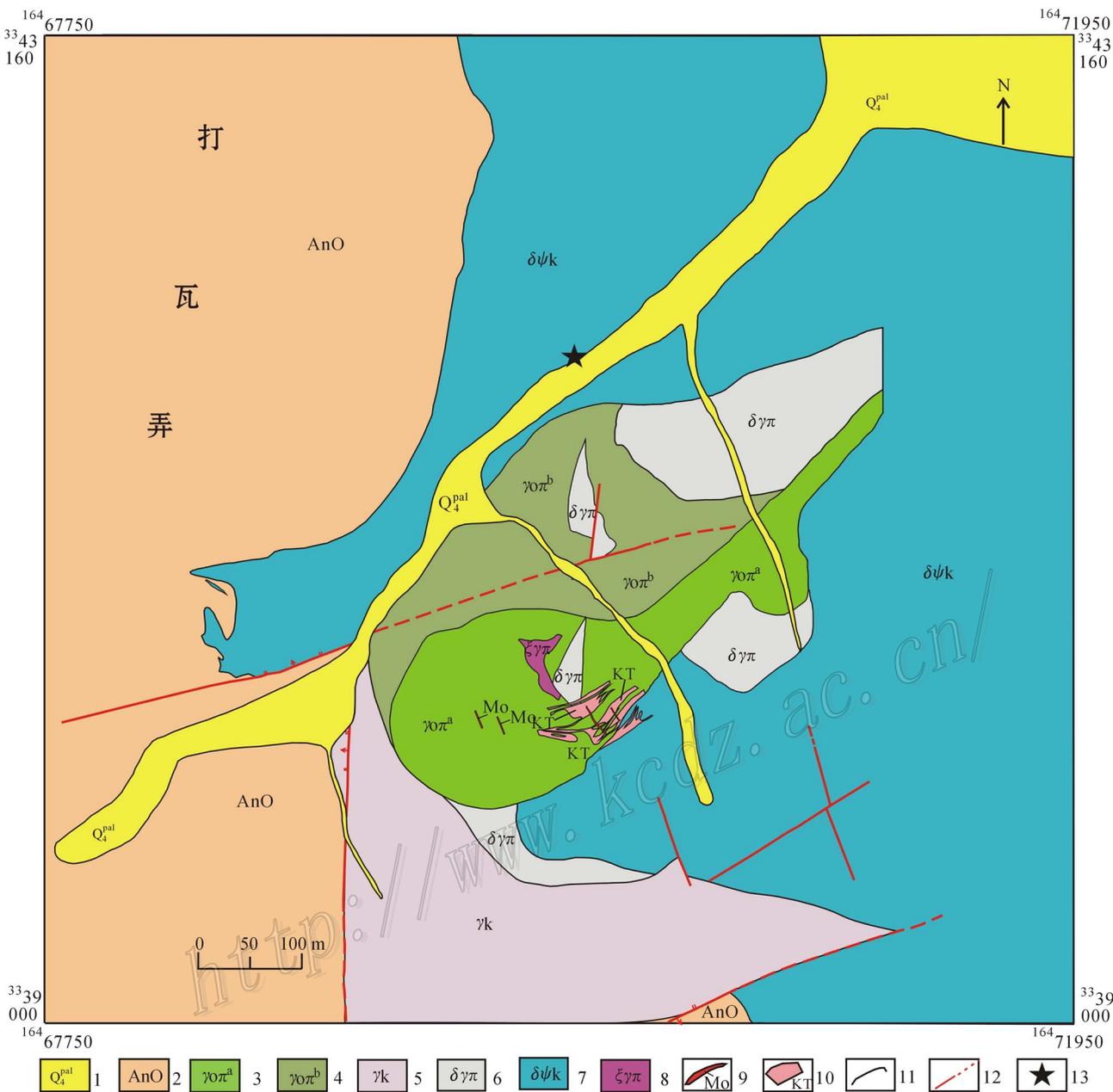


图 1 沙让矿区地质简图(据四川冶金地勘局六〇六地质队资料修编)

1—第四系冲洪积物；2—前奥陶系松多岩群；3—中细粒斜长花岗斑岩；4—中粗粒斜长花岗斑岩；5—花岗岩；6—花岗闪长岩；7—角闪闪长岩；8—钾长花岗斑岩；9—辉钼矿脉；10—辉钼矿体；11—地质界线；12—实测、推测断层；13—取样位置

Fig. 1 Simplified geological map of the Sharang ore district (after No. 606 Geological Party, Metallurgical Geological Exploration Bureau of Sichuan Province)

1—Quaternary alluvial-diluvial material; 2—Ordovician Songduo Group; 3—Medium-fine grained plagioclase granite porphyry; 4—Medium-coarse grained plagioclase granite porphyry; 5—Granite; 6—Granodiorite; 7—Hornblende diorite; 8—K-feldspar granite porphyry; 9—Molybdenite vein; 10—Molybdenite ore body; 11—Geological boundary; 12—Measured and inferred fault; 13—Sampling location

(年龄:572 Ma; $w(U)$: 238 $\mu\text{g/g}$)和 TEM(年龄:417 Ma)置于玻璃板上用环氧树脂浇铸制成样品靶,将锆石磨至约一半使其中心部位暴露并抛光,样品经反射光和透射光照相后,用阴极发光(CL)扫描电镜进行图像分析,然后清洗镀金待测。根据阴极发光(CL)图像分析确定单颗粒锆石的成因类

型,选择待测点,测定时选择颗粒较大、较自形、清晰的锆石进行分析,尽量避开裂纹和包裹体。锆石阴极发光(CL)图像在中国地质科学院矿产资源研究所电子探针研究室完成,锆石 SHRIMP U-Pb 分析在中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心 SHRIMP II 上进行,采用标准流程进行测试,详

细的实验流程和原理见参考文献(Compston et al., 1984; 1992; Williams et al., 1987; Williams, 1998; 宋彪等, 2002; 简平等, 2003)。应用澳大利亚地调局标准锆石 TEM(年龄: 417 Ma)进行元素间的分馏校正, 应用 RSES(澳大利亚国立大学地球科学院)的锆石 SL13(年龄: 572 Ma; $u(u)$: 238 $\mu\text{g/g}$) 标定样品的 U、Th 和 Pb 含量。数据处理采用 Ludwig 的 SQUIDL 02 及 ISOPLOT 程序自动完成(Ludwig, 2000; 2001)。采用年龄为 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄。普通铅根据实测的

^{204}Pb 进行校正。

对沙让斑岩钼矿区角闪闪长岩测定了 11 颗锆石, 图 2 为被测锆石的阴极发光(CL)图像、测定点位和相应的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 视年龄。锆石的阴极发光(CL)图像(图 2)显示, 分选的单颗粒锆石均破碎, 为柱状半自形晶, 长度约 100~200 μm , 宽度约 100~150 μm , 长宽比约为 1:1~1.33:1。测试结果见表 1, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和图解见图 3。

分析结果(表 1)表明, 锆石的 $^{206}\text{Pb}_c$ 含量范围为 3.17%

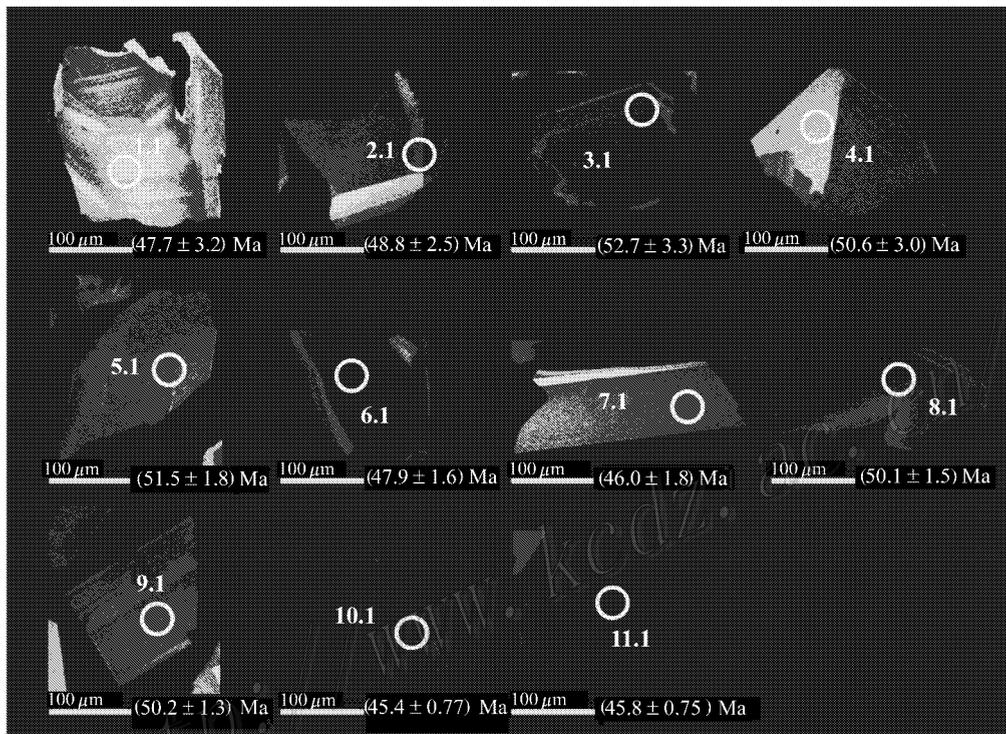


图 2 西藏沙让矿区角闪闪长岩(SR-4)锆石的 CL 图像、分析点位及 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 视年龄

Fig. 2 Cathodoluminescence photomicrograph(CL), measured points and age data($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$) of zircons from hornblende diorite of the Sharang ore district, Tibet

表 1 西藏沙让矿区角闪闪长岩(SR-4)中锆石 SHRIMP U-Pb 测年结果

Table 1 SHRIMP U-Pb zircon data from hornblende diorite (SR-4) in the Sharang ore district, Tibet

分析点号	$^{206}\text{Pb}_c/\%$	U/ 10^{-6}	Th/ 10^{-6}	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/10^{-6}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma		$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$		$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	
						(1)		(1)		(1)		(1)	
						测值	误差	比值	$\pm\%$	比值	$\pm\%$	比值	$\pm\%$
SR-4-1.1	12.17	309	383	1.28	2.24	47.7	± 3.2	0.058	92	0.06	92	0.00742	6.7
SR-4-2.1	11.52	271	396	1.51	2.0	48.8	± 2.5	0.06	72	0.062	72	0.0076	5.2
SR-4-3.1	11.07	831	1475	1.83	6.59	52.7	± 3.3	0.043	86	0.049	87	0.00821	6.2
SR-4-4.1	14.53	247	236	0.99	1.96	50.6	± 3.0	0.052	71	0.057	72	0.00789	5.9
SR-4-5.1	9.57	475	635	1.38	3.62	51.5	± 1.8	0.062	58	0.069	58	0.00802	3.5
SR-4-6.1	4.84	844	1527	1.87	5.68	47.9	± 1.6	0.038	28	0.039	28	0.00745	3.4
SR-4-7.1	12.58	281	418	1.54	1.98	46	± 1.8	0.054	54	0.053	54	0.00716	4
SR-4-8.1	6.34	678	1088	1.66	4.86	50.1	± 1.5	0.047	46	0.051	46	0.00781	3
SR-4-9.1	5.58	813	1249	1.59	5.79	50.2	± 1.3	0.04	46	0.043	47	0.00782	2.6
SR-4-10.1	3.17	1170	2376	2.10	7.33	45.39	± 0.77	0.0432	19	0.0421	19	0.00707	1.7
SR-4-11.1	3.40	1800	2009	1.15	11.4	45.79	± 0.75	0.037	20	0.0364	20	0.00713	1.6

注: 误差为 1σ ; Pb_c 和 Pb^* 分别代表普通铅和放射性成因铅, 标准校正值的误差为 0.90% (不包括在上述误差内, 但包括不同样品靶的数据比较); (1) 为应用实测 ^{204}Pb 校正普通铅。

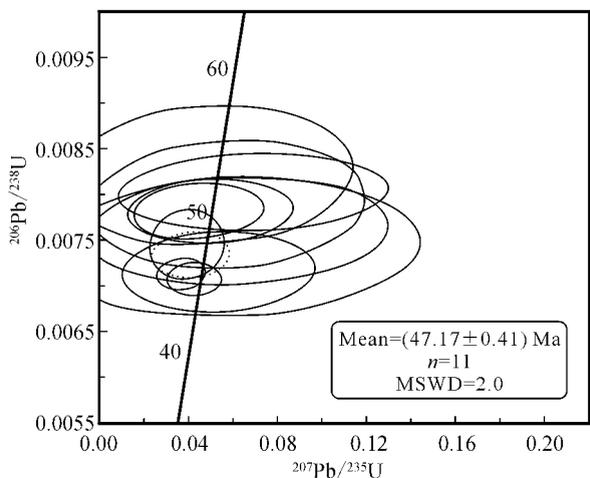


图 3 西藏沙让矿区角闪闪长岩 (SR-4) 的锆石 SHRIMP U-Pb 测年 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和图解

Fig. 3 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ versus $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ concordia diagrams showing SHRIMP U-Pb dating data of zircons from hornblende diorite (SR-4) in the Sharang ore district, Tibet

~14.53% ; $^{206}\text{Pb}^*$ 含量范围为 $1.96 \times 10^{-6} \sim 11.4 \times 10^{-6}$, 阴极发光图像上灰度越深, 则 Th、U 的含量越高, 总体上该岩体锆石的 Th、U 含量变化范围较大, $\rho(\text{Th})/\rho(\text{U})$ 分别为 $236 \times 10^{-6} \sim 2376 \times 10^{-6}$ 和 $247 \times 10^{-6} \sim 1800 \times 10^{-6}$ 。 Th/U 比值范围为 0.99~2.10。

11 个测年点所获 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在 $(45.39 \pm 0.77) \sim (52.7 \pm 3.3)$ Ma 之间, 在 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和图上样品点均未投影在谐和线上 (图 3), 加权平均年龄为 (47.17 ± 0.41) Ma ($n=11$, MSWD=2.0)。

2.3 角闪石 Ar-Ar 定年

角闪石常规 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阶段升温测年由 中国地质科学院地质研究所氩-氩同位素年代学实验室完成, 测试结果见表 2。样品分 7 步 (600~1300℃) 进行阶步加热测试, 年龄结果在 $(46.2 \sim 71.4)$ Ma 左右, 年龄谱显示较明显的马鞍型, 显示存在过剩氩 (Lanphere et al., 1976), 其中 800~1200℃ 的 5 个加热阶段谱线较平坦, 与此相对应的 ^{39}Ar 释出量占总量的 92.17%, 该阶段样品的加权平均年龄为 (55.10 ± 0.79) Ma, 最低坪年龄为 (53.25 ± 0.60) Ma (图 4)。

表 2 西藏沙让矿区角闪石样品 (SR-4) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阶段升温测年数据

Table 2 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ analytical data of hornblende samples from the Sharang ore district, Tibet

$\theta/^\circ\text{C}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$^{40}\text{Ar}/\%$	F	$^{39}\text{Ar}/10^{-14}\text{mol}$	^{39}Ar 积累/ $\%$	t/Ma	1 σ /Ma
600	67.7665	0.2150	1.1700	0.0671	6.38	4.3292	0.09	1.24	46.2	8.8
700	39.0859	0.1125	1.5497	0.0509	15.23	5.9592	0.36	5.95	63.2	3.5
800	12.9220	0.0258	0.5428	0.0324	41.30	5.3396	1.00	19.12	56.8	1.1
900	16.1785	0.0378	4.8684	0.0779	33.15	5.3839	1.62	40.42	57.22	0.75
1000	6.8066	0.0068	2.9695	0.0975	73.35	5.0048	2.56	74.11	53.25	0.60
1100	8.0425	0.0111	4.3417	0.1092	63.06	5.0894	1.14	89.10	54.14	0.84
1200	10.8698	0.0220	12.2509	0.1349	48.05	5.2755	0.69	98.12	56.1	1.1
1300	23.1611	0.0632	29.6833	0.1204	28.42	6.7445	0.14	100.00	71.4	4.2

注: $m=104.53\text{mg}$; $J=0.005986$ 。表中下标 m 代表样品中测定的同位素比值。F= $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$ 。

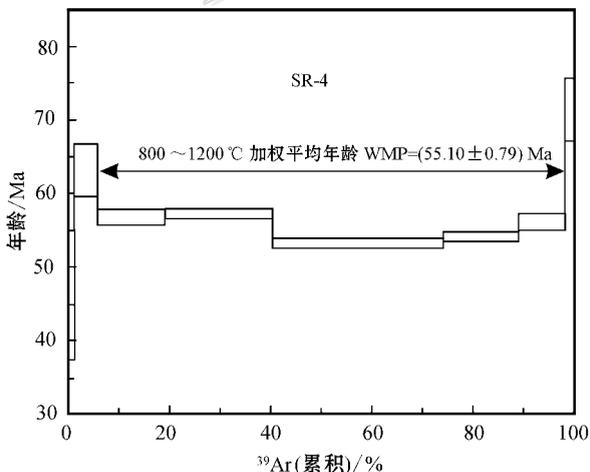


图 4 西藏沙让矿区角闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 加权平均年龄

Fig. 4 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectra of hornblende samples from the Sharang ore district, Tibet

3 讨论

3.1 成岩年龄

本文沙让矿区的角闪闪长岩中锆石的 SHRIMP 测试数据显示, 11 个测年点所获年龄在 $(45.39 \pm 0.77) \sim (52.7 \pm 3.3)$ Ma 之间, 加权平均年龄为 (47.17 ± 0.41) Ma ($n=11$, MSWD=2.0), 角闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法测年, 样品 800~1200℃ 加权平均年龄为 (55.10 ± 0.79) Ma, 最低坪年龄为 (53.25 ± 0.60) Ma (图 4)。

本研究区内存在的多期次岩浆活动形成了沙让复式岩体, 除主矿化岩体花岗斑岩外, 角闪闪长岩体内也发育规模较大的钼矿化。图 1 中可见区内角闪闪长岩分布广泛, 花岗斑岩体与闪长岩侵入关系明显, 可见明显的花岗斑岩穿插闪长岩, 所以角闪闪长岩的侵位年代应该早于花岗斑岩的侵位年代, 且早于区内辉钼矿成矿年代。秦克章等 (2008) 初步得到含矿斜长花岗斑岩锆石 U-Pb 年龄为 (53 ± 1) Ma, 郑有业等 (2008) 认为本区含矿斑岩的锆石 U-Pb 年龄变化于 (50 ± 1)

~(54±3)Ma,加权平均为(53±1)Ma,唐菊兴等(2009b)得到的沙让钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄等时线为(51±1)Ma(MSWD=0.55)。本文锆石SHRIMP加权平均年龄值[(47.17±0.17)Ma]小于花岗岩的侵位年龄值,亦小于沙让辉钼矿 Re-Os 等时线年龄值,明显与地质事实发生了矛盾。一般认为,锆石的封闭温度高(>850℃)结晶早,其结晶年龄代表岩浆侵位年龄,角闪石的封闭温度(500±50)℃(Harrison, 1981; Reddy et al., 1997)远低于锆石封闭温度,结晶较锆石晚,其结晶年龄代表岩浆冷却年龄,正常情况下,同一岩体中的锆石 U-Pb 年龄值应该大于角闪石 $^{40}\text{Ar-}^{39}\text{Ar}$ 年龄值。所以,角闪闪长岩中锆石 U-Pb 年龄值小于角闪石年龄值,也与一般的地质常识相矛盾。本研究得到岩体中锆石和角闪石的年龄,旨在建立沙让复式岩体的成岩成矿时代的框架,探究为什么闪长岩中有大规模的钼矿化,同时,在角闪闪长岩中锆石 U-Pb 年龄值小于角闪石年龄值的情况下,探讨究竟哪种测试方法得出的结晶年龄可以代表成岩年龄,锆石和角闪石年龄值的差异究竟是如何形成的。

由锆石的阴极发光(CL)图像(图2)可见,锆石晶体破碎,多数具有亮色的阴极荧光,有些在阴极发光下无分带或者具有弱的环带结构,但是震荡环带大多模糊、不完整、不对称。这些内部结构无分带、弱分带的锆石可能受到了后期的热液扰动(吴元保等,2004)。后期的热液扰动可能导致锆石发生蜕晶化从而发生放射性铅的丢失,使锆石年龄偏小。刘新秒(1998)认为锆石的蜕晶化作用是锆石放射性铅丢失的主要途径,锆石结晶时 U^{4+} 作为类质同象代替了锆石晶格中的部分 Zr^{4+} , U 不断衰变成 Pb^{2+} 离子和其他离子,当叠加加热事件温度达到600~650℃, Pb^{2+} 和 Zr^{4+} 离子半径相差太大,类质同象无法保持,晶体向玻璃质状态转化,即形成蜕晶质状态,这种无序状态对内部原子的约束力大大减少,从而导致放射性铅的丢失,蜕晶化的发生与锆石中 U 含量有关,含 U 高的锆石在长时间 U 的放射性作用下会全部蜕晶质化,发生强烈的铅丢失。本区的锆石 U 含量在 $247 \times 10^{-6} \sim 1800 \times 10^{-6}$,在后期岩体侵入热事件的叠加下,那些 U 含量高的锆石容易发生蜕晶化,丢失 Pb ,从而导致年龄偏低。这些蜕晶化锆石是角闪闪长岩侵位和后期岩体侵位热事件叠加的产物,其年龄不能正确的反应角闪闪长岩岩体的侵位时间,其加权平均年龄也不具有地质学意义,而得出最大表面年龄的那颗锆石可能蜕晶化作用较弱,其年龄接近闪长岩侵位时锆石结晶的年龄。

本文获得的角闪石 $^{40}\text{Ar-}^{39}\text{Ar}$ 年龄,年龄谱呈现明显的马鞍形。Lanphere等(1976)认为马鞍形年龄谱是样品含过剩 ^{40}Ar 的表现,最低坪年龄接近于矿物的结晶年龄;邱华宁等(1995)通过研究也认为,最低坪年龄可能接近于矿物的结晶年龄。如果锆石受到热事件的叠加,角闪石也会受到影响,Hanson(1975)及Berge(1975)通过研究认为角闪石受后期岩体侵入的影响小。在本区的角闪闪长岩中,角闪石 Ar-Ar 年龄得到的最低坪年龄更具有地质意义。

总之,SHRIMP锆石 U-Pb 年龄和角闪石 Ar-Ar 法年龄可能均受到了后期岩体侵入热事件的影响,锆石的蜕晶化作用导致所测年龄偏低,角闪石受到后期热事件影响较小,本身过剩氩的存在微弱影响了测年的准确性,没有得到很好的坪年龄。锆石 U-Pb 最大表面年龄(52.7±3.3)Ma和角闪石 Ar-Ar 最低坪年龄(53.25±0.60)Ma,具有一定的地质意义。考虑到花岗斑岩的侵位年代为(53.0±1.0)Ma(秦克章等,2008;郑有业等,2008)本文得到的角闪闪长岩的角闪石所代表的岩浆冷却年龄为(53.25±0.60)Ma是合理的。

3.2 成矿时代与找矿方向

一般认为辉钼矿 Re-Os 年龄代表了成矿年龄。唐菊兴等(2009b)得到的沙让钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄等时线为(51.0±1.0)Ma(MSWD=0.55),代表了沙让钼矿的成矿年代。以上成岩成矿事实与印度-欧亚大陆碰撞期间(40~65 Ma)冈底斯主碰撞带岩浆岩底侵作用事件(47.0~52.5 Ma,大约50 Ma的始新世)(莫宣学等,2003;董国臣等,2005)相一致,即沙让复式岩体的形成及岩体中辉钼矿化的形成与冈底斯成矿带存在的岩浆底侵作用有关。斑岩钼矿的形成,表明始新世早期冈底斯成矿带的地壳已经增厚到可以产生地壳熔融的厚度。

沙让钼矿床与西藏其他钼矿床(如帮普钼矿等)不同,除了在花岗斑岩中有钼矿化,在闪长岩中也具有工业开发价值的钼矿化。从石英-辉钼矿硫化物脉的分布特征看,这种特殊性显示了钼矿化是在斑岩体侵位后,成矿流体在斑岩和闪长岩的侵入接触带存在强烈的循环,形成接触带的细脉浸染状矿体。鉴于矿石的硅化十分强烈,高品位矿石中石英-辉钼矿脉的产状平缓,近于水平、直立或陡倾角的石英-辉钼矿细脉、辉钼矿细脉少见,因此,该矿床已被剥蚀了一部分。事实上,沙让钼矿可利用的钼矿体,都表现为层状,从地表开始,200 m以下的矿化已经较弱,因此,下一步的找矿方向应该侧重于花岗斑岩与闪长岩的接触带。

4 结论

综上所述,本文结论如下:

(1)西藏沙让钼矿区大面积分布的角闪闪长岩的成岩年龄为(53.25±0.60)Ma,属于喜马拉雅期始新世早期。该岩体的侵入时间早于含矿主岩体斜长花岗斑岩体的形成。

(2)本区SHRIMP锆石 U-Pb 年龄和角闪石 Ar-Ar 法年龄可能均受到了后期花岗斑岩体侵入热事件的影响,锆石的蜕晶化作用导致年龄偏低,角闪石 Ar-Ar 年龄受到后期热事件影响较小,虽然过剩氩的存在影响了其测年的准确性,但其最低坪年龄具有地质意义,基本代表了岩浆冷却年龄即成岩年龄。

(3)已有资料表明,沙让复式岩体的形成与冈底斯成矿带存在的岩浆底侵作用有关,斑岩钼矿的形成,表明始新世早期冈底斯成矿带的地壳已经增厚到可以产生地壳熔融的厚

度,形成斑岩钼矿。

References

- Berger G W. 1975. ^{40}Ar - ^{39}Ar step bearing of thermally overprinted biotite, hornblende and potassium feldspar from Eldora, Colorado [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 26 : 387-408.
- Compston W, Williams I S and Meyer C. 1984. U-Pb geochronology of zircons from lunar breccia 73217 using a sensitive high mass-resolution microprobe [J]. *Journal of Geophysical Research*, 89(Supp.): 325-534.
- Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, Zhang Z C and Ma G G. 1992. Zircon U-Pb ages of Early Cambrian time-scale [J]. *Journal of Geological Society*, 149 : 171-184.
- Dong G C, Mo X X, Zhao Z D, Wang L L and Chen T. 2005. Geochronologic constraints on the magmatic underplating of the Gangdese Belt in the India-Eurasia Collision: Evidence of SHRIMP II zircon U-Pb dating [J]. *Acta Geologica Sinica*, 5(3): 756-765 (in Chinese with English abstract).
- Harrison T M. 1981. Diffusion of ^{40}Ar in hornblende [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 78 : 324-331.
- Hanson G. N, Simmons K R and Bence A E. 1975. ^{40}Ar - ^{39}Ar spectrum ages for biotite, hornblende and muscovite in a contact metamorphic zone [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 39 : 1269-1277.
- Hou Z Q, Lu Q T, Wang A J, Li X B, Wang Z Q and Wang E Q. 2003a. Continental collision and related metallogeny: A case study of mineralization in Tibetan orogen [J]. *Mineral Deposits*, 22(4): 319-334 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Qu X M, Wang S X, Gao Y F, Du A D and Huang W. 2003b. Re-Os dating for molybdenite from porphyry copper deposit in Gangdese metallogenic belt, Xizang: Ore forming time-limit and application of kinetics [J]. *Science in China (Series D)*, 33 : 509-618 (in Chinese).
- Hou Z Q, Mo X X, Yang Z M, Wang A J, Pang G T, Qu X M and Nie F J. 2006a. Metallogenesis in the collisional orogen of the Qinghai-Tibet Plateau: Tectonic setting, tempo-spatial distribution and ore deposit types [J]. *Geology in China*, 33(2): 348-359 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Yang Z S, Xun W Y, Mo X X, Ding L, Gao Y F, Dong F L, Li G M, Qu X M, Li G M, Zhao Z D, Jinag S H, Meng X J, Li Z Q and Qin K Z. 2006b. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: I. Mineralization in main collisional orogenic setting [J]. *Mineral Deposits*, 25(4): 337-358 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Pan G T, Wang A J, Mo X X, Tian S H, Sun X M, Ding L, Wang E Q, Gao Y F, Xie Y L, Zeng P S, Qin K Z, Xu J F, Qu X M, Yang Z M, Yang Z S, Fei H C and Li Z Q. 2006c. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: II. Mineralization in late-collisional transformation setting [J]. *Mineral Deposits*, 25(5): 521-543 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Zhao Z D, Gao Y F, Yang Z M and Jiang W. 2006d. Tearing and dischronal subduction of the Indian continental slab: Evidence from Cenozoic Gangdese volcano-magmatic rocks in south Tibet [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 761-774 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Qu X M, Yang Z S, Meng X J, Li Z Q, Yang Z M, Zhen M P, Zheng Y Y, Nie F J, Gao Y F, Jiang S H and Li G M. 2006e. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: III. Mineralization in post-collisional extension setting [J]. *Mineral Deposits*, 25(6): 629-651 (in Chinese with English abstract).
- Jian P, Liu D Y and Sun X M. 2003. SHRIMP dating of carboniferous Jinsha jiang ophiolite in western Yunnan and Sichuan: Geochronological constraints on the evolution of the Paleo-Tethys oceanic crust [J]. *Acta Geologica Sinica*, 77(2): 217-228 (in Chinese with English abstract).
- Lanphere M A and Dalrymple C B. 1976. Identification of excess ^{40}Ar by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectrum technique [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 32 : 141-148.
- Liu X M. 1998. Interpretation of discordant U-Pb zircon ages [J]. *Progress in Precambrian Research*, 21(3): 51-56 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R. 2000. Users manual for isoplot/Ex: A geochronological toolkit for microsoft excel [M]. Berkeley Geochronology Center Special Publication. Berkeley, CA, USA. 53.
- Ludwig K R. 2001. Squid 1.02: A user manual [M]. Berkeley Geochronology Center Special Publication. 219.
- Li G M and Rui Z Y. 2004a. Diagenetic and mineralization ages for the porphyry copper deposits in the gangdise metallogenic belt, southern xizang [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 28(2): 165-170 (in Chinese with English abstract).
- Li G M, Rui Z Y, Lin F C, She H Q and Liu B. 2004b. Re-Os dating of molybdenite from the Jiama and Qulong skarn type deposit in Tibet and its geological significance [A]. In: Ouyang Z Y. Proceedings of the 2nd national academic symposium on metallogenetic theory and ore-prospecting method [C]. The 2nd National Academic Symposium on Metallogenetic Theory and Ore-Prospecting Method. 2004. Guangzhou: Geological Review. 32 (in Chinese).
- Meng X J, Hou Z Q, Gao Y F, Huang W, Qu X M and Qu W J. 2003. Re-Os Dating for molybdenite from Qulong porphyry copper deposit in Gangdese Metallogenic Belt, Xizang and its metallogenic significance [J]. *Geological Review*, 49(6): 660-666 (in Chinese with English abstract).
- Meng X J, Hou Z Q and Li Z Q. 2006. Sulfur and lead isotope compositions of the Qulong porphyry copper deposit, Tibet: Implications for the sources of plutons and metals in the deposit [J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(4): 554-560 (in Chinese with English abstract).
- Mo J H, Liang H Y, Yu H X, Xie Y W and Zhang Y Q. 2006. Comparison of Ela-ICP-MS and SHRIMP U-Pb zircon ages of the Chongjiang and Qulong ore-bearing porphyries in the Gangdese porphyry copper belt [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 30(4): 504-509 (in Chinese with English abstract).
- Mo X X, Zhao Z D, Deng J F, Dong G C and Zhou S. 2003. Response

- of volcanism to the India-Asia collision [J]. Earth Science Frontiers , 10(3):135-148(in Chinese with English abstract).
- Qin K Z , Li G M , Zhao J X , Li J X , Xue G Q , Yan G , Su D K , Xiao B , Chen L and Fan X . 2008 . Discovery of sharang large-scale porphyry molybdenum deposit , the first single Mo deposit in Tibet and its significance [J]. Geology in China , 35(6): 1101-1112(in Chinese with English abstract).
- Qiu H N , Dai T M and Pu Z P . 1995 . The implications of ^{40}Ar - ^{39}Ar saddle-shaped age spectra of trace K minerals from the Lushui tungsten-tin deposit , Yunnan Province [J]. Mineral Deposits , 14(3): 273-280(in Chinese with English abstract).
- Qu X M , Hou Z Q and Huang W . 2001 . Is Gangdese porphyry copper belt the second " Yulong " copper belt [J]? Mineral Deposits , 20(4): 355-366(in Chinese with English abstract).
- Reddy S M , Kelley S P and Magennis L . 1997 . Amicro structural and argon laser probe study of shear zone development at the western margin of the Nanga Parbat-Haramosh Massif , western Himalaya [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology , 128 : 16-29 .
- Rui Z Y , Hou Z Q , Qu X M , Zhang L S , Wang L S and Liu Y L . 2003 . Metallogenetic epoch of Gangdese porphyry copper belt and uplift of Qinghai-Tibet Plateau [J]. Mineral Deposits , 22(3): 217-222(in Chinese with English abstract).
- Song B , Zhang Y H , Wang Y S and Jian P . 2002 . Mount making and procedure of SHRIMP dating [J]. Geological Review , 48(Supp.) : 26-30(in Chinese with English abstract).
- Tang J X , Li Z J , Zhang L , Huang Y , Deng Q and Lang X H . 2007 . Geological characteristics of Xiongcu porphyry-epithermal gold deposit [J]. Acta Mineralogica Sinica , 27(Supp.) : 127-128 . (in Chinese with English abstract).
- Tang J X , Chen Y C , Jiang Y H and Wang R J . 2008 . Deposit characteristics of the main skarn type deposits in Tibet [A]. In : Chen Y C , ed . The proceeding of the 9th national conference of mineral deposits , China [C]. Beijing : Geol. Pub. House . 36-37(in Chinese without English abstract).
- Tang J X , Huang Y , Li Z J , Deng Q , Lang X H , Chen Y and Zhang L . 2009a . Element geochemical characteristics of Xiongcu Cu-Au deposit in Xaitongmoin County , Tibe [J]. Mineral Deposits , 28(1): 15-28(in Chinese with English abstract).
- Tang J X , Chen Y C , Wang D H , Wang C H , Xu Y P , Qu W J , Huang W and Huang Y . 2009b . Re-Os dating of molybdenite from the Sharang porphyry molybdenum deposit in Gongbujiangda Country , Tibet and its geological significance [J]. Acta Geologica Sinica , 83(5): 698-704(in Chinese with English abstract).
- Wang J Y . 1983 . Geological characteristics and genesis of porphyry copper deposit and molybdenum deposit [J]. Mineral Resources and Geology , 11(8): 75-82(in Chinese with English abstract).
- Williams I S and Claesson S . 1987 . Isotopic evidence for the Precambrian provenance and Caledonian metamorphism of highgrade paragneisses from the Seve Nappe , Scandinavian Caledonides : Ionmicroprobe zircon U-Th-Pb [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology , 97 : 205-217 .
- Williams I S . 1998 . U-Th-Pb geochronology by ion microprobe . McKibben M A , Shanks III W C and Ridley W I . Applications of micro-analytical techniques to understanding mineralizing processes [J]. Reviews in Economic Geology , 7 : 1-35 .
- Wu Y B and Zheng Y F . 2004 . Research on genesis mineralogy of zircon and it 's restriction in interpretation of U-Pb zircon ages [J]. Chinese Science Bulletin , 49(16): 1589-1604(in Chinese with English abstract).
- Yang Z M , Hou Z Q , Song Y C , Li Z Q , Xia D X and Pan F C . 2008a . Qulong superlarge porphyry Cu deposit in Tibet : Geology , alteration and mineralization [J]. Mineral Deposits , 27(3): 279-318(in Chinese with English abstract).
- Yang Z M , Hou Z Q , Xia D X , Song Y C and Li Z . 2008b . Relationship between western porphyry and mineralization in Qulong copper deposit of Tibet and its enlightenment to further exploration [J]. Mineral Deposits , 27(1): 28-36(in Chinese with English abstract).
- Zhang L , Tang J X , Deng Q , Huang Y , Lang X H , Jim Lang and Reza Tafti . 2007 . Study on mineral compositions of the ore from the Xiongcu 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).
- Zheng Y Y , Duo J , Wang R J , Cheng S B , Zhang G Y , Fan Z H , Gao S B and Dai F H . 2007 . New Advances in the study of the gigantic Gangdise porphyry copper metallogenetic zone , Tibet [J]. Geology in China , 34(2): 324-334(in Chinese with English abstract).
- Zheng Y Y , Zhang Y G , Gao S B , Gong F Z , Qu W J and Pang Y C . 2008 . The discovery and significance of the Sharang porphyry molybdenum deposit and its rock-forming and ore-forming age restriction [A]. In : Chen Y C , ed . The proceeding of the 9th national conference of mineral deposits , China [C]. The 9th national conference of mineral deposits . Beijing : Geol. Pub. House . 674-676(in Chinese).

附中文参考文献

- 董国臣 , 莫宣学 , 赵志丹 , 王亮亮 , 陈涛 . 2005 . 印度-欧亚大陆碰撞过程中冈底斯岩带浆底侵作用的年代学限定 : SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄证据 [J]. 地质学报 , 79(6): 756-765 .
- 侯增谦 , 吕庆田 , 王安建 , 李晓波 , 王宗起 , 王二七 . 2003a . 初论陆-陆碰撞与成矿作用--以青藏高原造山带为例 [J]. 矿床地质 , 22(4): 319-333 .
- 侯增谦 , 曲晓明 , 王淑贤 , 高永丰 , 杜安道 , 黄卫 . 2003b . 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 [J]. 中国科学 , 33 : 509-618 .
- 侯增谦 , 莫宣学 , 杨志明 , 王安建 , 潘桂棠 , 曲晓明 , 聂凤军 . 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(2): 348-359 .
- 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,潘桂棠,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,赵志丹,高永丰,杨志明,江万. 2006d. 印度大陆板片前缘撕裂与分段俯冲: 来自冈底斯新生代火山-岩浆作用证据[J]. 岩石学报, 22(4): 761-774.
- 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. 2006e. 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(6): 629-651.
- 李光明,芮宗瑶. 2004a. 西藏冈底斯成矿带斑岩铜矿的成岩成矿年龄[J]. 大地构造与成矿学, 28(2): 165-170.
- 李光明,芮宗瑶,林方成,余宏全,刘波. 2004b. 西藏甲马和驱龙矽卡岩型铜-多金属矿床的 Re-Os 年龄及意义[A]. 见: 欧阳自远. 第二届全国成矿理论与找矿方法学术研讨会论文集[C]: 32.
- 简平,刘敦一,孙晓猛. 2003. 滇川西部金沙江石炭纪蛇绿岩 SHRIMP 测年: 古特提斯洋壳演化的同位素年代学制约[J]. 地质学报, 77(2): 217-228.
- 刘新秒. 1998. 锆石中放射性成因铅的丢失及对锆石测年的影响[J]. 前寒武纪研究进展, 21(3): 51-56.
- 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[J]. 地质论评, 49(6): 660-666.
- 孟祥金,侯增谦,李振清. 2006. 西藏驱龙斑岩铜矿 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.
- 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-ICP-MS 及 SHRIMP 定年对比研究[J]. 大地构造与成矿学, 30(4): 504-509.
- 莫宣学,赵志丹,邓晋福,董国臣,周肃. 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(3): 135-148.
- 秦克章,李光明,赵俊兴,李金祥,薛国强,严刚,粟登奎,肖波,陈雷,范新. 2008. 西藏首例独立钼矿-冈底斯沙让大型斑岩钼矿的发现及其意义[J]. 中国地质, 35(6): 1101-1112.
- 邱华宁,戴樟熹,蒲志平. 1995. 云南泸水钨锡矿床微量钼矿物 ^{40}Ar - ^{39}Ar 马鞍型年龄谱的含义[J]. 矿床地质, 14(3): 273-280.
- 曲晓明,侯增谦,黄卫. 2001. 冈底斯斑岩铜矿(化)带: 西藏的二条玉龙铜带[J]. 矿床地质, 20(4): 355-366.
- 芮宗瑶,侯增谦,曲晓明,张立生,王龙生,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.
- 宋彪,张玉海,万渝生,简平. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测成年龄及有关现象讨论[J]. 地质论评, 48(增刊): 26-30.
- 唐菊兴,李志军,张丽,黄勇,邓起,郎兴海. 2007. 雄村式斑岩型-浅成低温热液型铜金矿地质特征[J]. 矿物学报, 27(增刊): 127-128.
- 唐菊兴,陈毓川,江云华,王瑞江. 2008. 西藏主要夕卡岩矿床特征[A]. 见: 陈毓川. 第九届全国矿床会议论文集[C]. 第九届全国矿床会议. 2008. 北京: 地质出版社. 36-37.
- 唐菊兴,黄勇,李志军,邓起,郎兴海,陈渊,张丽. 2009a. 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,陈毓川,王登红,王成辉,许远平,屈文俊,黄卫,黄勇. 2009b. 西藏工布江达县沙让斑岩钼矿床辉钼矿-钼同位素年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 83(5): 698-704.
- 吴元保,郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 49(16): 1589-1604.
- 王建业. 1983. 斑岩铜矿与斑岩钼矿的地质特征及成因[J]. 矿产与地质, 11(8): 75-82.
- 杨志明,侯增谦,宋玉财,李振清,夏代详,潘凤雏. 2008a. 西藏驱龙超大型斑岩铜矿床: 地质、蚀变与成矿[J]. 矿床地质, 27(3): 279-318.
- 杨志明,侯增谦,夏代详,宋玉财,李政. 2008b. 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(1): 28-36.
- 张丽,唐菊兴,邓起,黄勇,郎兴海, Jim Lang, Reza Tafti. 2007. 西藏谢通门县雄村钨(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.
- 郑有业,多吉,王瑞江,程顺波,张刚阳,樊子琛,高顺宝,代芳华. 2007. 西藏冈底斯巨型斑岩铜矿带勘查研究最新进展[J]. 中国地质, 34(2): 324-334.
- 郑有业,张刚阳,高顺宝,龚福志,屈文俊,庞迎春. 2008. 西藏沙让斑岩型钼矿床的发现意义及成岩成矿时代约束[A]. 见: 陈毓川. 第九届全国矿床会议论文集[C]. 北京: 地质出版社. 674-676.