

文章编号: 0258-7106(2013)05-0869-15

新疆阿舍勒铜锌矿区(潜)火山岩 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义*

杨富全¹, 李凤鸣², 秦纪华³, 郑开平³, 刘 锋¹

(1 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;

2 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局, 新疆 乌鲁木齐 830000; 3 新疆维吾尔自治区

地质矿产勘查开发局第四地质大队, 新疆 阿勒泰 836500)

摘 要 阿舍勒铜锌矿床是中国阿尔泰山南缘典型的 VMS 型矿床, 赋存于阿舍勒盆地阿舍勒组一套海相火山-沉积岩系中。I 号主矿体呈层状位于凝灰岩与玄武岩之间, 矿化呈(致密)块状、条带状、层纹状、稠密浸染状、细脉状。在潜英安岩中也伴有热液蚀变及矿化。前人对该矿床进行了大量的研究, 但对容矿火山岩、潜火山岩及成矿时代还缺乏年代学资料。文章应用 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年法对矿体的直接围岩凝灰岩、玄武岩、潜英安岩和石英闪长岩进行了研究。获得年龄: 凝灰岩为 (387.0 ± 4.2) Ma, 玄武岩为 (388.2 ± 3.3) Ma, 潜英安岩为 (379.4 ± 0.8) Ma, 石英闪长岩为 (378.5 ± 0.9) Ma, 限定阿舍勒组时代为早-中泥盆世。阿舍勒铜锌矿为同生沉积矿床, I 号主矿体产于玄武岩和凝灰岩之间, 限定了 I 号主矿体喷流沉积期形成于早泥盆世末期 $(388 \sim 387)$ Ma; 潜英安岩的 U-Pb 年龄为 (379.4 ± 0.8) Ma, 表明与潜火山岩有关的岩浆热液期矿化形成于中泥盆世。获得玄武岩、凝灰岩、潜英安岩和石英闪长岩中古老锆石 U-Pb 年龄变化于 743~2505 Ma, 暗示了阿尔泰山带存在前寒武纪结晶基底。

关键词 地质学; 火山岩; 锆石 U-Pb 定年; VMS 铜锌矿; 阿舍勒; 新疆

中图分类号: P618.42; P618.43

文献标志码: A

LA-MC-ICP-MS U-Pb dating of zircons from volcanic rocks and subvolcanic intrusions in Ashele Cu-Zn ore district, Xinjiang, and its geological implications

YANG FuQuan¹, LI FengMing², QIN JiHua³, ZHENG KaiPing³ and LIU Feng¹

(1 MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 Bureau of Geology and Mineral Resources Development of Xinjiang, Urumqi 830000, Xinjiang, China; 3 No. 4 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Altay 836500, Xinjiang, China)

Abstract

The Ashele Cu-Zn deposit is representative volcanogenic massive sulfide (VMS) deposit in China's Altay region. The deposit occurs in the marine volcano-sedimentary sequence of the Ashele Formation in the Ashele Basin. No. I main ore body occurs in the stratiform form between tuff and basalt, and mineralization occurs in massive, densely massive, banded, laminated, densely disseminated and veinlet forms. The hydrothermal

* 本文为国土资源部公益性行业科研专项经费项目(200911007-06)、“十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAB06B03-02)和国家自然科学基金项目(编号 41272103)联合资助成果

第一作者简介: 杨富全, 男, 1968年生, 博士, 研究员, 博士生导师, 从事矿床地质、地球化学研究。Email: fuquanyang@163.com

收稿日期: 2012-08-12; 改回日期: 2013-07-02。张绮玲编辑。

alteration and mineralization also occur in the sub-dacite. Lots of research work has been carried out in the Ashele deposit, but the ages of its ore-hosting volcanic rock, subvolcanic rock and mineralization have not yet been clearly determined. In this paper, LA-MC-ICP-MS zircon U-Pb dating was used for studying the tuff and basalt from the direct host rocks of the ore bodies, sub-dacite and quartz diorite in the Asele Cu-Zn district. The U-Pb ages are (387.0 ± 4.2) Ma, (388.2 ± 3.3) Ma, (379.4 ± 0.8) Ma, (378.5 ± 0.9) Ma for tuff, basalt, sub-dacite and quartz diorite, respectively, suggesting that the Ashele Formation is Early-Middle Devonian in age. The Ashele Cu-Zn deposit is an syngenetic deposit, and No. 1 main ore body occurs between tuff and basalt. The ages of the tuff and basalt suggest that the mineralization in the sedimentary exhalative period occurred in the late Early Devonian (388~387 Ma). The U-Pb age of the sub-dacite is (379.4 ± 0.8) Ma, implying that the magmatic hydrothermal mineralization took place in the Middle Devonian. The U-Pb ages of the older zircons from tuff, basalt, sub-dacite and quartz diorite range from 743 to 2505 Ma, which represent the forming age of the Precambrian crystalline basement in Altay region.

Key words: geology, volcanic rock, zircon U-Pb dating, VMS-type copper-zinc deposit, Ashele, Xinjiang

哈萨克斯坦矿区阿尔泰是世界上著名的火山成因块状硫化物(VMS)铜多金属成矿带之一,在其中已发现十几个大型和超大型矿床,如尼古拉耶夫(Nikoraevskaya)大型铜锌矿、马列耶夫(Maleyevskoye)大型铜锌矿、列宁诺戈尔斯克(Leninogorskoye)超大型铅锌铜多金属矿、孜良诺夫斯克(Zyryanovskoye)超大型铅锌多金属矿等(涂光炽,1999;戴自希等,2001;Yakubchuk et al.,2003;Daukeev et al.,2004)。新疆阿尔泰山南缘是哈萨克斯坦阿尔泰的东延部分,具有相似的成矿背景,已发现多个VMS型矿床,如阿舍勒大型铜锌矿床(叶庆同等,1997)、可可塔勒大型铅锌矿床(王京彬等,1998)、铁木尔特中型铅锌铜矿床(耿新霞等,2010)、大东沟中型铅锌矿床等(刘敏等,2008)。新疆哈巴河县阿舍勒大型铜锌矿床位于阿舍勒盆地,前人对含矿火山岩形成的构造环境、岩相学、地球化学、矿床特征、矿物学、成矿流体、成矿物质来源、年代学、成矿机制和成矿预测进行了详细的研究工作,取得了重要成果(陈毓川等,1996;王登红,1996;朱裕生等,2002;王登红等,2002;牛贺才等,1999;高珍权等,2010;Wan et al.,2010)。近年来,阿舍勒矿床I号矿体深部找矿工作又取得重要进展,在5线、9线和13线井下施工的钻孔发现了矿体,表明I号矿体在深部并没有封闭,继续向下延伸(紫金集团西北矿产地质勘查院,2009),地表施工深孔发现阿舍勒矿床I号矿体继续向北倾伏,由原来控制的13线,延伸到2011年控制的21线(郑开平等,2012),在II号矿化带发现了脉状铜铅锌多金属矿化。尽管前人做了大量的研究工作,但随着勘查程度的提高,仍

有一些问题值得研究,如阿舍勒组缺乏年代学资料,有早一中泥盆世和中泥盆世之说(陈毓川等,1996;王登红,1996;李华芹等,1998;张良臣等,2003;刘德权等,2005;牛贺才等,2006)。虽然李华芹等(1998;2004)利用Rb-Sr法和Sm-Nd法对潜火山岩、含铁碧玉岩、玄武岩、石英中流体包裹体和硫化物进行了年代学研究,但受测试方法的限制,这些年龄变化范围太大(378~245 Ma)未能很好地限定含矿火山岩系及成矿时代。本文在前人研究、野外调查及对大量岩芯和坑道观察的基础上,通过锆石LA-MC-ICP-MS U-Pb定年对阿舍勒铜锌矿区的玄武岩、凝灰岩、潜英安岩和石英闪长岩的成矿时代进行了系统的研究,构建了阿舍勒矿区的岩浆喷发、侵入活动的基本时间格架,同时也限定了成矿时代,这对于探讨火山活动与成矿的关系及构建矿床模型具有重要意义。

1 地质概况

阿舍勒大型铜锌矿床位于新疆哈巴河县北西30 km处。区域出露地层主要有上志留统一下泥盆统康布铁堡组一套海相酸性火山岩、火山碎屑岩和陆源碎屑岩;下-中泥盆统托克萨雷组为海相陆源碎屑岩夹硅质岩、碳酸盐岩;下-中泥盆统阿舍勒组为海相中酸性、基性火山岩、火山碎屑岩、火山碎屑沉积岩夹碳酸盐岩,是阿舍勒盆地主要的含矿层位;中-上泥盆统阿勒泰组为海相类复理石碎屑沉积岩;上泥盆统齐也组为浅海-半深海相中-中基性火山岩、火山碎屑岩、火山碎屑沉积岩;下石炭统红山嘴组为滨

海-浅海相火山岩-碎屑沉积岩夹碳酸盐岩。

矿区主要出露阿舍勒组和齐也组(图 1)。阿舍勒组分为 2 个岩性段：第一岩性段以凝灰岩为主，夹沉(含角砾)凝灰岩、凝灰质砂岩、流纹岩、灰岩。第二岩性段下部凝灰岩、沉凝灰岩、含角砾凝灰岩，顶

部夹玄武岩、灰岩、重晶石岩；中部凝灰岩、角砾凝灰岩、沉凝灰岩，顶部夹硅质岩、重晶石岩、灰岩；上部玄武岩、流纹岩，夹凝灰岩、角砾凝灰岩。矿化主要产于阿舍勒组第二岩性段。齐也组也分为 2 个岩性段，第一岩性段为集块岩、火山角砾岩、角砾凝灰

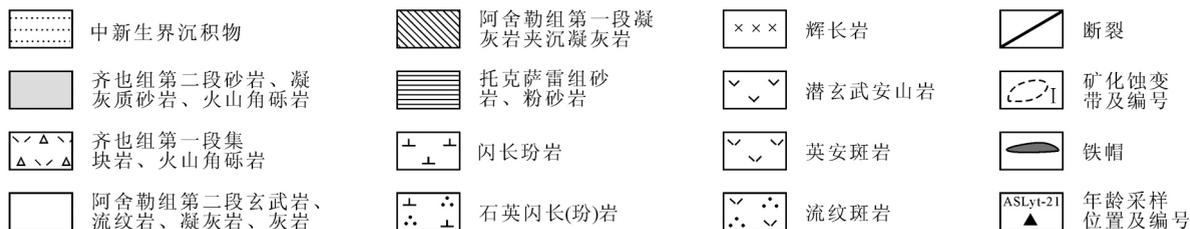
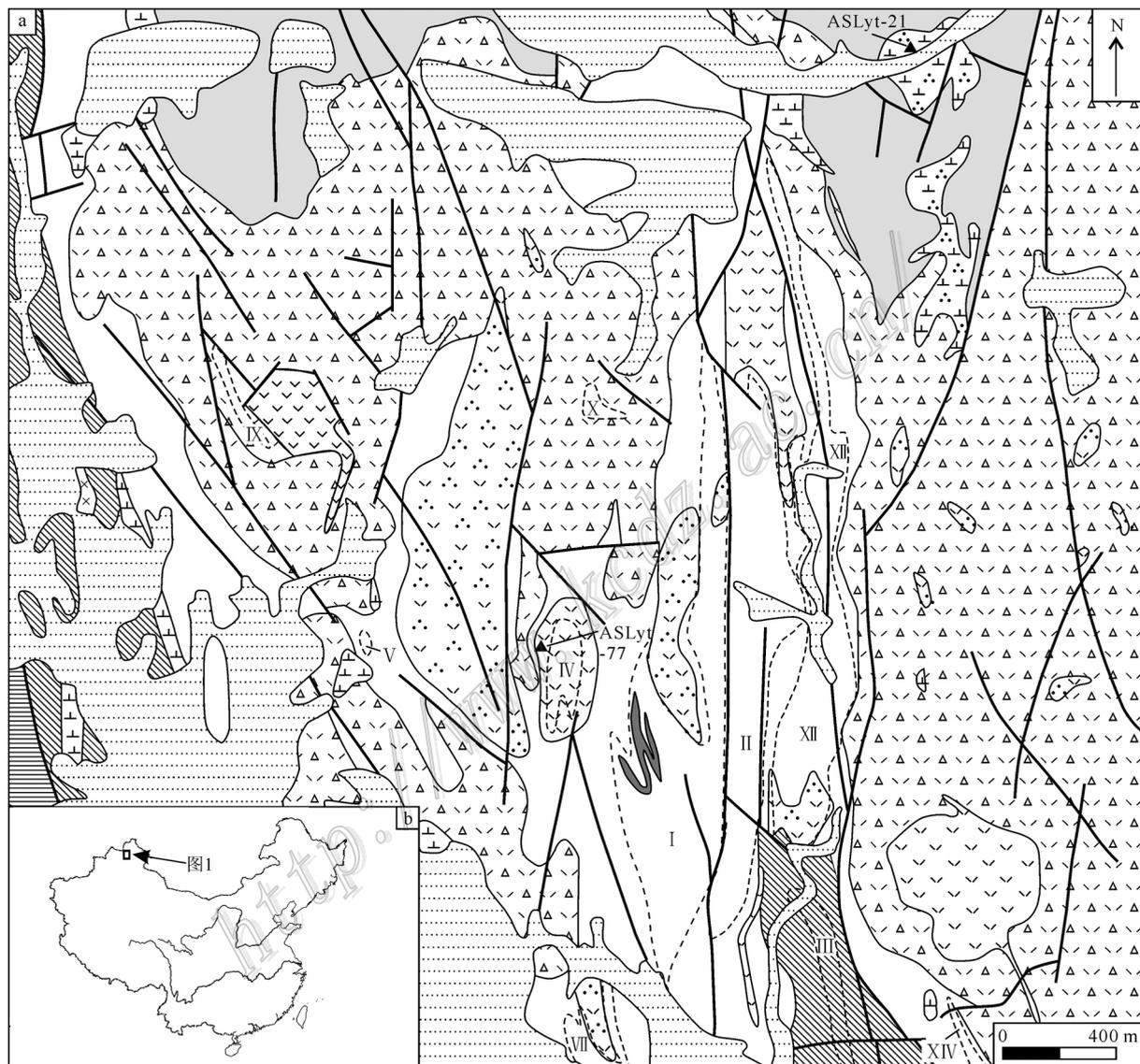


图 1 阿舍勒铜锌矿区地质略图(据新疆地质矿产勘查开发局第四地质大队, 1998 年资料修改)(a)及位置图(b)

Fig. 1 Geological sketch map (a) and showing the location (b) of the Ashele Cu-Zn deposit (modified after No. 4 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, 1998)

岩、集块熔岩、凝灰质砂岩、凝灰质粉砂岩，少量流纹岩、角砾凝灰岩、含铁碧玉岩。第二岩性段为砂岩、粉砂岩、凝灰质(砂)粉砂岩、(含角砾)凝灰岩、沉火山角砾岩、流纹岩。

矿区潜火山岩发育，主要有(石英)闪长岩、(石英)闪长玢岩、潜玄武安山岩、潜英安岩、潜流纹斑岩，少量辉长岩脉。

在阿舍勒矿田 5 km×5.2 km 范围内已发现各类矿化蚀变带 13 条，阿舍勒铜锌矿床产于 I 号矿化蚀变带中，由 4 个矿体组成，主矿体(I 号)为隐伏矿体。呈似层状或大透镜体状产于玄武岩和凝灰岩之

间，与地层整合产出(图 2)。矿体呈南北向展布，沿走向已控制长 900 m，枢纽倾伏长 1520 m，距地表埋深 25~1500 m，厚 5~120 m。矿体向北北东向侧伏，侧伏角 45~65°。矿区发育喷气岩，如重晶石岩、含铁碧玉岩、硅质岩。原生矿石按矿物组合分为 5 个类型：黄铁矿矿石、黄铜矿黄铁矿矿石、铜锌黄铁矿矿石、多金属矿石、重晶石多金属矿石。矿石构造主要有(致密)块状、条带状、层纹状、斑杂状、斑点状、浸染状、脉状、细脉状等构造。矿石结构有自形-半自形晶粒结构、他形晶粒结构、填隙结构、反应边结构、固溶体分离结构、假象结构、压裂纹及碎裂结

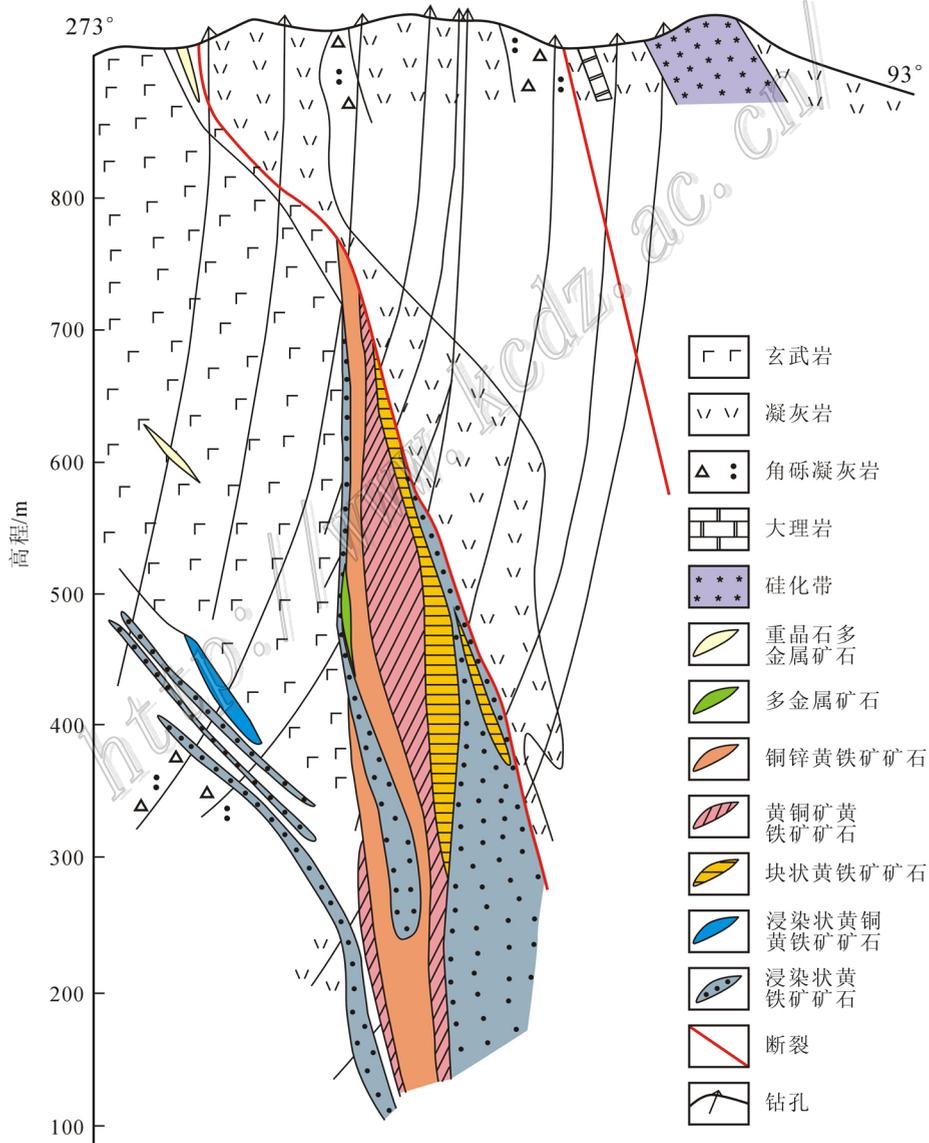


图 2 阿舍勒铜锌矿床 5 号勘探线剖面图(据新疆地质矿产勘查开发局第四地质大队, 1998 资料修改)

Fig. 2 Cross-section along No. 5 exploration line of the Ashele Cu-Zn deposit (modified after No. 4 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, 1998)

构、变晶结构、压溶交代结构等。矿石中金属矿物主要为黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿,次为方铅矿、锌砷黝铜矿、含银锌铋黝铜矿等。主要非金属矿物为石英、绢(白)云母、绿泥石、重晶石、方解石、白云石、长石等(陈毓川等,1996)。矿石成分以铜锌为主,含少量银、金、铅,矿石平均品位(质量分数)为:Cu 2.46%, Zn 2.93%, Pb 0.41%, Ag 18.37×10^{-6} , Au 0.36×10^{-6} , S 22.66%。

2 样品与测试方法

2.1 样品特征

4 件测年样品采自 I 号矿体顶板蚀变凝灰岩、底板玄武岩、IV 号蚀变带潜英安岩和矿区北部的石英闪长岩。

样品 750-5-2 采自 I 号矿体底板 750 中段,为玄武岩,岩石呈块状构造,变余斑状结构,基质变余似间粒结构,岩石由斑晶(15%~25%)和基质(75%~85%)两部分组成(图 3A)。斑晶由斜长石(10%~15%)和辉石假像(5%~15%)组成,杂乱分布,粒度 0.5~4 mm。斜长石呈半自形板状、板条状,高岭土化、硅化、绿泥石化明显,有的已全部被硅质交代呈假像产出。辉石呈半自形-他形柱粒状,沿边部及解理缝被次闪石、阳起石、绿帘石交代,核部被绿泥石交代,呈假像产出。基质由斜长石(35%~55%)和辉石假像(25%~40%)组成,粒度 0.05~0.4 mm。斜长石呈半自形板条状,部分他形粒状,杂乱分布,局部呈格架状,蚀变同斑晶。辉石多数蚀变为微鳞片状绿泥石,少量呈微晶状、微粒状,呈辉石假象,杂乱分布,局部填隙状分布于斜长石格架中。

样品 ASL-yt-38 采自 I 号矿体顶板 750 中段 5 穿,为变质凝灰岩,岩石呈似板状构造,变余似交织状结构(图 3B)。岩石由钠长石(60%)、绿泥石(25%)、黝帘石(1%~5%)和钙质物(10%~15%)组成。钠长石呈微粒状,重结晶明显,粒间镶嵌状分布,粒度 < 0.2 mm,似条痕状、线痕状定向分布,局部残留钠长石半自形板状晶形,似交织状定向分布。绿泥石呈鳞片状,片径 < 0.2 mm,定向分布。黝帘石呈微粒状,粒度 < 0.05 mm,星散状分布。钙质物呈他形粒状,粒度 0.05~1 mm,集合体似条纹状、似豆荚状定向分布。

样品 ASL-yt-77 采自 IV 号蚀变带潜英安岩,为潜火山岩相,坐标为 N48°17'34", E86°20'16"。岩石

呈块状构造,斑状结构(图 3C)。岩石由斑晶(15%)和基质(85%)组成。斑晶为斜长石(10%)和石英(5%)、粒度 0.25~1 mm。斜长石呈半自形板状,发生高岭土化、绢云母化,石英呈浑圆状,局部被熔蚀呈港湾状,波状消光。基质由长英质组成,呈微晶状,粒度 < 0.2 mm,重结晶明显,局部被硅质交代。

样品 ASL-yt-21 采自矿区北部石英闪长岩,为潜火山岩相,坐标为 N48°17'12", E86°21'25"。岩石呈块状构造和似斑状结构,由斑晶和基质组成(图 3D)。斑晶主要为斜长石(55%~70%),呈自形-半自形板状,粒度 1~5 mm,绢云母化、绿泥石化、帘石化明显。少数浑圆状石英斑晶,局部被熔蚀呈港湾状。基质(30%~70%)主要为斜长石(10%~30%)、石英(10%~15%)、角闪石(1%~10%),为细粒半自形粒状结构,粒度一般 0.1~0.5 mm,少数 0.5~1 mm。斜长石呈半自形板状,绢云母化、绿泥石化、帘石化明显,部分与石英呈文象状交生。石英呈他形粒状、填隙状分布,部分颗粒内包嵌板条状斜长石,斑块状消光。角闪石呈半自形柱状,次闪石化,部分被绿泥石、帘石交代,呈角闪石假象。

2.2 测试方法

锆石样品靶的制作和锆石阴极发光照相在北京锆年领航科技有限公司完成。锆石 U-Pb 定年在中国地质科学院矿产资源研究所同位素实验室完成,所用仪器为 Finnigan Neptune 型 MC-ICP-MS 及与之配套的 Newwave UP 213 激光剥蚀系统。锆石定年激光剥蚀所用斑束直径为 25 μm ,频率为 10 Hz,能量密度约为 2.5 J/cm³,以 He 为载气。信号较小的 ²⁰⁷Pb、²⁰⁶Pb、²⁰⁴Pb($+^{204}\text{Hg}$)和 ²⁰²Hg 用离子计数器接收,²⁰⁸Pb、²³²Th、²³⁸U 信号用法拉第杯接收,实现了所有目标同位素信号的同时接收,且不同质量数的峰基本上都是平坦的,进而可以获得高精度的数据,均匀锆石颗粒 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb、²⁰⁶Pb/²³⁸U、²⁰⁷Pb/²³⁵U 的测试精度(2 σ)均为 2% 左右,对锆石标准的定年精度和准确度在 1%(2 σ)左右。LA-MC-ICP-MS 激光剥蚀采样采用单点剥蚀的方式,锆石 U-Pb 定年以锆石 GJ-1 为外标,U、Th 含量以锆石 M127 [($w(\text{U})$) 923×10^{-6} 、 $w(\text{Th})$ 439×10^{-6} 、Th/U 0.475, Nasdala et al., 2008] 为外标进行校正。在测试过程中每测定 10 个样品点后,前后重复测定 3 个锆石标样(2 个 GJ-1 和 1 个 Plesovice)进行校正。数据处理采用 ICPMADDataCa 4.3 程序,测试过程中绝大多数分析点的 ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 比值 > 1000,未进行普通铅校正,

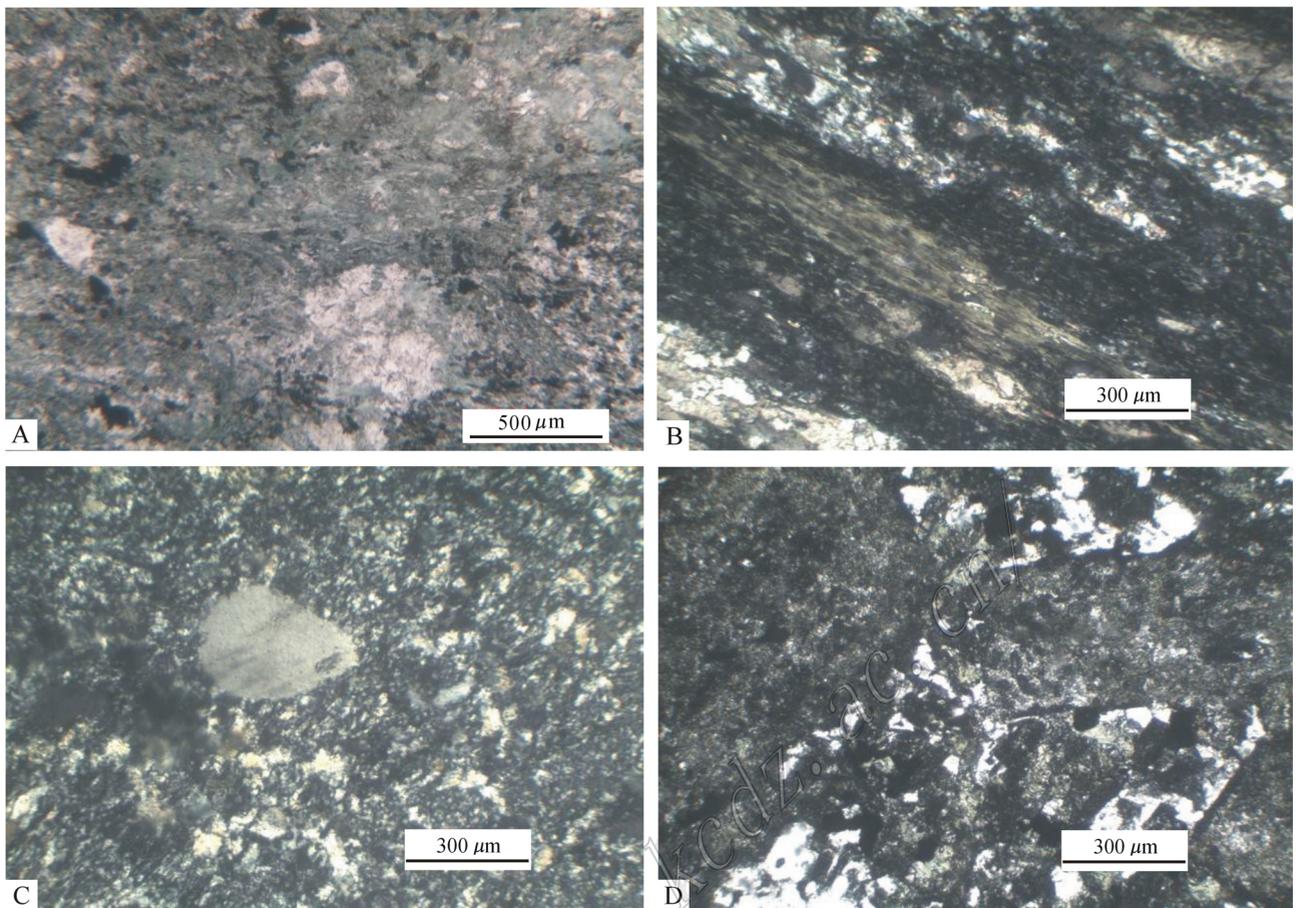


图3 阿舍勒铜锌矿区火山岩和潜火山岩年龄样品显微镜下特征

A. 玄武岩; B. 变质凝灰岩; C. 潜英安岩; D. 蚀变石英闪长岩

Fig. 3 Features of the age samples from the volcanic rocks and subvolcanic intrusions in the Ashele Cu-Zn ore district under optical microscopy

A. Basalt; B. Meta-tuff; C. Subdacite; D. Altered quartz diorite

^{204}Pb 由离子计数器检测, ^{204}Pb 含量异常高的分析点可能受包体等普通铅的影响, 对 ^{204}Pb 含量异常高的分析点在计算时剔除, 锆石年龄谐和图用 Isoplot 3.0 程序获得, 表达式中所列单个数据点的误差均为 1σ , 谐和年龄具 95% 的置信度。详细的实验测试过程可参见侯可军等(2009)。

3 测试结果

凝灰岩、玄武岩、潜英安岩和石英闪长岩中的锆石多数为不规则状, 少数锆石颗粒具有半自形晶的长柱状和短柱状, 长变化于 $30\sim 150\ \mu\text{m}$, 宽介于 $20\sim 100\ \mu\text{m}$ 。在阴极发光图像中, 振荡环带结构相对不发育, 750-5-2 和 ASL-yt-21 号样品的锆石发育有较好的岩浆锆石振荡环带结构(图 4)。4 件样品锆石的 U 和 Th 含量变化较大(表 1), $\omega(\text{U})$ 为 $33\times$

$10^{-6}\sim 1621\times 10^{-6}$, $\omega(\text{Th})$ 介于 $33\times 10^{-6}\sim 501\times 10^{-6}$, Th/U 比值介于 $0.1\sim 2.61$, 大于 0.1, 表明了锆石为岩浆成因(Belousova et al., 2002)。对于锆石 U-Pb 定年需要十分慎重, 需要研究锆石的结构和成因(Zhu, 2011)。

凝灰岩(ASL-yt-38)20 颗锆石测点的年龄分成 4 组, 第一组 6 颗锆石(点 3、4、5、7、9、18)的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄介于 $2254\sim 2381\ \text{Ma}$, 可能代表火山喷发时捕获的古元古代锆石。第二组 3 颗锆石(点 8、14、20)的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 $464\sim 486\ \text{Ma}$, 可能是岩浆上升时捕获的早-中奥陶世锆石。第三组 10 颗锆石(点 1、2、6、10、12、13、15、16、17、20)在误差范围内有较一致的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比值, 在谐和图上基本上成群集中分布在谐和线上及附近(图 5), 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 $(384.6\pm 3.5)\ \text{Ma}$ (MSWD=0.55), 与谐和年龄 ((387

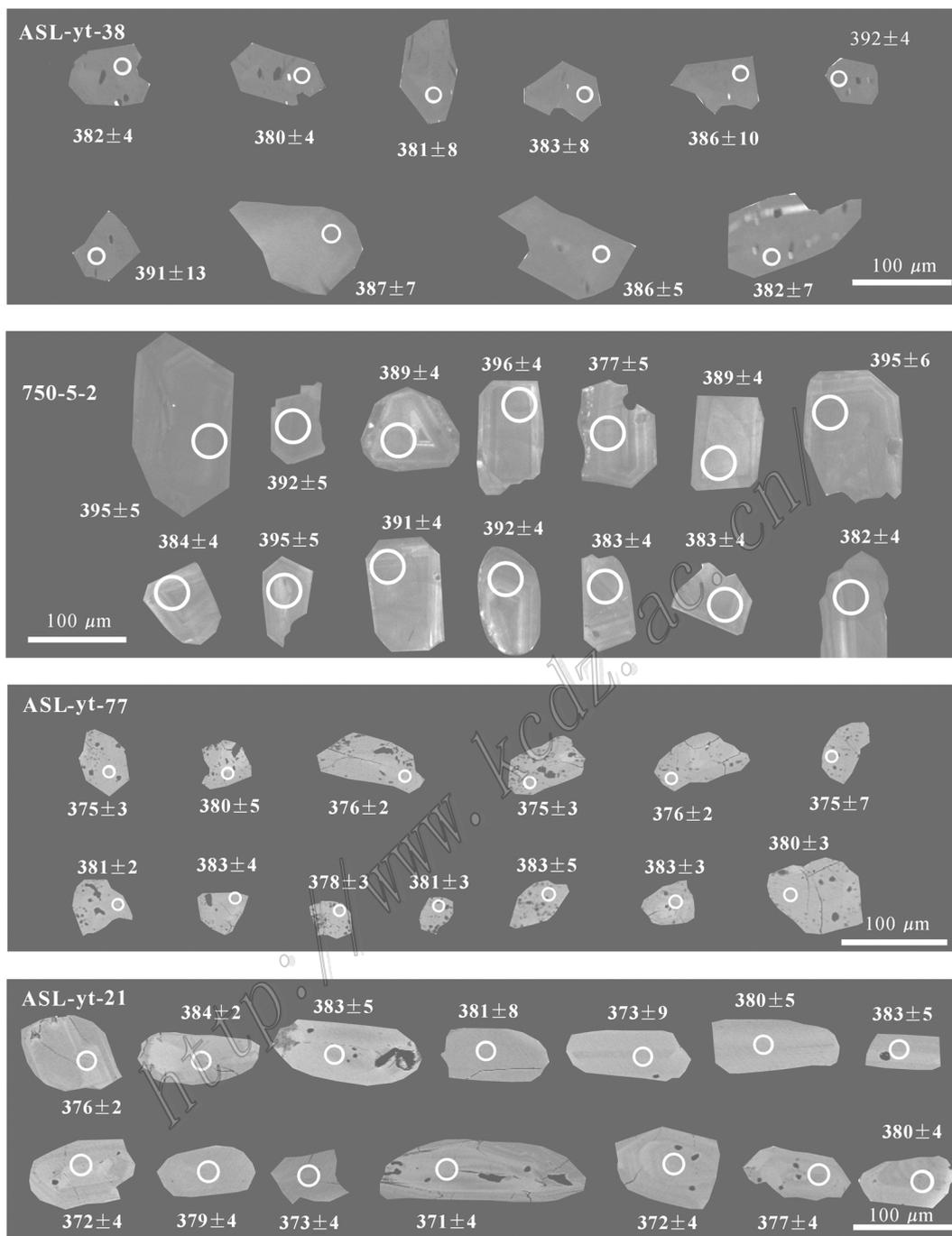


图4 阿舍勒铜锌矿区火山岩和潜火山岩中代表性锆石的阴极发光图

Fig. 4 Cathodoluminescence images of representative zircons from the volcanic rocks and subvolcanic intrusions in the Ashele Cu-Zn ore district

±4.2) Ma (MSWD=6.3) 在误差范围内一致, 该年龄可代表凝灰岩的形成年龄。第四组 1 颗锆石(点 11)的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为(270±3) Ma, 年龄偏年轻, 可能与凝灰岩形成后遭受后期热液改造时导致 Pb

同位素丢失有关。

玄武岩(750-5-2) 19 颗锆石测点的年龄分成 4 组, 第一组 1 颗锆石(点 2)的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 1380 Ma, 可能代表火山喷发时捕获的中元古代锆石。第二

表 1 阿舍勒铜锌矿区火山岩和潜火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测定结果
Table 1 LA-ICP-MS U-Pb data of zircons from the volcanic rocks and subvolcanic intrusions in the Ashele ore district

| 样品号及点号 | $w(B)/10^{-6}$ | | | | Th/U | 同位素比值 | | | | 表面年龄/Ma | | | | | | |
|---------------|----------------|-----|-----|------|---------|-----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|-----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|----|
| | Pb | Th | U | U | | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | 1σ | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ | 1σ | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | 1σ | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | 1σ | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | 1σ | |
| ASL-yr-38 凝灰岩 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ASL-yr-38-1 | 11 | 71 | 221 | 0.32 | 0.05461 | 0.00029 | 0.45946 | 0.00584 | 0.06109 | 0.00072 | 395 | 13 | 384 | 4 | 382 | 4 |
| ASL-yr-38-2 | 11 | 85 | 211 | 0.40 | 0.05468 | 0.00029 | 0.45809 | 0.00567 | 0.06078 | 0.00066 | 398 | 11 | 383 | 4 | 380 | 4 |
| ASL-yr-38-3 | 89 | 121 | 136 | 0.89 | 0.14884 | 0.00032 | 8.58466 | 0.09565 | 0.41856 | 0.0045 | 2332 | 4 | 2295 | 10 | 2254 | 20 |
| ASL-yr-38-4 | 120 | 37 | 372 | 0.10 | 0.15315 | 0.00053 | 7.76587 | 0.0913 | 0.36784 | 0.00392 | 2381 | 6 | 2204 | 11 | 2019 | 19 |
| ASL-yr-38-5 | 130 | 206 | 157 | 1.31 | 0.15085 | 0.00045 | 8.71664 | 0.10388 | 0.41932 | 0.00474 | 2367 | 5 | 2309 | 11 | 2257 | 22 |
| ASL-yr-38-6 | 18 | 123 | 258 | 0.48 | 0.05503 | 0.00064 | 0.4597 | 0.00963 | 0.0608 | 0.00131 | 413 | 26 | 384 | 7 | 381 | 8 |
| ASL-yr-38-7 | 48 | 74 | 33 | 2.24 | 0.14207 | 0.00057 | 7.88896 | 0.13507 | 0.40329 | 0.00699 | 2254 | 3 | 2218 | 15 | 2184 | 32 |
| ASL-yr-38-8 | 14 | 107 | 166 | 0.64 | 0.05729 | 0.00049 | 0.62007 | 0.01196 | 0.07833 | 0.00113 | 502 | 19 | 490 | 8 | 486 | 7 |
| ASL-yr-38-9 | 52 | 33 | 124 | 0.27 | 0.14743 | 0.00037 | 8.68102 | 0.08621 | 0.42736 | 0.00415 | 2316 | 1 | 2305 | 9 | 2294 | 19 |
| ASL-yr-38-10 | 10 | 69 | 220 | 0.31 | 0.05476 | 0.00059 | 0.461 | 0.00962 | 0.06117 | 0.00123 | 467 | 19 | 385 | 7 | 383 | 8 |
| ASL-yr-38-11 | 11 | 188 | 72 | 2.61 | 0.0519 | 0.00047 | 0.30636 | 0.00446 | 0.04281 | 0.00048 | 280 | 20 | 271 | 4 | 270 | 3 |
| ASL-yr-38-12 | 9 | 49 | 169 | 0.29 | 0.05427 | 0.00102 | 0.46228 | 0.01663 | 0.06169 | 0.00166 | 383 | 47 | 386 | 12 | 386 | 10 |
| ASL-yr-38-13 | 8 | 45 | 161 | 0.28 | 0.05544 | 0.00067 | 0.47738 | 0.01686 | 0.06247 | 0.0022 | 432 | 5 | 396 | 12 | 391 | 13 |
| ASL-yr-38-14 | 25 | 187 | 331 | 0.56 | 0.05639 | 0.00022 | 0.57984 | 0.00684 | 0.07465 | 0.00089 | 478 | 9 | 464 | 4 | 464 | 5 |
| ASL-yr-38-15 | 11 | 74 | 207 | 0.36 | 0.05469 | 0.00031 | 0.47236 | 0.00588 | 0.06261 | 0.00069 | 398 | 13 | 393 | 4 | 392 | 4 |
| ASL-yr-38-16 | 41 | 344 | 652 | 0.53 | 0.05751 | 0.00032 | 0.49077 | 0.00945 | 0.0619 | 0.00117 | 509 | 13 | 405 | 6 | 387 | 7 |
| ASL-yr-38-17 | 17 | 131 | 288 | 0.45 | 0.05438 | 0.00034 | 0.46266 | 0.00679 | 0.06163 | 0.00075 | 387 | 47 | 386 | 5 | 386 | 5 |
| ASL-yr-38-18 | 119 | 191 | 147 | 1.30 | 0.14782 | 0.00102 | 8.07822 | 0.17244 | 0.39625 | 0.00744 | 2321 | 12 | 2240 | 19 | 2152 | 34 |
| ASL-yr-38-19 | 8 | 52 | 153 | 0.34 | 0.05753 | 0.00058 | 0.48314 | 0.00905 | 0.06108 | 0.00122 | 522 | 50 | 400 | 6 | 382 | 7 |
| ASL-yr-38-20 | 43 | 372 | 391 | 0.95 | 0.05805 | 0.00039 | 0.62721 | 0.01581 | 0.07837 | 0.00192 | 532 | 15 | 494 | 10 | 486 | 12 |
| 750-5-2 玄武岩 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 750-5-2-1 | 22 | 117 | 355 | 0.33 | 0.0535 | 0.0009 | 0.4667 | 0.0085 | 0.0633 | 0.0008 | 350 | 39 | 389 | 7 | 395 | 5 |
| 750-5-2-2 | 42 | 65 | 167 | 0.39 | 0.0879 | 0.0008 | 2.9084 | 0.0265 | 0.24 | 0.0022 | 1380 | 17 | 1384 | 13 | 1387 | 13 |
| 750-5-2-3 | 40 | 226 | 637 | 0.36 | 0.0525 | 0.0005 | 0.4537 | 0.0044 | 0.0627 | 0.0008 | 308 | 21 | 380 | 4 | 392 | 5 |
| 750-5-2-4 | 5 | 75 | 75 | 1.00 | 0.0538 | 0.0015 | 0.4233 | 0.0081 | 0.057 | 0.0007 | 365 | 65 | 358 | 7 | 357 | 4 |
| 750-5-2-5 | 40 | 135 | 488 | 0.28 | 0.0559 | 0.0005 | 0.6452 | 0.0058 | 0.0837 | 0.0007 | 449 | 20 | 506 | 5 | 518 | 4 |

续表 1-1
Contn. Table 1-1

| 样品号及点号 | $w(B)/10^{-6}$ | | | | 同位素比值 | | | | 表面年龄/Mya | | | | | | | |
|----------------|----------------|-----|------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------|---|
| | Pb | | Th U | | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ | | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ | | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | | | |
| | Th | U | Tu/U | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | 1 σ | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ | 1 σ | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | 1 σ | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | 1 σ | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ | 1 σ | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | 1 σ | |
| 750-5-2-6 | 20 | 104 | 315 | 0.33 | 0.0542 | 0.0009 | 0.4646 | 0.0076 | 0.0622 | 0.0006 | 380 | 36 | 387 | 6 | 389 | 4 |
| 750-5-2-7 | 21 | 123 | 327 | 0.38 | 0.0563 | 0.0009 | 0.4918 | 0.0078 | 0.0634 | 0.0007 | 463 | 35 | 406 | 6 | 396 | 4 |
| 750-5-2-8 | 18 | 121 | 287 | 0.42 | 0.0575 | 0.0016 | 0.4771 | 0.0133 | 0.0602 | 0.0008 | 511 | 60 | 396 | 11 | 377 | 5 |
| 750-5-2-9 | 17 | 91 | 268 | 0.34 | 0.0524 | 0.0009 | 0.4499 | 0.0079 | 0.0623 | 0.0007 | 303 | 39 | 377 | 7 | 389 | 4 |
| 750-5-2-10 | 30 | 163 | 469 | 0.35 | 0.0548 | 0.0006 | 0.4773 | 0.0051 | 0.0631 | 0.0009 | 405 | 23 | 396 | 4 | 395 | 6 |
| 750-5-2-11 | 25 | 40 | 307 | 0.13 | 0.0574 | 0.0006 | 0.6743 | 0.0075 | 0.0853 | 0.0009 | 505 | 24 | 523 | 6 | 527 | 6 |
| 750-5-2-12 | 27 | 132 | 436 | 0.30 | 0.0544 | 0.0007 | 0.4609 | 0.0056 | 0.0615 | 0.0006 | 387 | 27 | 385 | 5 | 384 | 4 |
| 750-5-2-13 | 27 | 170 | 416 | 0.41 | 0.0556 | 0.0008 | 0.4846 | 0.0068 | 0.0633 | 0.0009 | 435 | 31 | 401 | 6 | 395 | 5 |
| 750-5-2-14 | 24 | 137 | 387 | 0.35 | 0.0556 | 0.0007 | 0.4804 | 0.0064 | 0.0626 | 0.0007 | 438 | 29 | 398 | 5 | 391 | 4 |
| 750-5-2-15 | 34 | 375 | 471 | 0.80 | 0.0555 | 0.0006 | 0.4803 | 0.0058 | 0.0628 | 0.0006 | 433 | 26 | 398 | 5 | 392 | 4 |
| 750-5-2-16 | 25 | 169 | 390 | 0.43 | 0.0535 | 0.0007 | 0.4513 | 0.0063 | 0.0612 | 0.0007 | 349 | 31 | 378 | 5 | 383 | 4 |
| 750-5-2-17 | 27 | 143 | 435 | 0.33 | 0.0524 | 0.0006 | 0.442 | 0.0054 | 0.0611 | 0.0006 | 305 | 27 | 372 | 5 | 383 | 4 |
| 750-5-2-18 | 19 | 113 | 303 | 0.37 | 0.0508 | 0.0009 | 0.428 | 0.0076 | 0.0611 | 0.0006 | 233 | 40 | 362 | 6 | 382 | 4 |
| 750-5-2-19 | 7 | 44 | 81 | 0.54 | 0.0577 | 0.0033 | 0.6618 | 0.0218 | 0.0832 | 0.0008 | 517 | 125 | 516 | 17 | 515 | 5 |
| ASL-yt-77 潜英安岩 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ASL-yt-77-1 | 11 | 84 | 268 | 0.31 | 0.05435 | 0.00036 | 0.4499 | 0.00437 | 0.05993 | 0.00046 | 387 | 47 | 377 | 3 | 375 | 3 |
| ASL-yt-77-2 | 21 | 157 | 377 | 0.42 | 0.05455 | 0.00222 | 0.45588 | 0.01274 | 0.06065 | 0.00087 | 395 | 93 | 381 | 9 | 380 | 5 |
| ASL-yt-77-3 | 21 | 153 | 421 | 0.36 | 0.05476 | 0.00021 | 0.45347 | 0.00304 | 0.06007 | 0.00034 | 467 | 7 | 380 | 2 | 376 | 2 |
| ASL-yt-77-4 | 12 | 79 | 229 | 0.34 | 0.05437 | 0.0003 | 0.44895 | 0.00401 | 0.0599 | 0.00044 | 387 | 13 | 377 | 3 | 375 | 3 |
| ASL-yt-77-5 | 16 | 70 | 321 | 0.22 | 0.05423 | 0.00032 | 0.44914 | 0.00398 | 0.06006 | 0.00039 | 389 | 13 | 377 | 3 | 376 | 2 |
| ASL-yt-77-6 | 11 | 127 | 212 | 0.60 | 0.0545 | 0.00088 | 0.4495 | 0.01037 | 0.05985 | 0.00114 | 391 | 37 | 377 | 7 | 375 | 7 |
| ASL-yt-77-7 | 19 | 158 | 359 | 0.44 | 0.05434 | 0.00022 | 0.4554 | 0.00341 | 0.06982 | 0.0004 | 383 | 9 | 38 | 2 | 381 | 2 |
| ASL-yt-77-8 | 14 | 110 | 306 | 0.36 | 0.05458 | 0.00045 | 0.46065 | 0.00746 | 0.06122 | 0.00068 | 395 | 19 | 385 | 5 | 383 | 4 |
| ASL-yt-77-9 | 21 | 162 | 419 | 0.39 | 0.05476 | 0.0003 | 0.45577 | 0.00452 | 0.06039 | 0.00051 | 467 | 11 | 381 | 3 | 378 | 3 |
| ASL-yt-77-10 | 10 | 65 | 220 | 0.30 | 0.0549 | 0.00027 | 0.46123 | 0.00409 | 0.06094 | 0.00044 | 409 | 11 | 385 | 3 | 381 | 3 |
| ASL-yt-77-11 | 15 | 119 | 296 | 0.40 | 0.05482 | 0.00051 | 0.46237 | 0.00713 | 0.06125 | 0.00089 | 406 | 25 | 386 | 5 | 383 | 5 |
| ASL-yt-77-12 | 25 | 99 | 207 | 0.48 | 0.06573 | 0.00022 | 1.17366 | 0.00982 | 0.12959 | 0.00102 | 798 | 7 | 788 | 5 | 786 | 6 |
| ASL-yt-77-13 | 23 | 259 | 1621 | 0.16 | 0.04926 | 0.00015 | 0.17141 | 0.0014 | 0.02524 | 0.00019 | 161 | 7 | 161 | 1 | 161 | 1 |
| ASL-yt-77-14 | 23 | 203 | 427 | 0.48 | 0.05448 | 0.00021 | 0.4596 | 0.0043 | 0.06123 | 0.00055 | 391 | 7 | 384 | 3 | 383 | 3 |
| ASL-yt-77-15 | 11 | 68 | 242 | 0.28 | 0.05481 | 0.00028 | 0.45947 | 0.00469 | 0.06083 | 0.00055 | 406 | 11 | 384 | 3 | 380 | 3 |

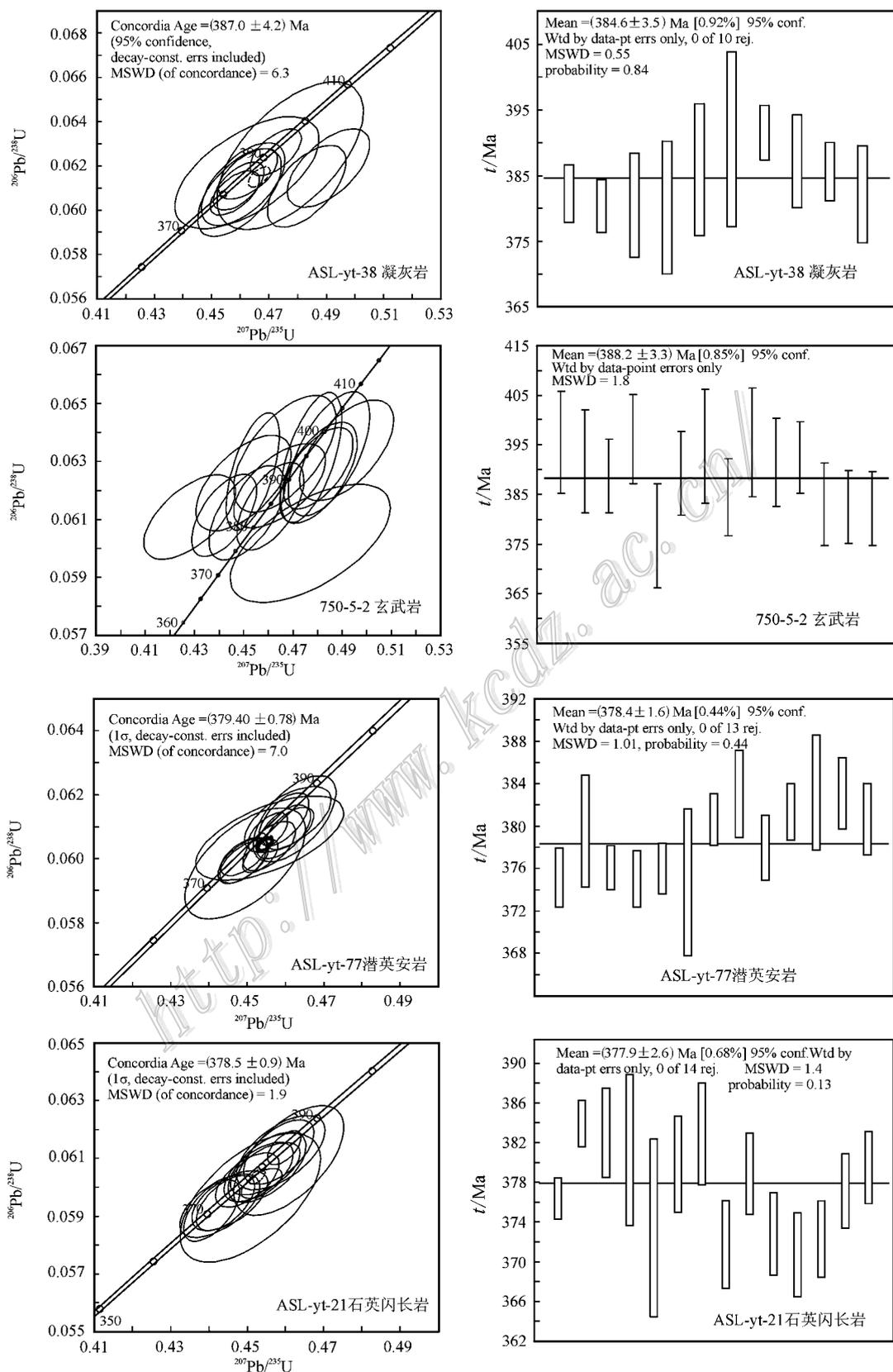


图 5 阿舍勒铜锌矿区火山岩和潜火山岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 谐和图(左)及加权平均年龄图(右)

Fig. 5 Zircon LA-ICP-MS U-Pb age of the volcanic rocks and subvolcanic intrusions in the Ashele Cu-Zn ore district

组3颗锆石(点5、11、19)的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于515~527 Ma,代表火山喷发时俘获的早-中寒武世锆石。第三组14颗锆石在误差范围内有较一致的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比值,在谐和图上基本上成群集中分布在谐和线上及附近(图5),其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 (388.2 ± 3.3) Ma (MSWD=1.8),代表玄武岩形成年龄。第四组1颗锆石(点4)的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 (357 ± 4) Ma,年龄偏小,可能与玄武岩形成后遭受后期热液改造时导致Pb同位素丢失有关。

潜英安岩(ASL-yt-77)15颗锆石测点的年龄分成3组,第一组1颗锆石(点12)的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为786 Ma,可能代表火山喷发时捕获的新元古代锆石。第二组13颗锆石(点1~11、14、15)在误差范围内有较一致的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比值,在谐和图上基本上成群集中分布在谐和线上及附近(图5),其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 (378.4 ± 1.6) Ma (MSWD=1.01),与谐和年龄 $[(379.4 \pm 0.8)$ Ma (MSWD=7)]在误差范围内一致,该年龄可代表潜英安岩的侵位年龄。第三组1颗锆石(点13)的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 (161 ± 1) Ma,明显低于潜英安岩侵位年龄,与后期热液改造时导致Pb同位素丢失有关。

石英闪长岩(ASL-yt-21)20颗锆石测点的年龄分成3组,第一组2颗锆石(点13和18)的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分别为 (2505 ± 6) Ma和 (743 ± 7) Ma,代表古元古代早期和新元古代锆石年龄。第二组4颗锆石(点1、9、11、15)的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为417~452 Ma,代表岩浆侵入时俘获的中奥陶世—晚志留世锆石。第三组14颗锆石在误差范围内有较一致的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比值,在谐和图上基本上成群集中分布在谐和线上及附近(图5),其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 (377.9 ± 2.6) Ma (MSWD=1.4)与谐和年龄 $[(378.5 \pm 0.9)$ Ma (MSWD=1.9)]在误差范围内一致,该年龄可代表石英闪长岩的侵位年龄。

4 讨论

4.1 古老锆石的意义

本次测定的4件样品锆石中均出现了古元古代—奥陶纪锆石,依据年龄可归为4类,第一类7颗锆石(ASL-yt-38-3、4、5、7、9、18和ASL-yt-21-13)

$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄介于2254~2505 Ma。宋国学等(2010)对阿舍勒矿区英安岩进行了LA-ICP-MS锆石U-Pb定年,获得11颗古老锆石的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄变化于1961~2173 Ma。这类锆石年龄为古元古代,这在区域上并不少见,如李会军等(2006)在白哈巴村附近加里东期花岗岩和额尔齐斯混杂带的玄武岩进行单颗粒锆石SHRIMP U-Pb年龄测定,获得3颗锆石的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为2145~2276 Ma。本课题组对准噶尔北缘老山口铁铜金矿区的闪长岩进行LA-ICP-MS锆石U-Pb定年时,曾获得(吕书君等,2012)5颗锆石 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为1635~1946 Ma。周刚等(2006)获得玛因鄂博断裂带中黑云母花岗岩中1颗锆石 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为2251 Ma。2254~2505 Ma这组年龄反映出阿尔泰存在古元古代基底的信息,胡霏琴等(1997,2001)认为新疆北部元古代时期的第一次地壳增生及古老太古宙地壳重熔事件发生于2200 Ma左右。宋国学等(2010)推测阿尔泰南缘泥盆纪火山岩中的古老锆石记录了古元古代一次岩浆活动事件(1985 Ma),并与Columbia超大陆的汇聚事件有关。

第二类1颗锆石(点750-5-2-2)年龄为1380 Ma,周刚等(2006)获得玛因鄂博断裂带中黑云母花岗岩2颗锆石 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为1419~1578 Ma,这组年龄(1380~1578 Ma)代表中元古代锆石信息。

第三类2颗锆石(点ASL-yt-21-18和ASL-yt-77-12) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分别为743 Ma和786 Ma,白哈巴村附近加里东期花岗岩和额尔齐斯混杂带的玄武岩中4颗锆石年龄介于749~977 Ma(李会军等,2006)玛因鄂博断裂带中黑云母花岗岩5颗锆石年龄为553~993 Ma(周刚等,2006),这组年龄(743~993 Ma)时代为新元古代。

前三类古老锆石年龄从古元古代、中元古代到新元古代(2505~553 Ma),具有连续变化特征,在空间上也有一定分布范围,反映了阿尔泰可能存在前寒武纪基底。

第四类6颗锆石(点ASL-yt-38-8、14、20,750-5-2-5、11、19)年龄为464~527 Ma,代表岩浆上升过程中捕获寒武纪和奥陶纪地层中锆石年龄,这套地层在阿尔泰分布广泛,如哈巴群、东锡勒克组,白哈巴组。

4.2 阿舍勒组时代

阿舍勒组是阿舍勒盆地重要的含矿岩系,阿舍勒铜锌矿、萨尔朔克铜多金属矿、喀英德铜矿、桦树

沟铜矿等均赋存于该组中。尽管前人对该组火山岩系进行了详细的地层学、岩石学、岩相学、地球化学的研究,但目前还缺乏年代学的资料。灰岩中发现了珊瑚化石 *Aemulophyllum* sp., *Orthophyllum* sp., *Sinospongo phyllumachelenense* (sp. nor.), *Heliophyllum* sp., *Thammpora helenae* Dubat, *Pachyfavosites polymorphus* Goldfu SS, *Gracilopora* ex gr. *Yavorskyi*, *Cladopora* cf. *cylindrocellularis* 等,以及海百合、牙形石,时代相当于艾姆斯阶或艾菲尔阶的下部,由此认为阿舍勒组时代为早-中泥盆世(陈毓川等,1996;2003;王登红,1996;李华芹等,1998;牛贺才等,2006),但也有学者认为阿舍勒组是中泥盆世(张良臣等,2003;刘德权等,2005)。

本次获得 I 号矿体顶板阿舍勒组凝灰岩(ASL-yt-38)中 10 颗锆石 U-Pb 谐和年龄为 (387.0 ± 4.2) Ma,矿体底板玄武岩(750-5-2)中 14 颗锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 (388.2 ± 3.3) Ma,二者在误差范围内一致。潜英安岩(ASL-yt-77)13 颗锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均值年龄 (378.4 ± 1.6) Ma 与谐和年龄 (379.4 ± 0.8) Ma 在误差范围内一致。石英闪长岩(ASL-yt-21)14 颗锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄 (377.9 ± 2.6) Ma 与谐和年龄一致 (378.5 ± 0.9) Ma)。潜英安岩和石英闪长岩均为潜火山岩相,二者的时代一致,晚于喷出岩。I 号矿体附近流纹岩 15 颗锆石 LA-MC-ICP-MS $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 (375 ± 3) Ma(Wan et al., 2011)。从目前的年代学资料看,流纹岩、潜英安岩和石英闪长岩在误差范围内一致 $(375 \sim 379)$ Ma。侵入岩中锆石年龄值仅代表侵位年龄,因为还要经过相当长时间,岩浆才完全结晶、固结,所以锆石年龄值不完全等于岩体形成的年龄值。但火山熔岩和潜火山岩中锆石年龄值基本代表成岩年龄值,具有较高的定年有效性,本次获得的玄武岩、凝灰岩、潜英安岩和石英闪长岩中锆石 U-Pb 年龄基本代表阿舍勒组火山岩系的形成时代。关于泥盆纪时限的划分,国内与国际地层表存在较大的差距,中国年代地层表(全国地层委员会,2002)中,早泥盆世为 $410 \sim 386$ Ma,中泥盆世为 $386 \sim 372$ Ma,晚泥盆世为 $372 \sim 354$ Ma,本文仍然按中国年代地层表的划分方案。总之,结合地质、生物化石和年代学资料,厘定阿舍勒组火山岩系时代为早-中泥盆世。

4.3 阿舍勒组成矿时代限定

前人对阿舍勒矿床进行过年代学研究,如李华

芹等(1998)获得矿石的 Rb-Sr 等时线年龄为 (364 ± 15) Ma,但重新计算后得到的等时线年龄为 (327 ± 27) Ma(李华芹等,2004);块状矿石的 Sm-Nd 和 Rb-Sr 等时线年龄分别为 (282 ± 21) Ma 和 (267 ± 5) Ma,认为是矿区英安斑岩和流纹斑岩侵入时岩浆热液叠加期的成矿时间;黄铁矿-石英脉和方解石-石英脉中石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为 (302 ± 29) Ma 和 (245 ± 27) Ma,并认为 302 Ma 代表区域动力变质热液期的叠加成矿年龄,245 Ma 可能与构造热液叠加成矿有关(李华芹等,2004)。由于受测试方法的限制,这些年龄从 364 Ma 变化到 245 Ma,相差了 119 Ma,未能很好地限定成矿时代。

阿舍勒铜锌矿 I 号主矿体赋存于玄武岩与凝灰岩之间,呈层状,矿区发育含铁碧玉岩、重晶石岩、硅化带等喷气岩,矿石类型为黄铁矿矿石、含黄铜矿黄铁矿矿石、铜锌黄铁矿矿石、多金属矿石和重晶石多金属矿石,并具有分带性,矿石构造主要有(致密)块状、条带状、层纹状和稠密浸染状。这些特征表明阿舍勒铜锌矿为火山成因块状硫化物(VMS)矿床,为同生沉积矿床,矿体顶、底板火山岩年龄可以限定成矿时代。本次获得 I 号矿体顶板阿舍勒组凝灰岩锆石 U-Pb 谐和年龄为 (387.0 ± 4.2) Ma,矿体底板玄武岩 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 的加权平均年龄为 (388.2 ± 3.3) Ma,二者相差仅 1 Ma,限定阿舍勒铜锌矿 I 号主矿体喷流沉积期形成于早泥盆世末期 $(388 \sim 387)$ Ma。潜英安岩(ASL-yt-77)采自 IV 号蚀变带,地表岩石强烈褐铁矿化,另发育硅化、孔雀石化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化和碳酸盐化。潜英安岩锆石 U-Pb 年龄为 (379.4 ± 0.8) Ma,限定矿化蚀变时间基本在 379 Ma,这也代表了与潜火山岩有关的岩浆热液期形成的含硫化物石英脉、含硫化物石英方解石脉和(石英)方解石脉形成的时间。

5 结 论

(1)阿舍勒大型铜锌矿赋存于一套海相火山沉积岩系中,LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测定表明,凝灰岩为 (387.0 ± 4.2) Ma,玄武岩为 (388.2 ± 3.3) Ma,潜英安岩为 (379.4 ± 0.8) Ma,石英闪长岩为 (378.5 ± 0.9) Ma,在误差范围内火山熔岩和火山碎屑岩有一致的年龄,两个潜火山岩年龄一致,结合生物化石,厘定阿舍勒组时代为早-中泥盆世。

(2)阿舍勒铜锌矿为火山成因块状硫化物

(VMS)矿床,属同生沉积矿床,I号主矿体产于玄武岩和凝灰岩之间,二者的年龄分别为 (388.2 ± 3.3) Ma和 (387.0 ± 4.2) Ma,限定了I号主矿体喷流沉积期形成于早泥盆世末期($388 \sim 387$ Ma),潜英安岩U-Pb年龄为 (379.4 ± 0.8) Ma,表明与潜火山岩有关的岩浆热液期矿化形成于中泥盆世。

(3)凝灰岩、玄武岩、潜英安岩和石英闪长岩中古老锆石U-Pb年龄变化于743~2505 Ma,时代从古元古代连续变化到新元古代,这些年龄为阿尔泰山带存在前寒武纪结晶基底提供了证据。

志谢 参加野外工作的还有张志欣硕士、欧阳刘进硕士、李强博士生、郑佳浩博士生、孟庆鹏硕士生等。野外工作期间得到新疆阿舍勒铜业股份有限公司王永春副总经理以及采矿部的领导和技术人员的大力支持和帮助。岩体样品的年龄测试得到了中国地质科学院矿产资源研究所侯可军博士的帮助,在此一并表示衷心的感谢。

参考文献/References

陈毓川,叶庆同,冯京,牟传林,周良仁,王全明,黄光昭,庄道泽,任秉琛. 1996. 阿舍勒铜锌成矿带成矿条件和成矿预测[M]. 北京:地质出版社. 1-330.

陈毓川,叶庆同,王京彬,芮行健,栾世伟,李志纯,李天德,杨福同. 2003. 中国新疆阿尔泰山成矿带矿床地质、成矿规律与技术经济评价[M]. 北京:地质出版社. 1-423.

戴自希,白冶,吴初国,古方,朱明玉,尚修治. 2001. 中国西部和毗邻国家铜金找矿潜力的对比研究[M]. 北京:地震出版社. 1-201.

高珍权,方维萱,胡瑞忠,李文铅. 2010. 新疆阿舍勒铜矿英安-玄武安山质火山岩的地球化学特征与构造背景[J]. 矿床地质, 29(2):218-229.

耿新霞,杨富全,杨建民,郭正林,郭旭吉,黄承科,刘锋,柴凤梅,张志欣. 2010. 新疆阿尔泰山铁木尔特铅锌矿床稳定同位素组成特征[J]. 矿床地质, 29(6):1088-1100.

侯可军,李延河,田有荣. 2009. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术[J]. 矿床地质, 28(4):481-492.

胡霏琴,王中刚,涂光炽. 1997. 新疆北部地质演化及成矿规律[M]. 北京:科学出版社. 9-105.

胡霏琴,张国新,陈义兵,张前锋. 2001. 新疆大陆基底分区模式和主要地质事件的划分[J]. 新疆地质, 29(1):1-19.

李华芹,谢才富,常海亮,蔡红,朱家平,周肃. 1998. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学[M]. 北京:地质出版社. 1-264.

李华芹,陈富文. 2004. 中国新疆区域成矿作用年代学[M]. 北京:地

质出版社, 1-385.

李会军,何国琦,吴泰然,吴波. 2006. 阿尔泰-蒙古微大陆的确定及其意义[J]. 岩石学报, 22(5):1369-1379.

刘德权,唐延龄,周汝洪. 2005. 中国新疆铜矿床和镍矿床[M]. 北京:地质出版社. 1-360.

刘敏,张作衡,王永强,郭旭吉. 2008. 新疆阿尔泰山大东沟铅锌矿床地质特征及稳定同位素地球化学研究[J]. 地质学报, 82(11):1504-1513.

吕书君,杨富全,柴凤梅,张希兵,姜丽萍,刘锋,张志欣,耿新霞,欧阳刘进. 2012. 东准噶尔北缘老山口铁铜金矿区侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及地质意义[J]. 地质论评, 58(1):149-164.

牛贺才,许继峰,于学元,陈繁荣,郑作平. 1999. 新疆阿尔泰山富镁火山岩系的发现及其地质意义[J]. 科学通报, 44(9):1002-1004.

牛贺才,于学元,许继峰,单强,陈繁荣,张海祥,郑作平. 2006. 中国新疆阿尔泰山晚古生代火山作用及成矿[J]. 北京:地质出版社. 1-184.

全国地层委员会. 2002. 中国区域年代地层(地质年代)表说明书[M]. 北京:地质出版社. 1-10.

宋国学,秦克章,刘铁兵,李光明,申萍. 2010. 阿尔泰山南缘阿舍勒盆地泥盆纪火山岩中古老锆石的 U-Pb 年龄、Hf 同位素和稀土元素特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 26(10):2946-2958.

涂光炽. 1999. 初议中亚成矿域[J]. 地质科学, 34(4):398-399.

王登红. 1996. 新疆阿舍勒火山岩型块状硫化物铜矿硫、铅同位素地球化学[J]. 地球化学, 25(6):582-590.

王登红,陈毓川,徐志刚,李天德,傅旭杰. 2002. 阿尔泰山成矿省的成矿系列及成矿规律[M]. 北京:原子能出版社. 1-493.

王京彬,秦克章,吴志亮,胡剑辉,邓吉牛. 1998. 阿尔泰山南缘火山喷流沉积型铅锌矿床[M]. 北京:地质出版社. 1-210.

新疆地质矿产勘查开发局第四地质大队. 1998. 新疆哈巴河县阿舍勒铜矿区一号铜矿床勘探地质报告[J]. 内部资料.

叶庆同,傅旭杰,张晓华. 1997. 阿舍勒铜矿块状硫化物矿床地质特征和成因[J]. 矿床地质, 16(2):97-106.

张良臣,刘德权,王有标,李庆昌,李博权,周汝洪,邹天人,唐延龄,王京彬,吴乃元,赵殿甲,杜佩轩. 2003. 中国新疆优势金属矿产成矿规律[M]. 北京:地质出版社. 1-405.

郑开平,等. 2012. 新疆哈巴河县阿舍勒深部找矿勘查设计书(2012年度)[R].

周刚,张招崇,何斌,王祥,李建国,贺永康,郑开平,罗世宾. 2006. 新疆北部玛因鄂博断裂带中片麻岩锆石 U-Pb SHRIMP 定年及其地质意义[J]. 中国地质, 33(6):1209-1216.

朱裕生,肖克炎,王全明,徐珏,冯京,庄道泽,高永峰,高兰,宋国耀,陈郑辉,方一平. 2002. 阿舍勒铜矿床三维定位预测[M]. 北京:地质出版社. 1-252.

紫金集团西北矿产地质勘查院. 2009. 紫金矿业阿舍勒铜矿深部地质勘查喜获重要突破[EB/D]. 有色金属行业信息数据网 <http://db.cnmm.com.cn/NewsShow.aspx?id=130hLct5oag>.

Belousova E A, Griffin W L, O'Reilly S Y and Fisher N I. 2002. Ig-

- neous zircon : Trace element composition as an indicator of source rock type[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology* , 143 : 602-622.
- Daukeev S Zh , Uzhkenov B S , Bespaev Kh A , Miroshnichenko L A , Mazurov A K and Saydukasov M A. 2004. Atlas of mineral deposit models of the republic of Kazakhstan[M]. Almaty : Printing House " Center for geoinformation of the Military Forces of the Republic of Kazakhstan " , 1-141.
- Nasdala L , Norberg N and Schaltegger U. 2008. Plesovice zircon-A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis [J]. *Chemical Geology* , 249 : 1-35.
- Wan B , Zhang L C and Xiang P. 2010. The Ashele VMS-type Cu-Zn Deposit in Xinjiang , NW China Formed in a Rifted Arc Setting[J]. *Resource Geology* , 60(2) : 150-164.
- Wan B , Xiao W J , Zhang L C , Windley B , Han C M and Quinn C D. 2011. Contrasting styles of mineralization in the Chinese Altai and East Junggar , NW China : Implications for the accretionary history of the southern Altaids[J]. *Journal of the Geological Society* , London , 168 : 1311-1321.
- Yakubchuk A , Seltmann R and Shatov V. 2003. Tectonics and metallogeny of the western part of the Altiid orogenic collage[A]. In : Mao J W , Goldfarb R J , Seltmann R , Wang D H , Xiao W J and Hart C , eds. Tectonic evolution and metallogeny of the Chinese Altai and Tianshan[C]. Proceedings volume of the international symposium of the IGCP-473 project in Urumqi and guidebook of the field excursion in Xinjiang , China : August 9-21 , 2003. London : Centre for Russian and Central Asian Mineral Studies , Natural History Museum , 7-16.
- Zhu Y F. 2011. Zircon U-Pb and muscovite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the gold-bearing Tianger mylonitized granite , granite , Xinjiang , northwest China : Implications for radiometric dating of mylonitized magmatic rocks[J]. *Ore Geology Reviews* , 40 : 108-121.

<http://www.kcdz.ac.cn>