

内蒙古维拉斯托铜锌矿床的白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄探讨

潘小菲¹ 郭利军² 王 硕^{2,3} 薛怀民¹ 侯增谦¹ 童 英¹ 李志明⁴

(1. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037; 2. 内蒙古地质矿产局, 内蒙古 呼和浩特 010010; 3. 内蒙古地质勘查有限责任公司, 内蒙古 呼和浩特 010020; 4. 中国地质环境监测院, 北京 100081)

摘 要: 采用显微激光探针法首次测定了维拉斯托铜锌矿床的白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄, 结果为 $133.4 \pm 0.8 \text{ Ma}$ 。根据白云母产出形态, 认为测定的白云母与维拉斯托铜锌矿床成矿后期热液活动有关, 据此确定维拉斯托矿床的成矿最晚时限为 $133.4 \pm 0.8 \text{ Ma}$ 。区域地质背景特征显示, 维拉斯托矿床在成因上受区域性造山期后岩石圈伸展作用控制, 与区域性燕山晚期的岩浆作用关系密切, 后者为矿床的形成可能提供了必要的热源和物源。

关键词: 维拉斯托, 铜锌矿床, $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄, 成矿年龄

中图分类号: P597+.3; P618.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2009)05-0473-07

Laser microprobe Ar-Ar dating of biotite from the Weilasituo Cu-Zn polymetallic deposit in Inner Mongolia

PAN Xiao-fei¹, GUO Li-jun², WANG Shuo^{2,3}, XUE Huai-min¹, HOU Zeng-qian¹, TONG Ying¹
and LI Zhi-ming⁴

(1. Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China; 2. Bureau of Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia, Hohhot 010010, China; 3. Inner Mongolia Geology and Prospecting Co. Ltd., Hohhot 010020, China; 4. China Institute of Geo-environment Monitoring, Beijing 100081, China)

Abstract: ⁴⁰Ar-³⁹Ar fast-neutron activation dating of biotite from the Weilasituo Cu-Zn polymetallic deposit in Inner Mongolia was conducted by microprobe. The average age $133.4 \pm 0.8 \text{ Ma}$ is considered to be the time limit of the last or the late hydrothermal activity in the Weilasituo copper-zinc deposit. According to regional age relationship, the ore deposit seems to have been controlled by regional post-orogenic lithospheric thinning and strongly related to the magmatism of the late Yanshanian granite. The late regional Yanshanian granite might have provided the necessary heat and material resources for the formation of the Weilasituo deposit.

Key words: Weilasituo; copper-zinc deposit; Ar-Ar dating; ore-forming age

维拉斯托铜锌矿床是由内蒙古地矿局地矿处研究中心于 2001~2005 年间通过综合地质物化探普查和钻探验证, 与拜仁达坝银铅锌矿床同时发现的一处大型异常区。该矿床处在兴蒙古生代地槽褶皱系东缘, 华力西晚期褶皱系米生庙复背斜西段轴部(阎鸿铨, 1998)(图 1a)。内蒙古维拉斯托矿业公司

于 2007 年对该矿区进行了更大比例尺(1:10 000 和 1:2 000)的全面详查和开采控矿布钻勘探, 揭露的实际矿体最大金属估算储量仅有 850 万吨, 主要可开采矿种为铜、锌、砷等。至今, 该矿床已正式开发达两年, 然而, 除郭利军等(2004)和郑翻身等(2005, 2006)对该矿的地质勘探发现过程进行了描述之外,

收稿日期: 2009-02-06; 修订日期: 2009-05-15

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目(40802022) 基本科研业务费资助项目(J0811) 内蒙古地质勘查有限责任公司科研项目(W2701)

作者简介: 潘小菲(1977-), 女, 助理研究员, 主要从事矿床成因研究, 电话: 010-68999740, E-mail: pan_smile0551@sina.com.cn。

矿床的地质特征、矿床特征研究非常薄弱,基本未进行矿床的可能形成机制及成矿年代学研究。

在研究内蒙古维拉斯托矿床的矿石组合特征时,发现该矿床矿体中发育与矿床关系密切的云母脉,在局部矿体中,可见云母矿物与铜锌矿石共生,或者见到宽约 2~4 cm 的粗颗粒白云母以脉的形式切穿铜锌矿体。白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 定年技术已经相当成熟(Kistler et al., 1985; Perkins et al., 1990),许多工作者已经成功地应用白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 方法确定

或估算出矿床的形成年龄(Kistler et al., 1985; Perkins et al., 1990; 陈文等, 1994; 邱华宁等, 1997; Kelley et al., 1997; 穆治国, 2003; 温春齐等 2004)。本文根据维拉斯托矿床的实际地质特点,采用激光显微探针 Ar/Ar 方法测定了矿区内与铜锌矿石共生的含镁白云母的 Ar/Ar 年龄,以估算维拉斯托矿床的成矿年龄或矿床热液活动时限,为进一步研究矿床的成矿动力学背景研究提供矿床年龄年代学证据。

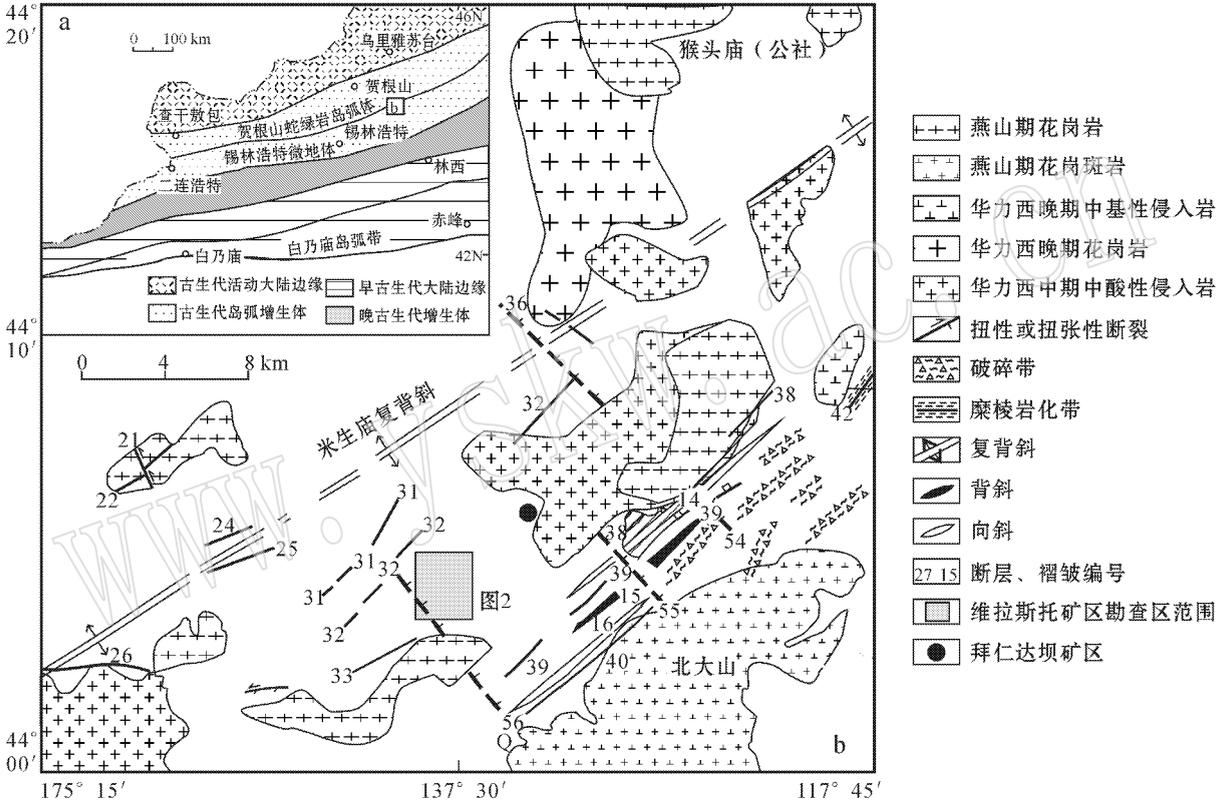


图 1 维拉斯托铜多金属矿床构造背景及侵入岩体示意图

Fig. 1 Schematic map of structural and geological setting of the Weilasituo Cu-Zn polymetallic deposit

1 样品采集和特征

维拉斯托铜锌多金属矿床的主要矿体为 1 号脉,局部发育少量白云母脉或白云母团块,具体采样位置见图 2。根据白云母与其他矿石矿物如黄铜矿、闪锌矿、毒砂和脉石矿物石英、萤石的产状关系,样品可以分为 3 类。第 1 类白云母,是与矿石矿物黄铜矿、闪锌矿及毒砂共生呈条带状产出的白云母脉,该类型白云母为主成矿期成因(图 3a、3b)。第 2 类

白云母是以胶结物形式胶结早期闪锌矿角砾(图 3c),可能稍晚于闪锌矿脉的形成时期。第 3 类白云母是以梳状对称平直脉产在主矿体的中间(3d),表明主矿体在晚期受到拉张作用形成裂隙,白云母充填形成最晚期的张性脉,该类白云母脉切穿了主矿体,应为成矿期后成因。

用于年龄测试的白云母样品直接取自第 2 类白云母,新鲜,未受后期蚀变作用影响。经破碎、过筛、拣选,直至粒级为 40~60 目,然后通过砂盘淘洗、自然晾干、磁选,最后在双目镜下检查提纯白云母,其

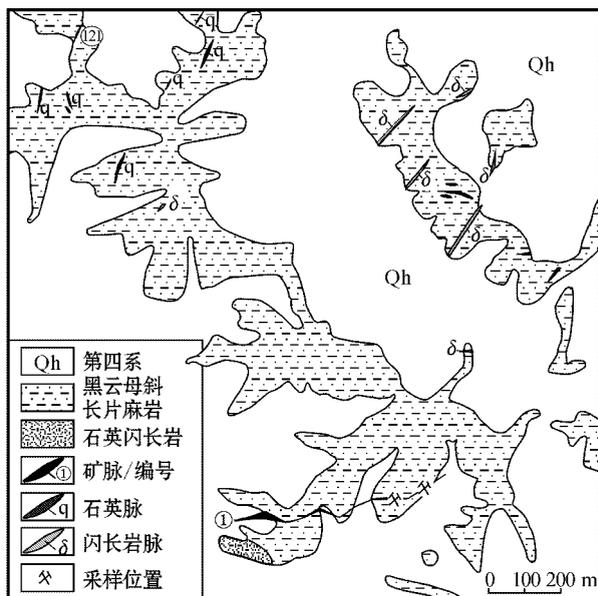


图2 维拉斯托矿区地质特征示意图(据内蒙古赤峰地质矿产勘查开发院,2007)^①

Fig. 2 Schematic geological map of the Weilasituo Cu polymetallic deposit

纯度达99%以上。

2 分析方法

利用白云母进行 $^{40}Ar-^{39}Ar$ 定年的实例很多,可以采用微区激光探针或单矿物快中子活化(戴樟谟等,1995;邱华宁等,1997;温春齐等,2004)。本次研究采用微区激光探针测年法,在北京大学稳定同位素年代学实验室利用英国GV公司生产的MS5400气体质谱计(VSS)测试了两个白云母样品(WL-12和WL-20)的年龄。测试流程为:用超声波清洗纯的白云母矿物(纯度>99%)。先用经过两次亚沸蒸馏净化的纯净水清洗3次,每次3min,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。然后在丙酮中清洗两次,每次3min,以清除矿物表面吸附的油污等有机物质。清洗后的样品被封进石英瓶中接受49-2反应堆H8孔道中心位置快中子照射,使样品中 ^{39}K 经过 $^{39}K(n,p)$ 核反应变成。照射时间为53h,中子积分通量为 $1.32 \times 10^{18} n/cm^2$ 。用于监测中子通量的标准样为中国标准样ZBH-25黑云母(132Ma)。氩同位素测量原始数

据进行了时间零点、质量歧视、分馏效应、空白本底(空白加垫本底: $^{40}Ar = 2.4 \times 10^{-14} mol$, $^{39}Ar = 5.8 \times 10^{-16} mol$, $^{38}Ar = 4.6 \times 10^{-16} mol$, $^{37}Ar = 3.1 \times 10^{-16} mol$, $^{36}Ar = 5.4 \times 10^{-16} mol$)和K、Ca、Cl干扰同位素及 ^{37}Ar 放射性衰变校正。照射参数 $J = 0.003261$, $\lambda = 5.81 \times 10^{-11}/a$ 。对 $^{40}Ar-^{39}Ar$ 同位素比值和年龄误差以 2σ 计。

3 分析结果

维拉斯托铜锌多金属矿床白云母样品的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 测定结果见表1。两个白云母样品都经过22次激光探针测定,得到22组测定数据。WL-12所获得的统计平均年龄分别为 $133.4 \pm 0.8 Ma$,具有很好的正态分布特征,而且权重均差(MSWD)为2.1(图4a1),年龄具有实际意义,在正等时线图上截距年龄为 $133.4 \pm 1.6 Ma$ (图4b1),MSWD=0.23。WL-20所获得的坪平均年龄为 $133.5 \pm 0.8 Ma$,权重均差(MSWD)为1.60(图4a2),具有很好的正态分布特征,年龄具有实际意义,在正等时线图上截距年龄为 $133.8 \pm 1.7 Ma$ (图4b2),MSWD=0.18。

两组测试时的初始Ar同位素组成为 290 ± 20 ,在误差范围内与大气Ar比值(295.5 ± 0.5)差异不大,说明白云母测试样品无过剩Ar产生。

4 讨论

上述测试结果显示两个样品年龄具有惊人的一致性,可以认为该测定的年龄数据具有一定的地质实际意义,所测定的 $^{40}Ar-^{39}Ar$ 年龄可以近似代表矿床在形成过程中所经历的一次热液活动事件。该白云母以胶结物形式胶结早期闪锌矿角砾,其封闭年龄可能晚于闪锌矿脉的形成时期,但也属于维拉斯托矿床晚期成矿热液事件。因此,白云母脉的 $^{40}Ar-^{39}Ar$ 年龄 $133.4 \pm 0.8 Ma$ 应代表维拉斯托矿床晚期成矿热液活动的时间下限。

大兴安岭经历了强烈的古生代碰撞造山作用后,晚古生代至中生代早期(P_3-T)进入了隆起、剥蚀和夷平阶段,完成全部造山过程。当经历了一个短暂的、相对稳定的阶段后,在侏罗—白垩纪(J_3-K_1)本区进入了造山期后的演化阶段,出现了由裂陷

① 内蒙古赤峰地质矿产勘查开发院,2007. 维拉斯托铜多金属矿详查报告。

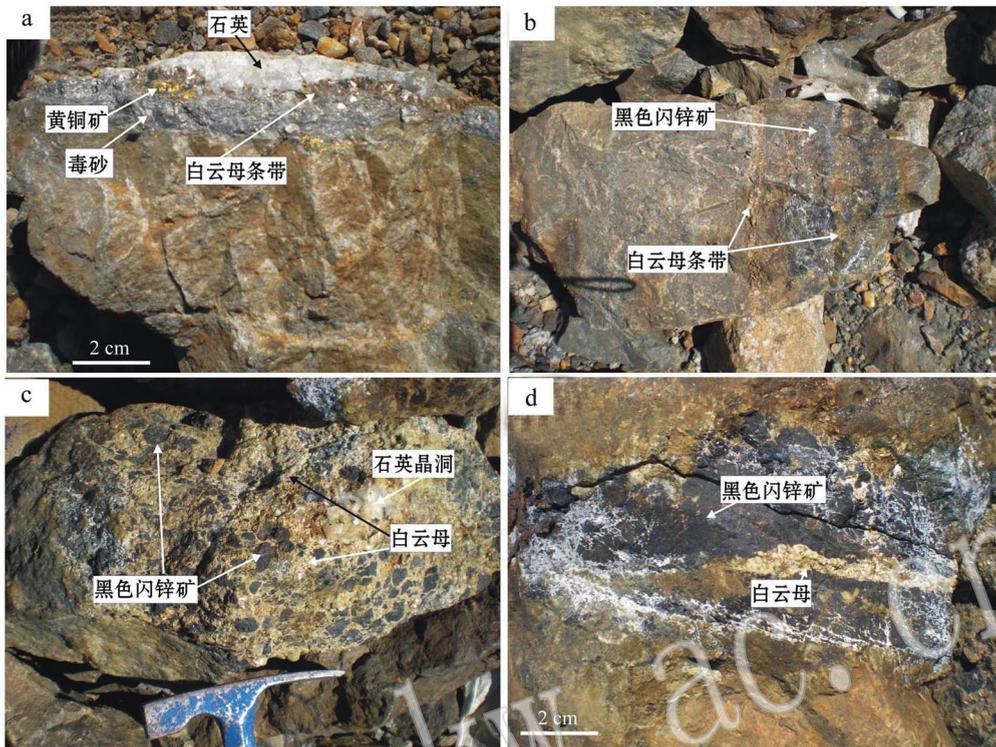


图3 维拉斯托铜锌多金属矿床白云母特征

Fig. 3 Modes of occurrence of muscovite from the Weilasituo Cu-Zn polymetallic deposit

a—第1类白云母,呈条带状与毒砂、黄铜矿及石英组成石英-毒砂-白云母±黄铜矿脉; b—第1类白云母脉,与闪锌矿及少量黄铁矿成条带状产出; c—闪锌矿呈角砾,被第2类白云母胶结,偶尔可见石英晶洞; d—第3类晚期白云母脉,呈梳状切穿闪锌矿-黄铁矿脉

a—the first type banded muscovite, coexistent with arsenopyrite, chalcopyrite and quartz; b—the first type banded muscovite, coexistent with sphalerite and minor pyrite; c—sphalerite breccia cemented by the second type muscovite, with sporadic quartz druse; d—late type comb-like muscovite vein, cutting sphalerite-pyrite vein

和隆起构成的造山期后伸展构造格架(图 1a)。该伸展构造背景下,软流圈上涌带来了巨大热能,幔源物质不断渗透改造了上部地壳,形成了丰富的多金属矿床和能源矿床(邵济安等,1994)。

矿区附近有大量的火山喷发作用和花岗岩侵位。区内火山喷发时间主要集中在晚侏罗世,测定的年龄分布于 146~160 Ma(邵济安等,1998;盛继福等,1999)。区内侵入岩体具有多期多阶段侵位特征,从华力西期至燕山晚期,共有 5 个岩浆就位阶段(图 1b),其中与维拉斯托铜多金属矿床成矿作用关系密切的岩体有两期,即直接的赋矿岩体华力西期石英闪长岩体和区内近矿岩体燕山晚期的石英二长-钾长花岗岩。后者在矿区内地表出露虽然较少,其主体也主要分布于维拉斯托矿区西南部包括马勒根坝-浩布高-小井子一带,侵位于黄岗-甘珠尔庙断陷带内次级隆起边缘,年龄峰值集中在 120~140 Ma(J_3 末— K_1),

但其侵位基本为该区造山期后的岩石圈伸展作用结果(邵济安等,1998;刘伟等,2007)。该岩体的侵位年龄恰又与本文所测定的白云母年龄(133.4 ± 0.8 Ma)吻合,表明维拉斯托矿床的最晚期热液成矿活动受区域性造山期后岩石圈伸展作用控制,与区域上燕山晚期的岩浆热液活动关系非常密切,后者可能为维拉斯托矿床提供了成矿所必须的热源甚至部分成矿物质。

目前,根据我们已测定的脉石石英氧和矿石金属硫化物(闪锌矿和黄铁矿)硫同位素数据(已测,待发表),认为该矿床的成矿流体和成矿物质都为岩浆热液来源,尤其是硫同位素数据比较集中($\delta^{34}S = 3\% \sim 1\%$,平均值 0.6‰)。另外,据 1:20 万区域化探扫描面报告及 1:5 万化探普查结果(内蒙古赤峰地质矿产勘查开发院,2007)^①,维拉斯托矿区 Ag、Pb、Zn、Cu 等元素在燕山期花岗岩及花岗斑岩中较为富集,

① 内蒙古赤峰地质矿产勘查开发院,2007. 维拉斯托铜多金属矿详查报告.

表 1 维拉斯托铜锌多金属矿床样品白云母 $^{40}Ar-^{39}Ar$ 年龄测定Table 1 $^{40}Ar-^{39}Ar$ age of biotite of samples from the Weilasituo Cu-Zn polymetallic deposit

样号	$(^{40}Ar/^{39}Ar)_m$	$(^{36}Ar/^{39}Ar)_m$	$(^{37}Ar/^{39}Ar)_m$	$(^{38}Ar/^{39}Ar)_m$	$^{40}Ar^*/^{39}Ar$	$^{39}Ar/10^{-14}$	年龄/Ma
WL-12							
1414-01	1.214 39	0.004 22	0.010	0.015 2	23.624	0.445	133.9 ± 0.9
1414-02	7.930 25	0.003 98	0.003	0.013 2	23.433	2.94	132.8 ± 0.8
1414-03	13.756 78	0.004 57	0.006	0.013 3	23.512	5.04	133.3 ± 0.8
1414-04	19.637 38	0.001 49	0.004	0.012 8	23.562	7.46	133.6 ± 0.8
1414-05	14.507 56	0.002 84	0.006	0.012 9	23.554	5.42	133.5 ± 0.8
1414-06	3.711 20	0.003 06	0.039	0.014 7	23.465	1.39	133.0 ± 0.8
1414-07	4.477 55	0.002 54	0.040	0.014 6	23.442	1.69	132.9 ± 0.8
1414-08	4.788 63	0.003 11	0.032	0.014 8	23.517	1.79	133.3 ± 0.8
1414-09	6.255 85	0.002 85	0.006	0.012 8	23.588	1.94	133.7 ± 0.8
1414-10	2.096 79	0.006 97	0.026	0.014 9	23.590	0.745	133.7 ± 0.8
1414-11	4.427 76	0.003 56	0.040	0.014 8	23.542	1.43	133.4 ± 0.8
1414-12	13.003 65	0.002 83	0.006	0.013 0	23.523	4.86	133.3 ± 0.8
1414-13	6.981 08	0.005 36	0.016	0.013 4	23.523	2.53	133.3 ± 0.8
1414-14	12.795 92	0.001 77	0.003	0.012 9	23.537	4.85	133.4 ± 0.8
1414-15	14.047 05	0.002 65	0.009	0.012 9	23.602	5.25	133.8 ± 0.8
1414-16	9.279 52	0.001 94	0.005	0.013 0	23.600	3.50	133.8 ± 0.8
1414-17	10.986 96	0.003 19	0.000	0.013 0	23.536	4.10	133.4 ± 0.8
1414-18	4.549 20	0.002 85	0.042	0.014 6	23.463	1.71	133.0 ± 0.8
1414-19	19.039 96	0.003 83	0.009	0.013 2	23.483	7.05	133.1 ± 0.8
1414-20	9.600 40	0.003 12	0.009	0.013 1	23.428	2.93	132.8 ± 0.8
1414-21	13.263 42	0.002 42	0.006	0.013 0	23.599	4.98	133.8 ± 0.8
1414-22	7.059 58	0.003 13	0.001	0.013 0	23.581	2.62	133.7 ± 0.8
WL-20							
1414-01	2.526 8	0.000 466	0.002 98	0.001 521	24.37	0.743	133.1 ± 0.9
1414-02	2.348 0	0.000 316	0.003 29	0.001 379	24.42	0.731	133.4 ± 0.9
1414-03	11.796 1	0.001 473	0.003 18	0.006 022	24.53	4.23	133.9 ± 0.9
1414-04	3.974 1	0.000 463	0.005 52	0.002 326	24.46	1.21	133.6 ± 0.8
1414-05	5.520 5	0.000 907	0.001 65	0.002 774	24.40	1.96	133.2 ± 0.8
1414-06	3.979 4	0.000 721	0.006 20	0.002 371	24.41	1.17	133.3 ± 0.8
1414-07	5.388 1	0.000 570	0.001 52	0.002 715	24.44	1.95	133.4 ± 0.8
1414-08	5.599 3	0.000 958	-0.001 27	0.002 775	24.42	1.99	133.3 ± 0.9
1414-09	3.918 9	0.000 680	0.005 04	0.002 276	24.40	1.39	133.2 ± 0.9
1414-10	2.877 9	0.000 407	0.002 84	0.001 651	24.51	1.03	133.8 ± 0.9
1414-11	2.830 8	0.000 311	0.003 58	0.001 723	24.42	1.02	133.3 ± 0.9
1414-12	2.882 9	0.000 322	0.002 85	0.001 693	24.51	9.19	133.8 ± 0.9
1414-13	5.290 0	0.000 998	0.004 32	0.003 091	24.49	1.86	133.7 ± 0.8
1414-14	3.618 5	0.000 905	0.006 33	0.002 149	24.43	1.25	133.4 ± 0.9
1414-15	4.576 1	0.000 627	0.005 90	0.002 652	24.39	1.64	133.2 ± 0.8
1414-16	4.675 1	0.000 674	0.004 04	0.002 700	24.56	1.66	134.0 ± 0.8
1414-17	4.259 8	0.001 030	0.005 12	0.002 442	24.42	1.26	133.3 ± 0.8
1414-18	8.107 4	0.000 999	0.002 56	0.004 203	24.42	2.92	133.3 ± 0.8
1414-19	7.101 6	0.001 218	-0.000 02	0.003 642	24.57	2.50	134.1 ± 0.9
1414-20	5.990 5	0.000 795	0.002 18	0.003 139	24.47	2.14	133.6 ± 0.9
1414-21	4.674 0	0.000 601	0.007 63	0.002 737	24.42	1.68	133.3 ± 0.8
1414-22	5.956 6	0.000 793	0.000 42	0.003 103	24.47	1.81	133.6 ± 0.9

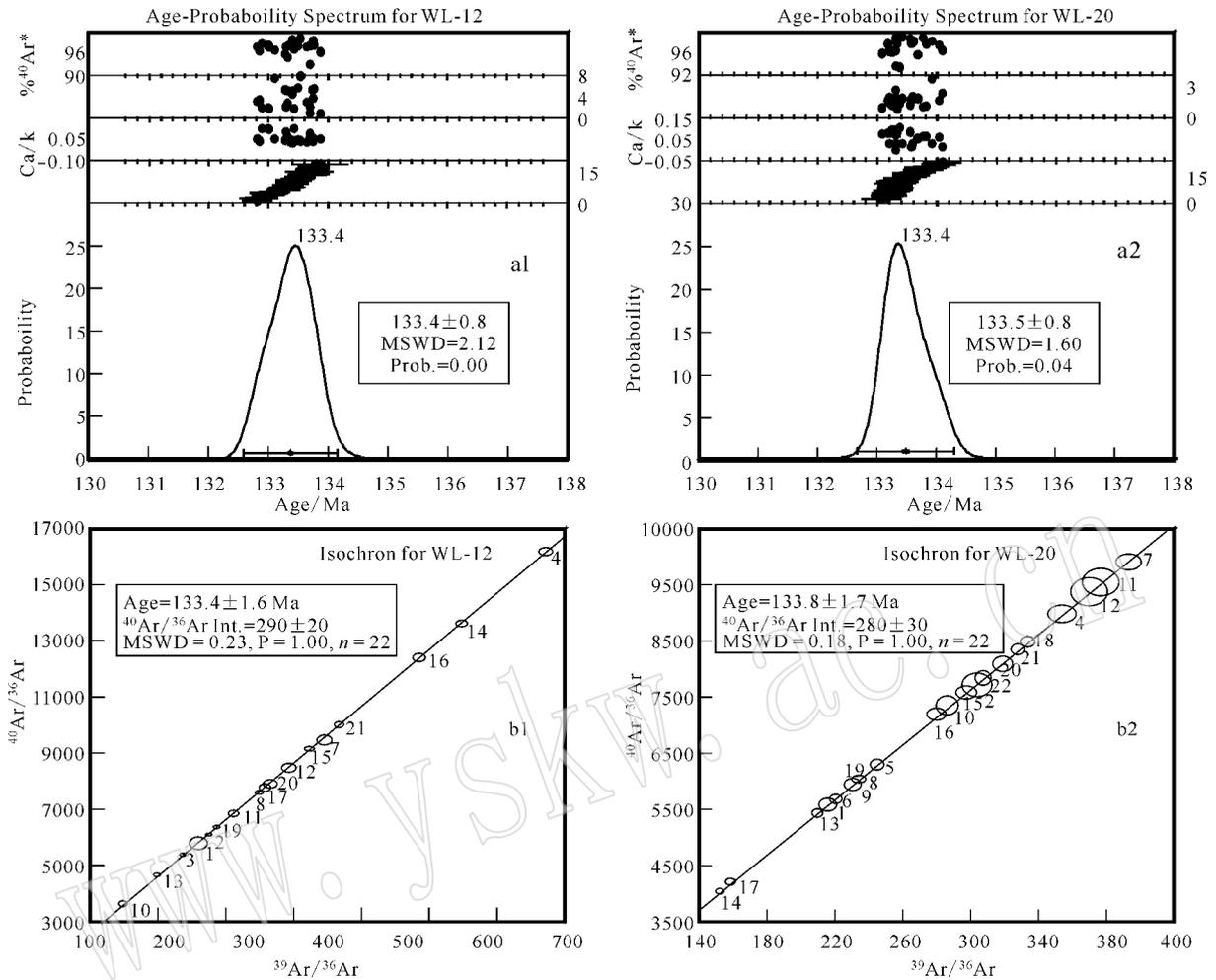


图 4 维拉斯托铜锌多金属矿床样品的白云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄谱(a1和a2)和正等时线图(b1和b2)

Fig. 4 Age spectra (a1 and a2) and Ar isochron ages (b1 and b2) of biotite from samples

且离差较大,成矿物质迁移富集程度较高,因此,分布于矿区西南侧的燕山期花岗岩很可能为维拉斯托矿床提供了热源和包括金属元素和矿化剂等在内的大量成矿物质。

5 结论

通过上述实验数据和区域背景讨论结果,得出如下结论:

(1)测定的白云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 激光探针年龄,限定了维拉斯托矿床晚期或最后一次成矿热液活动的年龄为 $133.4 \pm 0.8 \text{ Ma}$;

(2)维拉斯托矿床的成矿作用晚期或最后一次热液活动与区域上燕山晚期尤其是 $120 \sim 140 \text{ Ma}$ 的岩浆侵位作用和火山喷发作用关系密切,后者为矿

床晚期热液活动形成提供了主要的热源;矿区西南部的花岗斑岩体为维拉斯托矿床的形成提供了主要的金属物质。

致谢 课题组进行野外工作时得到维拉斯托铜锌矿业公司的张义和王路明工程师的大力帮助,另外,审稿和编辑同志对文章的撰写提出了建设性的修改建议和意见,在此对他们表示最真挚的感谢。

References

- Chen Wen, Luo Xiuquan, Zheng Baoying, *et al.* 1994. techniques research of Laser probe Ar/Ar dating [J]. Acta Geoscientia Sinica, 122: 197~205 (in Chinese).
- Dai Zimo, Pu Zhiping, Xu Jingliang, *et al.* 1995. Continuous Laser probe $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of single mineral [J]. Geochimica, 24(4):

- 334~340(in Chinese).
- Guo Lijun, Ge Changbao, Feng Zhen, *et al.* 2004. The exploration process and prospects of the Bairendaba Ag-Pb polymetallic deposit in eastern Xilinhot, Inner Mongolia[J]. Geophysical and Geochemical exploration, 28(5): 394~397(in Chinese).
- Kelley S P, Bartlett J M, Harris N B W, *et al.* 1997. Pre-metamorphic $^{40}Ar/^{39}Ar$ ages from biotite inclusions in garnet: Innovative applications of $^{40}Ar/^{39}Ar$ microanalytical research[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 61(18): 3873~3878.
- Kistler R W, McKee E H, Futa K, *et al.* 1985. Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb and K-Ar study of some host rocks and ore minerals in the west Shasta Cu-Zn district, California[J]. Economic Geology, 88(8): 2128~2135.
- Liu Chi, Mu Zhiguo, Liu Ruxi, *et al.* 1995. $^{40}Ar/^{39}Ar$ laser microprobe dating on hydrothermal minerals from Duobaoshan porphyry copper mining district, Helongjiang province, China[J]. Chinese Journal of Geology, 30(4): 329~337(in Chinese with English abstract).
- Liu Wei, Pan Xiaofei, Xie Liewen, *et al.* 2007. Sources of material for the Linxi granitoids, the southern segment of the Da Hinggan Mts: when and how continental crust grow?[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(2): 441~460(in Chinese with English abstract).
- Mu Zhiguo. 2003. The laser microprobe $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating method[J]. Earth Science Frontiers China(University of Geosciences, Beijing), 10(2): 301~307(in Chinese with English abstract).
- Perkins C, McDougall I, Clague-Long J, *et al.* 1990. $^{40}Ar/^{39}Ar$ and U-Pb geochronology of the Goombla porphyry Cu-Au deposits, New South Wales, Australia[J]. Economic Geology, 85(8): 1808~1824.
- Qiu Huaning, Sun Dazhong, Zhu Bingquan, *et al.* 1997. Isotope geochemistry study of Dongchuan copper deposits in middle Yunnan province, SW China: II. Dating the ages of mineralizations by Pb-Pb and $^{40}Ar/^{39}Ar$ methods[J]. Geochimica, 26(3): 39~45(in Chinese with English abstract).
- Sang Haiqing, Wang Songshan, Hu Shiling, *et al.* 1992. Age spectrum and condensing temperature of muscovite from Mangshan intrusion, Qian'an city[J]. Acta Petrologica Sinica, 8(4): 332~340(in Chinese with English abstract).
- Shao Ji'an, Zang Shaoxian, Mou Baolei, *et al.* 1994. orogenic extending structure and arsenospheric upwelling: a example of Xing-Meng Orogen [J]. Chinese Science Bulletin, 39(6): 533~537(in Chinese).
- Shao Ji'an, Zhang Lujiao and Mou Baoli. 1998. Tectonic thermal Evolution of Mesocene in the middle-central section of Daxing'anling [J]. Science in China (Series D), 28(3): 390~394(in Chinese with English abstract).
- Shao Ji'an, Zhang Lujiao and Mou Baoli. 1999. Magmatism in the mesozoic extending orogenic process of Dahinggan Mts [J]. Earth science frontiers, 6(4): 933~941(in Chinese with English abstract).
- Sheng Jifu and Fu Xianzheng. 1999. Metallogenic Setting and Geological Characteristics of Copper Polymetallic Deposit in the Middle Section of Daxing'anling [M]. Beijing: Seismic Publishing House, 39~88(in Chinese).
- Wen Chunqi, Duo Ji, Wen Quan, *et al.* 2004. $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating of biotite in and ermite from Mayoumu gold ore area in Tibet, China[J]. J. Mineral Petrol., 24(2): 5~56(in Chinese with English abstract).
- Yan Hongquan, Hu Shaokang, Ye Mao, *et al.* 1998. Ore-forming area and supper-scale deposits along the border of China, Russia and Mongolia[J]. Science in China (Series D), 28(special): 43~48(in Chinese with English abstract).
- Zheng Fanshen, Cai Hongjun and Zhang Zhenfa. 2006. Exploration of the giant Bairendaba-Weilasituo Ag-Pb-Zn deposit and its significance in ore-prospecting[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 30(1): 13~19(in Chinese with English abstract).
- Zheng Fanshen, Cai Hongjun, Zhang Zhenfa, *et al.* 2005. The exploration process and prospects of the Bairendaba-Weilasituo Ag-Pb-Zn deposit[J]. Mineral Resource, 8: 7~10(in Chinese).

附中文参考文献

- 陈文, 罗修泉, 郑宝英, 等. 1994. 激光显微探针 Ar/Ar 定年方法研究[J]. 地球学报, 122: 197~205.
- 戴樟谟, 蒲志平, 许景良, 等. 1995. 连续激光探针质谱 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 测定单颗粒矿物年龄[J]. 地球化学, 24(4): 334~340.
- 郭利军, 葛昌宝, 冯贞, 等. 2004. 内蒙古锡林浩特东部拜仁达坝银铅锌多金属矿勘查过程及远景评述. 物探与化探. 28(5): 394~397.
- 刘驰, 穆治国, 刘如曦, 等. 1995. 多宝山斑岩铜矿区水热蚀变矿物的激光探针 Ar/Ar 定年[J]. 地质科学, 30(4): 329~337.
- 刘伟, 潘小菲, 谢烈文, 等. 2007. 大兴安岭南段林西地区花岗岩类的源岩: 地壳生长的时代与方式[J]. 岩石学报, 23(2): 441~460.
- 穆治国. 2003. 激光显微探针 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 同位素定年[J]. 地学前缘, 10(2): 301~307.
- 邱华宁, 孙大中, 朱炳泉, 等. 1997. 东川铜矿床同位素地球化学研究: II Pb-Pb, $^{40}Ar/^{39}Ar$ 法成矿年龄测定[J]. 地球化学, 26(2): 39~45.
- 桑海清, 王松山, 胡世铃, 等. 1992. 迁安蟒山岩体白云母的年龄谱及封闭温度[J]. 岩石学报, 8(4): 332~340.
- 邵济安, 张履桥, 牟保磊. 1998. 大兴安岭中南段中生代的构造热演化[J]. 中国科学 D 辑, 28(3): 193~200.
- 邵济安, 张履桥, 牟保磊. 1999. 大兴安岭中生代伸展造山过程中的岩浆作用[J]. 地学前缘, 6(4): 933~941.
- 邵济安, 臧绍先, 牟保磊, 等. 1994. 造山带的伸展构造与软流圈隆起——以兴安造山带为例[J]. 科学通报, 39(6): 533~537.
- 盛继福, 傅先政. 1999. 大兴安岭中段成矿环境与铜多金属矿床地质特征[M]. 北京: 地震出版社, 39~88.
- 温春齐, 多吉, 温泉, 等. 2004. 西藏马攸木金矿区白云母的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 法定年[J]. 矿物岩石, 24(2): 53~56.
- 阎鸿铨, 胡绍康, 叶茂, 等. 1998. 中、俄、蒙边境成矿密集区与超大型矿床[J]. 中国科学(D 辑), 28(增刊): 43~48.
- 郑翻身, 蔡红军, 张振法. 2006. 蒙古拜仁达坝-维拉斯托超大型银铅锌矿的发现及找矿意义[J]. 物探与化探, 30(1): 13~19.
- 郑翻身, 蔡红军, 张振法, 等. 2005. 内蒙古拜仁达坝-维拉斯托超大型银铅锌矿勘查过程及远景规模评述[J]. 矿产资源, 8: 7~10.