

新疆阿舍勒铜锌矿区英云闪长岩年代学及地球化学

柴凤梅¹, 欧阳刘进², 董连慧², 杨富全³, 刘 锋³, 张志欣⁴, 李 强³

(1. 新疆大学 新疆中亚造山带大陆动力学与成矿预测实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046; 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. 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; 4. 中国科学院 新疆生态与地理研究所 新疆矿产资源研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘 要: 对新疆阿尔泰山南缘阿舍勒铜锌矿区英云闪长岩进行了锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测定, 获得了 375.3 ± 2.1 Ma 和 386.2 ± 3.8 Ma 的加权平均年龄, 表明英云闪长岩形成于早泥盆世晚期—中泥盆世早期。岩石地球化学分析结果表明: 所有岩石具有高 SiO_2 (74.72% ~ 77.72%) 和中等 Al_2O_3 (12.06% ~ 13.5%) 含量, 低的 P_2O_5 (<0.04%) 和 CaO (0.34% ~ 1.65%) 含量, 且具有贫碱 ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 5.84\% \sim 6.59\%$)、富钠 ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 3.3 \sim 10.9$)、过铝质 ($A/\text{CNK} = 1.10 \sim 1.18$) 特点, 富集 LREE 和 Th、U、Pb 元素, 贫 P、Sr、Nb、Ta、Ti 元素, 呈现明显的 Eu 负异常 ($\delta\text{Eu} = 0.47 \sim 0.81$), 属低钾过铝质岩石。综合阿尔泰山南缘的区域地质资料及英云闪长岩的地球化学特征, 认为阿舍勒铜锌矿区英云闪长岩是早中泥盆世的活动大陆边缘环境陆壳岩石部分熔融的产物。

关键词: 英云闪长岩, 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄, 地球化学, 阿舍勒

中图分类号: P595; P588.12⁺²

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2013)01-0041-12

Geochronology and genesis of tonalites from the Ashele Cu-Zn deposit on the southern margin of Altay, Xinjiang

CHAI Feng-mei¹, OUYANG Liu-jin², DONG Lian-hui², YANG Fu-quan³, LIU Feng³,
ZHANG Zhi-xin⁴ and LI Qiang³

(1. Xinjiang Key Laboratory for Geodynamic Processes and Metallogenic Prognosis of the Central Asian Orogenic Belt, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 2. Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Urumqi 830000, China; 3. Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Ministry of Land and Resources, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 4. Xinjiang Mineral Resources Research Center, Institute of Geology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract: LA-ICP-MS U-Pb zircon ages and whole rock geochemical data are reported for tonalites from the Ashele Cu-Zn deposit on the southern margin of Altay. The zircons from tonalite samples yielded mean $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages of 375.3 ± 2.1 Ma and 386.2 ± 3.8 Ma, suggesting that the intrusion took place between Early Devonian and Middle Devonian. These tonalites have high SiO_2 (74.72% to 77.72%), moderate Al_2O_3 (12.06% to 13.5%) and total alkali ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) (5.84% to 6.59%), and low P_2O_5 (<0.04%) and CaO (0.34% to 1.65%). In addition, they are enriched in Na ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 3.3$ to 10.9) with high A/CNK values (1.10 to 1.18), implying low-K peraluminous granites. They display negative anomalies of Nb, Ta, Ti, Sr, Ba and P and obvious enrichment of LREE and LILEs (Th, U and Pb) with significant Eu (0.47 ~ 0.81) negative

收稿日期: 2012-07-26; 修订日期: 2012-10-24

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项经费资助项目(200911007-06); “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAB06B03-02); 中国地质大调查资助项目(1212011220894); 新疆维吾尔自治区自然科学基金(2010211A08)

作者简介: 柴凤梅(1971-), 女, 汉族, 教授, 主要从事岩石学、矿床学的教学与研究工作, E-mail: chaifengmei@163.com

anomalies. Combined with the tectonic evolution of the southern margin of the Altay, the authors hold that these tonalities were generated from the melting of continental crust in an island arc tectonic setting.

Key words: tonalite; zircon LA-ICP-MS U-Pb dating; geochemistry; Ashele Cu-Zn deposit

阿尔泰造山带位于中国、蒙古、俄罗斯、哈萨克斯坦四国交界处,是中亚造山带的重要组成部分(Sengor *et al.*, 1993; Xiao *et al.*, 2009, 2010)经历了古生代双向增生和中新生代陆内造山作用(肖序常等, 1992; 何国琦等, 1994)。该带构造活动和造山作用复杂,岩浆活动频繁,花岗质岩石分布广泛,并且在时间和空间上与有关矿产关系密切。是地质学家研究阿尔泰地区构造演化和地壳增生以及与成矿关系的重要对象之一。前人对区内花岗质岩石已做了大量的研究工作,对它们的形成时代、岩浆物质来源和演化、构造环境以及与成矿作用关系持有诸多见解(赵振华等, 1993; 王中刚等, 1998; 王涛等, 2005; 董英等, 2007)。

阿尔泰南缘的阿舍勒盆地,因其内发育闻名于世的特富 VMS 型铜多金属矿床而备受关注,有关该矿床的含矿火山岩、矿床地质特征等方面的研究已取得了丰富的成果(王登红, 1996a, 1996b; 贾群子, 1996; 陈毓川等, 1996; 叶庆同等, 1997; 牛贺才等, 1999, 2006; 王登红等, 2002; 高珍权等, 2010; Wan *et al.*, 2010, 2011)然而对该盆地内阿舍勒铜矿区出露的花岗质岩体的研究较少,这些花岗质岩浆活动与阿舍勒铜矿床之间的关系尚不清楚。由于矿区内的中粗粒英云闪长岩蚀变较强,本文对阿舍勒铜矿区的细中粒英云闪长岩、细粒似斑状英云闪长岩进行年代学和地球化学研究,以期对阿舍勒铜矿床的成因和阿舍勒盆地乃至阿尔泰南缘的构造演化研究提供有益资料。

1 区域地质背景

新疆北部阿尔泰地区是中国西北乃至整个中亚地区一条重要的成矿带,大地构造上位于西伯利亚板块和哈萨克斯坦-准噶尔板块的结合部位,是哈萨克斯坦阿尔泰的东延部分,中国境内长约 500 km, NW 向与哈萨克斯坦的矿区阿尔泰(南部)和俄罗斯的山区阿尔泰(北部)相连, SE 向与蒙古的戈壁阿尔泰相接。该造山带构造运动较为剧烈,分布有多条北西-南东向断裂,并将阿尔泰造山带大致分为北、中、南 3 个块体(Li *et al.*, 2003; Xiao *et al.*, 2004;

Zhu *et al.*, 2006),或者阿尔泰山块体、阿尔泰山西南块体、中阿尔泰山块体、琼库尔-阿巴宫块体、额尔齐斯块体和 Perkin-阿尔曼太 6 个构造块体(Windley *et al.*, 2002; Xiao *et al.*, 2008)。

阿舍勒盆地位于南阿尔泰块体的阿尔泰造山带西南缘,是哈萨克斯坦矿区阿尔泰构造形成矿带的东南延伸部分。盆地出露的地层主要有下泥盆统康布铁堡组低角闪岩相-高绿片岩相变质酸性火山岩、火山碎屑岩和陆源碎屑岩;中下泥盆统托克萨雷组滨-浅海相沉积岩;中泥盆统阿勒泰镇组复理石碎屑沉积岩;中泥盆统阿舍勒组中酸性火山碎屑岩为主的火山-沉积岩夹碳酸盐岩;上泥盆统齐也组中酸性火山岩,与上覆及下伏地层均为角度不整合接触;下石炭统红山嘴组滨-浅海相火山岩-碎屑沉积岩夹碳酸盐岩,也发育有第三系及第四系沉积物。盆地内断裂构造发育,以北西向、近南北向为主,较大的断裂有玛尔卡库里断裂和别斯萨拉断裂,也发育有阿舍勒复式向斜。岩浆活动频繁,深成侵入岩、次火山岩和火山岩发育。超基性、基性、酸性深成侵入岩均有出露,面积可达 240 km²,但以华力西中晚期中酸性-酸性岩为主,多呈岩基和岩株状分布于玛尔卡库里断裂两侧,侵入于托克萨雷组、阿舍勒组和阿勒泰镇组地层中。次火山岩多分布于玛尔卡库里大断裂北东侧,基性-酸性均有出露,呈岩株和岩枝产出,岩体形态较为复杂,面积均较小;火山岩分布于玛尔卡库里大断裂北东侧,呈北西-南东向展布,以中酸性和中性为主,基性较少。盆地内已发现有阿舍勒铜锌矿床和萨尔朔克金多金属矿床(图 1)。

2 岩体地质概况及岩相学

阿舍勒铜锌矿区最大的侵入岩体为哈巴河岩体,位于玛尔卡库里断裂北东侧,阿舍勒铜锌矿东部,出露面积约 180 km²,形状不规则,侵位于中下泥盆统阿舍勒组和阿勒泰镇组地层中,与阿舍勒组大部分地段呈断层接触,局部呈侵入接触。岩体为近于同时形成的复式岩体,以中粗粒英云闪长岩为主,也发育有英云闪长斑岩、石英闪长岩、花岗岩和辉长闪长岩。岩体内也见有与区域性断裂带延伸方

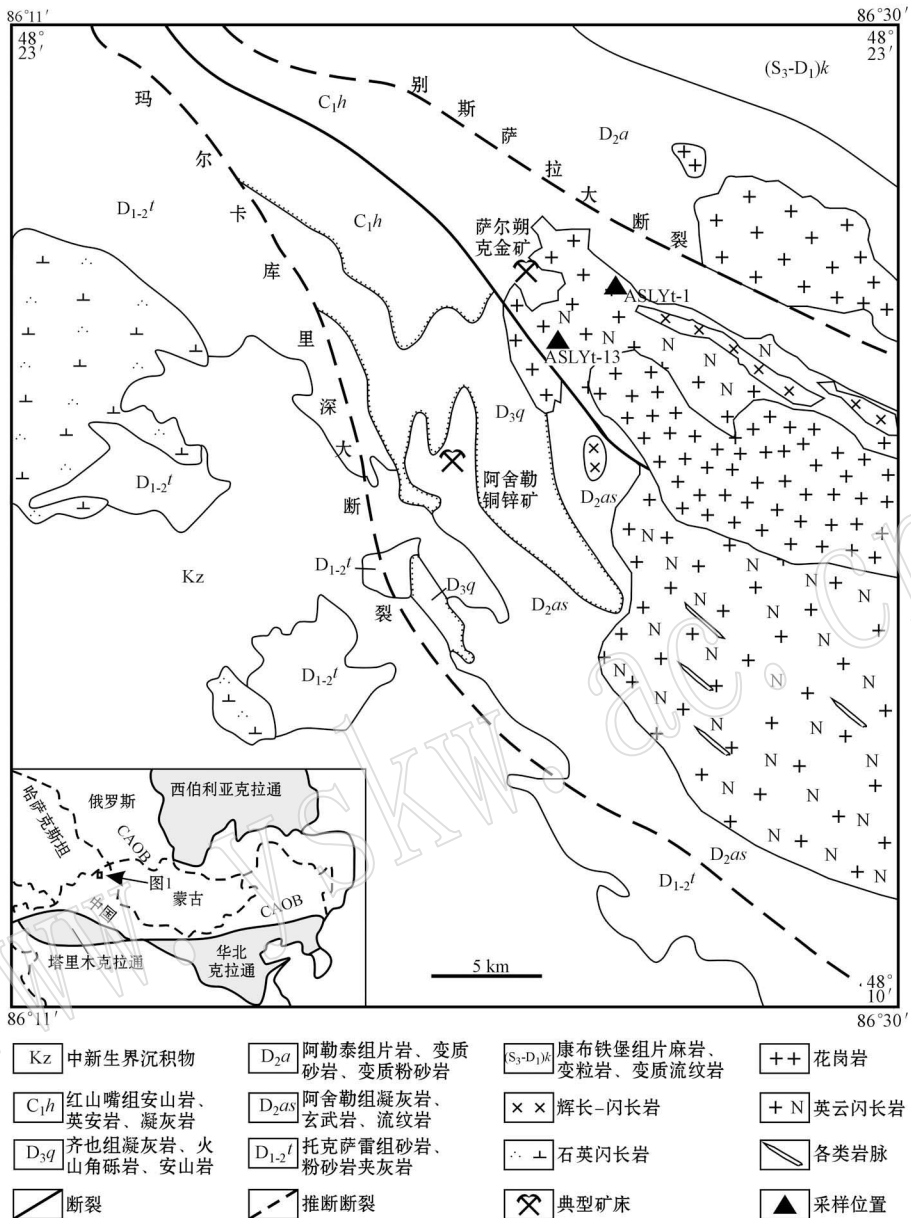


图 1 阿舍勒铜锌矿区区域地质略图(据新疆地质矿产勘查局第四地质队, 1989^①修改)

Fig. 1 Regional geological sketch map of the Ashele Cu-Zn deposit (modified after No. 4 Geological Party of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, 1989^①)

向一致的酸性、中性及基性岩脉和岩墙。辉长闪长岩为华力西中期第一侵入次产物, 规模较小, 呈不规则长条状分布于岩体的中部及北部, 岩石蚀变强烈, 具变余斑状-纤状变晶结构; 石英闪长岩为第二侵入次产物岩浆活动的产物, 侵位于托克萨雷组; 英云闪

长岩为第三侵入次产物岩浆活动的产物, 按结构可分为似斑状英云闪长岩、中粗粒英云闪长岩和细中粒英云闪长岩, 岩石具有明显的压碎蚀变现象; 花岗岩为华力西晚期第一侵入次产物, 侵入于英云闪长岩中, 接触面波状起伏, 主要为细中粒花岗岩和白云

① 新疆地质矿产勘查局第四地质队, 1989. 新疆萨尔布拉克幅和齐叶幅 1:20 万地质图.

母二长花岗岩^①。

细中粒英云闪长岩呈灰白色, 细中粒花岗结构, 块状构造。岩石由斜长石(50%)、钾长石(5%±)、石英(35%±)、黑云母和白云母(10%)组成。斜长石呈半自形板状, 杂乱分布, 粒度一般 2~4 mm, 部分 0.2~2 mm, 高岭土化、绢云母化明显, 部分隐约可见环带。钾长石呈近半自形板状, 零散分布, 轻高岭土化, 有的隐约可见格子双晶。石英呈它形粒状, 填隙状分布, 粒度一般 2~5 mm, 部分 0.2~2 mm, 粒内波状消光。云母呈叶片状, 片径 0.05~0.5 mm, 杂乱分布, 黑云母为棕褐色, 部分被绿泥石交代呈假像产出。岩石内多见裂隙, 被绿泥石等充填。

细粒似斑状英云闪长岩呈灰白色, 略带肉红色, 似斑状结构, 基质细粒花岗结构, 块状构造。岩石由斑晶和基质两部分组成, 斑晶由斜长石(25%)、石英(25%)组成, 杂乱分布, 粒度 2~10 mm。斜长石呈半自形板状, 高岭土化、绢云母化、绿帘石化明显, 有的隐约可见环带, 少见边部与石英呈文象状交生。石英呈它形粒状, 波状、带状消光明显, 部分可见变形纹。基质由斜长石(28%)、钾长石(5%)、石英(10%)、暗色矿物(7%)组成, 粒度一般 0.2~2 mm, 少数 0.05~0.2 mm。斜长石呈半自形板状, 边界不规则, 杂乱分布, 高岭土化、绢云母化、绿帘石化明显。钾长石呈它形粒状, 填隙状分布, 轻高岭土化, 局部交代斜长石, 部分与石英呈文象状交生。石英呈它形粒状, 填隙状分布, 波状、带状消光, 部分与长石呈文象状交生, 暗色矿物均已被绿泥石、绿帘石等交代呈假像产出, 杂乱分布。岩石裂隙发育, 被硅质、绿帘石、绿泥石等充填并交代。

3 锆石 U-Pb 年代学

3.1 测试方法

用于定年的样品采自阿舍勒铜矿区东北部的细中粒英云闪长岩(ASLYt-1: N 48°19'33", E 86°25'58")和细粒似斑状英云闪长岩(ASLYt-13: N 48°18'54", E 86°22'54")。

锆石样品靶的制作和锆石阴极发光照相在北京铀年领航科技有限公司中心完成。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束斑直径为 25 μm, 频率为 10 Hz, 能量密度约为 2.5 J/cm², 以 He 为载气。详细实验测试过程参考侯可军等(2009)。每测定 10 个样品点测定一次标准锆石(GJ-1 和 Plesovice), 用于观察仪器的状态以保证测试的精确度。样品的同位素比值和元素含量计算采用 ICP-MS-DataCal 4.3 程序处理(Liu *et al.*, 2008), 年龄计算及谐和图的绘制采用 Isoplot 3.0(Ludwig, 2001)软件处理。单次测量数据点的误差为 1σ。普通铅根据实测²⁰⁴Pb 校正, 年龄值选用 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄, 其加权平均值具有 95% 的置信度。

3.2 测试结果

测试用锆石颗粒多为无色或浅黄褐色, 颗粒自形程度较差, 多呈短柱状、板状, 长轴变化于 100~250 μm 之间, 长短轴变化于 1:1~2.5:1 之间。大多数锆石环带结构不发育(图 2)。两件样品的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析结果列于表 1。

ASLYt-1 样品中锆石测点的 Th/U 比值(0.34~0.70)显示了岩浆锆石 Th/U 比值的典型特征(Rubatto, 2002); 18 个有效分析点在误差范围内有一致的²⁰⁶Pb/²³⁸U 值, 在锆石谐和图上(图 2a), 它们聚集在谐和线上或其附近, 其加权平均值为 375.3 ± 2.1 Ma(MSWD=0.9), 这一年龄代表了该岩体的结晶年龄。

ASLYt-13 样品中 19 个有效数据点的 Th/U 比值(0.38~1.17)显示了岩浆锆石 Th/U 比值的典型特征(Rubatto, 2002), 这些有效分析点的²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄非常一致, 介于 379~397 Ma 之间, 在锆石谐和图上(图 2b)位于一致线上及其附近一个较小的范围内, 其加权平均年龄为 386.2 ± 3.8 Ma(MSWD=0.33), 代表了该侵入岩的形成年龄。

综上所述, 本研究两个样品的年龄数据可靠, 可以代表阿舍勒盆地侵入岩体的结晶年龄, 是中泥盆世岩浆活动的产物, 与 Cai 等(2010)获得的哈巴河岩体结晶年龄(375 ± 5 Ma)一致。

① 新疆地质矿产勘查局地质矿产研究所, 1995. 哈巴河县阿舍勒-多纳拉萨依一带 1:5 万金及多金属成矿预测报告.

表 1 阿舍勒铜矿区英云闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测定结果
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating data of tonalite in Ashele Cu-Zn deposit

| 测点编号 | $w_B/10^{-6}$ | | Th/U | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ | | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ | | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | | | |
|---------------------------|-------------------|------------------|------|----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|-----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|-------|------|
| | ^{232}Th | ^{238}U | | 比值 | 1σ | 比值 | 1σ | 年龄/Me | 1σ | 年龄/Me | 1σ | 年龄/Me | 1σ | | |
| 样品编号: ASLYt-1 细粒英云闪长岩 | | | | | | | | | | | | | | | |
| ASLYt-1-02 | 56.87 | 94.92 | 0.60 | 0.054 11 | 0.000 751 | 0.441 48 | 0.008 518 | 0.059 17 | 0.000 791 | 375.9 | 31.5 | 371.3 | 6.0 | 370.6 | 4.8 |
| ASLYt-1-03 | 64.10 | 108.56 | 0.59 | 0.053 87 | 0.000 736 | 0.433 14 | 0.008 296 | 0.058 29 | 0.000 730 | 364.9 | 25.0 | 365.4 | 5.9 | 365.2 | 4.4 |
| ASLYt-1-04 | 44.09 | 81.71 | 0.54 | 0.054 24 | 0.000 827 | 0.448 69 | 0.008 417 | 0.060 13 | 0.000 783 | 388.9 | 33.3 | 376.4 | 5.9 | 376.4 | 4.8 |
| ASLYt-1-05 | 40.14 | 77.10 | 0.52 | 0.054 14 | 0.000 840 | 0.442 10 | 0.008 272 | 0.059 30 | 0.000 692 | 375.9 | 35.2 | 371.7 | 5.8 | 371.4 | 4.2 |
| ASLYt-1-06 | 95.66 | 144.34 | 0.66 | 0.054 42 | 0.000 480 | 0.449 03 | 0.006 380 | 0.059 90 | 0.000 692 | 387.1 | 20.4 | 376.6 | 4.5 | 375.0 | 4.2 |
| ASLYt-1-07 | 33.90 | 58.35 | 0.58 | 0.055 22 | 0.002 821 | 0.447 65 | 0.019 123 | 0.059 50 | 0.001 678 | 420.4 | 114.8 | 375.6 | 13.4 | 372.6 | 10.2 |
| ASLYt-1-08 | 39.66 | 117.20 | 0.34 | 0.054 21 | 0.001 762 | 0.442 08 | 0.017 213 | 0.059 21 | 0.001 440 | 388.9 | 72.2 | 371.7 | 12.1 | 370.8 | 8.8 |
| ASLYt-1-09 | 48.12 | 92.50 | 0.52 | 0.054 69 | 0.000 610 | 0.446 36 | 0.005 930 | 0.059 45 | 0.000 636 | 398.2 | 28.7 | 374.7 | 4.2 | 372.3 | 3.9 |
| ASLYt-1-10 | 65.93 | 99.68 | 0.66 | 0.054 26 | 0.001 277 | 0.449 15 | 0.013 935 | 0.060 02 | 0.001 077 | 388.9 | 53.7 | 376.7 | 9.8 | 375.8 | 6.6 |
| ASLYt-1-11 | 92.13 | 131.72 | 0.70 | 0.054 18 | 0.001 044 | 0.444 44 | 0.010 598 | 0.059 47 | 0.000 800 | 388.9 | 38.0 | 373.4 | 7.5 | 372.4 | 4.9 |
| ASLYt-1-12 | 92.62 | 137.55 | 0.67 | 0.054 57 | 0.001 105 | 0.454 52 | 0.013 900 | 0.060 32 | 0.001 158 | 394.5 | 44.4 | 380.4 | 9.8 | 377.6 | 7.0 |
| ASLYt-1-13 | 70.24 | 114.14 | 0.62 | 0.054 26 | 0.000 539 | 0.451 95 | 0.005 683 | 0.060 49 | 0.000 543 | 388.9 | 50.0 | 378.6 | 4.0 | 378.6 | 3.3 |
| ASLYt-1-14 | 25.43 | 63.60 | 0.40 | 0.054 97 | 0.000 901 | 0.463 27 | 0.008 458 | 0.061 27 | 0.000 676 | 409.3 | 41.7 | 386.5 | 5.9 | 383.3 | 4.1 |
| ASLYt-1-15 | 51.44 | 96.17 | 0.53 | 0.054 54 | 0.000 683 | 0.455 95 | 0.007 473 | 0.060 64 | 0.000 651 | 394.5 | 27.8 | 381.4 | 5.2 | 379.5 | 4.0 |
| ASLYt-1-16 | 74.16 | 134.51 | 0.55 | 0.054 61 | 0.000 533 | 0.450 78 | 0.006 042 | 0.059 89 | 0.000 599 | 398.2 | 20.4 | 377.8 | 4.2 | 375.0 | 3.6 |
| ASLYt-1-17 | 73.14 | 127.28 | 0.57 | 0.054 27 | 0.000 483 | 0.450 57 | 0.005 625 | 0.060 28 | 0.000 589 | 383.4 | 52.8 | 377.7 | 3.9 | 377.3 | 3.6 |
| ASLYt-1-18 | 44.18 | 80.51 | 0.55 | 0.055 19 | 0.001 510 | 0.460 43 | 0.016 503 | 0.060 30 | 0.000 651 | 420.4 | 56.5 | 384.6 | 11.5 | 377.5 | 4.0 |
| 样品编号: ASLYt-13 细粒似斑状英云闪长岩 | | | | | | | | | | | | | | | |
| ASLYt-13-1 | 51.89 | 76.53 | 0.68 | 0.054 36 | 0.001 259 | 0.455 60 | 0.015 463 | 0.061 02 | 0.001 831 | 387.1 | 53.7 | 381.2 | 10.8 | 381.8 | 11.1 |
| ASLYt-13-2 | 91.43 | 153.95 | 0.59 | 0.054 43 | 0.000 772 | 0.457 82 | 0.012 807 | 0.061 13 | 0.001 501 | 387.1 | 26.9 | 382.7 | 8.9 | 382.5 | 9.1 |
| ASLYt-13-3 | 25.45 | 63.71 | 0.40 | 0.054 64 | 0.000 588 | 0.462 12 | 0.009 178 | 0.061 51 | 0.001 043 | 398.2 | 22.2 | 385.7 | 6.4 | 384.8 | 6.3 |
| ASLYt-13-4 | 18.74 | 45.77 | 0.41 | 0.054 79 | 0.000 977 | 0.463 46 | 0.011 069 | 0.061 65 | 0.001 198 | 466.7 | 38.9 | 386.7 | 7.7 | 385.7 | 7.3 |
| ASLYt-13-5 | 35.09 | 93.41 | 0.38 | 0.054 71 | 0.000 597 | 0.459 12 | 0.007 767 | 0.061 14 | 0.000 980 | 466.7 | 28.7 | 383.6 | 5.4 | 382.5 | 6.0 |
| ASLYt-13-6 | 52.40 | 61.17 | 0.86 | 0.054 28 | 0.005 950 | 0.452 95 | 0.010 127 | 0.060 59 | 0.001 059 | 383.4 | 29.6 | 379.3 | 7.1 | 379.2 | 6.4 |
| ASLYt-13-7 | 109.97 | 227.63 | 0.48 | 0.054 72 | 0.000 405 | 0.454 97 | 0.009 079 | 0.060 64 | 0.001 161 | 466.7 | 16.7 | 380.8 | 6.3 | 379.5 | 7.1 |
| ASLYt-13-8 | 65.97 | 117.91 | 0.56 | 0.055 75 | 0.000 997 | 0.472 25 | 0.015 099 | 0.061 56 | 0.002 263 | 442.6 | 8.3 | 392.7 | 10.4 | 385.1 | 13.7 |
| ASLYt-13-9 | 74.94 | 136.04 | 0.55 | 0.054 43 | 0.001 707 | 0.462 89 | 0.018 708 | 0.061 71 | 0.001 170 | 387.1 | 70.4 | 386.3 | 13.0 | 386.0 | 7.1 |
| ASLYt-13-10 | 106.73 | 162.16 | 0.66 | 0.054 97 | 0.000 457 | 0.470 18 | 0.010 388 | 0.062 07 | 0.001 196 | 409.3 | 18.5 | 391.3 | 7.2 | 388.2 | 7.3 |
| ASLYt-13-11 | 32.16 | 74.94 | 0.43 | 0.054 94 | 0.001 467 | 0.471 00 | 0.026 322 | 0.062 12 | 0.002 672 | 409.3 | 63.9 | 391.9 | 18.2 | 388.5 | 16.2 |
| ASLYt-13-12 | 43.94 | 70.41 | 0.62 | 0.054 65 | 0.000 286 | 0.474 00 | 0.008 262 | 0.062 98 | 0.001 265 | 398.2 | 11.1 | 393.9 | 5.7 | 393.7 | 7.7 |
| ASLYt-13-13 | 246.54 | 248.63 | 0.99 | 0.054 62 | 0.000 585 | 0.466 55 | 0.008 951 | 0.062 16 | 0.001 251 | 398.2 | 24.1 | 388.8 | 6.2 | 388.8 | 7.6 |
| ASLYt-13-14 | 56.68 | 130.31 | 0.43 | 0.055 67 | 0.001 136 | 0.481 04 | 0.014 749 | 0.062 84 | 0.001 938 | 438.9 | 44.4 | 398.8 | 10.1 | 392.9 | 11.8 |
| ASLYt-13-15 | 325.15 | 534.83 | 0.61 | 0.054 77 | 0.000 613 | 0.470 67 | 0.013 032 | 0.062 35 | 0.001 348 | 466.7 | 25.9 | 391.7 | 9.0 | 389.9 | 8.2 |
| ASLYt-13-16 | 171.85 | 163.02 | 1.05 | 0.056 40 | 0.001 071 | 0.483 61 | 0.017 125 | 0.062 40 | 0.002 284 | 477.8 | 38.0 | 400.5 | 11.7 | 390.2 | 13.9 |
| ASLYt-13-17 | 44.53 | 97.33 | 0.46 | 0.054 55 | 0.001 486 | 0.476 30 | 0.023 901 | 0.063 56 | 0.003 094 | 394.5 | 61.1 | 395.5 | 16.4 | 397.2 | 18.8 |
| ASLYt-13-18 | 60.91 | 116.74 | 0.52 | 0.055 91 | 0.000 647 | 0.488 52 | 0.028 297 | 0.063 57 | 0.004 075 | 450.0 | 27.8 | 403.9 | 19.3 | 397.3 | 24.7 |
| ASLYt-13-19 | 559.39 | 478.00 | 1.17 | 0.056 46 | 0.001 472 | 0.492 98 | 0.023 451 | 0.063 27 | 0.001 634 | 472.3 | 57.4 | 406.9 | 16.0 | 395.5 | 9.9 |

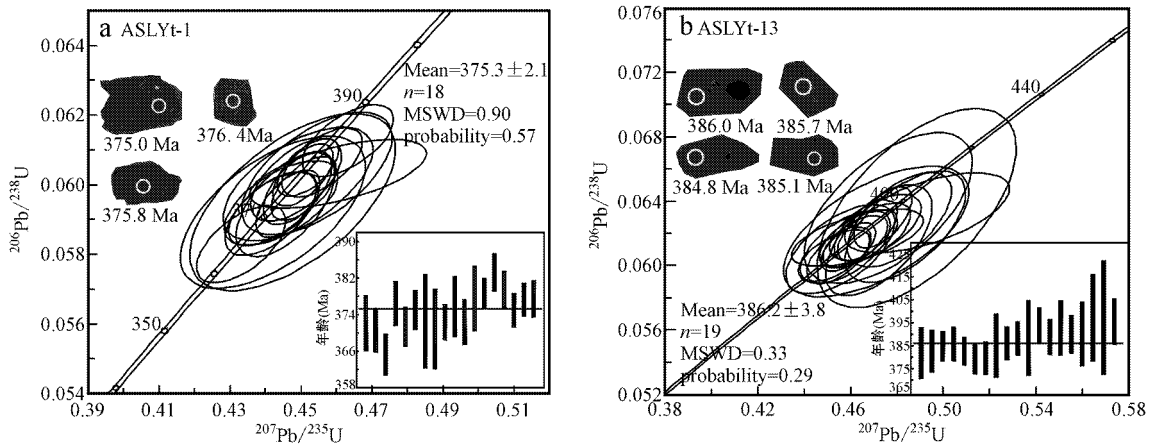


图 2 阿舍勒铜矿区英云闪长岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谐和图

Fig. 2 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagrams of tonalite from the Ashele Cu-Zn deposit

4 地球化学

本研究采集了阿舍勒盆地 3 件英云闪长岩和 6 件似斑状英云闪长岩样品进行地球化学分析。它们的主量元素、微量元素和稀土元素测试在国家地质实验测试中心完成,结果列于表 2。主量元素采用熔片 XRF 方法(国家标准 GB/T14506.28-1993 监控)在 X 荧光光谱仪 3080E 上测定,其中 FeO 采用容量滴定法(国家标准 GB/T14506.13-1993 监控),稀土和微量元素先采用 Teflon 熔样罐进行熔样,然后采用 Finnigan MAT 公司生产的双聚焦高分辨 ICP-MS 进行测定(标准 DZ/T 0223-2001 监控),相对标准偏差优于 5%。

4.1 主量元素

岩石化学分析结果(表 2)显示,英云闪长岩具有高硅($\text{SiO}_2 = 74.72\% \sim 77.72\%$)含量,中等的铝($\text{Al}_2\text{O}_3 = 12.06\% \sim 13.5\%$)和全碱含量($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 5.84\% \sim 6.59\%$),低 P_2O_5 ($< 0.04\%$)和 CaO ($0.34\% \sim 1.65\%$)含量,富钠质($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 3.3 \sim 10.9$)。铝饱和指数较高($A/\text{CNK} = 1.10 \sim 1.18$),在强过铝质花岗岩的划分标准之内($A/\text{CNK} > 1.1$)。在 $A/\text{NK} - A/\text{CNK}$ 图解中位于过铝质岩区(图 3),但较一般的强过铝质花岗岩的 Al_2O_3 含量偏低。所有样品在 $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ 图解上位于低钾拉斑质系列岩区(图 4)。因此该英云闪长岩属低钾过铝质岩石。

4.2 微量和稀土元素

细中粒英云闪长岩稀土总量变化于 $54.84 \times$

$10^{-6} \sim 116 \times 10^{-6}$ 之间, $\text{LREE}/\text{HREE} = 2.45 \sim 3.43$ (La/Yb) $_{\text{N}} = 2.30 \sim 3.52$ (La/Sm) $_{\text{N}} = 2.00 \sim 2.06$ (Gd/Yb) $_{\text{N}} = 0.88 \sim 1.39$; 细粒似斑状英云闪长岩稀土总量较低,变化于 $64.94 \times 10^{-6} \sim 94.77 \times 10^{-6}$ 之间, $\text{LREE}/\text{HREE} = 3.11 \sim 4.09$ (La/Yb) $_{\text{N}} = 2.64 \sim 3.85$ (La/Sm) $_{\text{N}} = 2.23 \sim 3.17$ (Gd/Yb) $_{\text{N}} = 0.85 \sim 1.07$ 。两者均具有显著铕负异常($\delta\text{Eu} = 0.47 \sim 0.54$, $\delta\text{Eu} = 0.49 \sim 0.81$),可能是母岩浆发生过较强的斜长石分离结晶作用或者部分熔融过程中有斜长石的残留。在稀土元素球粒陨石标准化配分模式图解(图 5a)上,所有样品具有相似的轻稀土相对富集的右倾型配分曲线,表明它们可能为同源岩浆活动产物。微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 5b)显示,所有样品均表现出近乎一致的分布模式,显示 Rb、Ba、Th、U、Pb、Zr、Hf 等的相对富集, Nb、Ta、Ti、Sr、P 相对亏损。表明源区岩石在部分熔融过程中有磷灰石、斜长石、角闪石和钛铁矿等矿物的残留或者在演化过程中发生了这些矿物的结晶分异。

5 讨论

5.1 岩浆来源及演化

阿舍勒铜矿区英云闪长岩具有高硅($\text{SiO}_2 = 74.72\% \sim 77.72\%$)、富钠贫钾($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 3.3 \sim 10.9$)和过铝质(A/CNK 均大于 1.1)的特点,属低钾过铝质岩石。前人研究表明,过铝质花岗岩主要形成于地壳物质的部分熔融过程(Green, 1995)。所有样品的 Nb/Ta 比值(11.0~13.3)和 Zr/Hf 比值

表 2 阿舍勒铜锌矿区英云闪长岩的主量($w_B/\%$)、微量($w_B/10^{-6}$)元素组成
 Table 2 Major($w_B/\%$) and trace($w_B/10^{-6}$) element data for tonalite in the Ashele Cu-Zn deposit

| 样品编号 | 细中粒英云闪长岩 | | | 细粒似斑状英云闪长岩 | | | | | |
|--------------------------------|----------|----------|----------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | ASLYt-03 | ASLYt-04 | ASLYt-05 | ASLYt-15 | ASLYt-16 | ASLYt-17 | ASLYt-18 | ASLYt-19 | ASLYt-20 |
| SiO ₂ | 77.47 | 77.72 | 77.65 | 74.86 | 74.72 | 75.68 | 76.25 | 77.55 | 76.1 |
| TiO ₂ | 0.14 | 0.16 | 0.15 | 0.24 | 0.25 | 0.23 | 0.24 | 0.16 | 0.18 |
| Al ₂ O ₃ | 12.06 | 12.41 | 12.12 | 13.41 | 13.5 | 13.23 | 13.17 | 12.68 | 12.86 |
| Fe ₂ O ₃ | 1.02 | 1.28 | 1.19 | 0.81 | 1.54 | 1.56 | 1.27 | 0.15 | 0.97 |
| FeO | 0.99 | 0.52 | 0.52 | 1.24 | 0.74 | 0.56 | 0.56 | 0.7 | 0.56 |
| MnO | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.02 |
| MgO | 0.63 | 0.33 | 0.36 | 0.46 | 0.46 | 0.42 | 0.4 | 0.36 | 0.18 |
| CaO | 0.41 | 0.42 | 0.34 | 1.25 | 1.65 | 1.48 | 1.13 | 0.7 | 1.21 |
| Na ₂ O | 5.37 | 5.42 | 5.06 | 5.23 | 4.95 | 5.18 | 5.34 | 5.7 | 5.02 |
| K ₂ O | 0.65 | 1.01 | 1.53 | 0.88 | 0.89 | 0.73 | 0.79 | 0.52 | 1.19 |
| P ₂ O ₅ | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 |
| H ₂ O ⁺ | 0.68 | 0.22 | 0.22 | 0.86 | 0.76 | 0.56 | 0.62 | 0.52 | 0.8 |
| CO ₂ | 0.16 | 0.19 | 0.31 | 0.1 | 0.21 | 0.2 | 0.1 | 0.22 | 0.21 |
| LOI | 0.77 | 0.58 | 0.56 | 0.85 | 0.98 | 0.86 | 0.81 | 0.67 | 1.16 |
| Total | 100.42 | 100.31 | 100.05 | 100.26 | 100.73 | 100.75 | 100.75 | 99.97 | 100.48 |
| A/CNK | 1.18 | 1.16 | 1.15 | 1.14 | 1.12 | 1.11 | 1.13 | 1.14 | 1.10 |
| A/NK | 1.27 | 1.25 | 1.22 | 1.41 | 1.49 | 1.43 | 1.37 | 1.28 | 1.36 |
| Sc | 12.7 | 8.05 | 12.4 | 7 | 6.78 | 9.08 | 4.15 | 5.22 | 4.73 |
| V | 6.12 | 4.68 | 4.15 | 23.1 | 24.5 | 24.1 | 16.4 | 6.33 | 9.35 |
| Cr | 2.1 | 4 | 12.5 | 5.39 | 2.46 | 2.73 | 4.29 | 1.42 | 7.56 |
| Co | 1.94 | 1.92 | 0.61 | 3.16 | 3.02 | 3.08 | 3 | 1.56 | 2.56 |
| Ni | 1.72 | 2.05 | 5.63 | 3.24 | 2.07 | 2.16 | 2.55 | 1.54 | 4.08 |
| Cu | 9.53 | 3.4 | 4.95 | 3.67 | 3.34 | 3.94 | 4.39 | 5.26 | 4.31 |
| Zn | 24.9 | 27.5 | 20.3 | 33.8 | 31.4 | 33.2 | 33.3 | 18.3 | 17 |
| Ga | 14.1 | 13.1 | 13.4 | 13.3 | 13.3 | 14.1 | 12.1 | 10.8 | 12.2 |
| Sr | 46.7 | 30.5 | 37.1 | 127 | 143 | 159 | 99.8 | 56.9 | 65.5 |
| Rb | 10.4 | 12.4 | 17.7 | 15.1 | 16.2 | 14.7 | 14.5 | 9.93 | 20.8 |
| Ba | 181 | 354 | 329 | 191 | 182 | 167 | 136 | 103 | 285 |
| Th | 4.37 | 3.06 | 4.2 | 4.25 | 4.54 | 5.12 | 3.22 | 5.17 | 5.17 |
| U | 0.8 | 1.26 | 0.76 | 0.92 | 0.92 | 1.01 | 0.88 | 0.98 | 1.37 |
| Ta | 0.42 | 0.53 | 0.45 | 0.36 | 0.37 | 0.39 | 0.36 | 0.5 | 0.44 |
| Nb | 5.58 | 6.3 | 5.23 | 4.43 | 4.4 | 4.8 | 4.72 | 5.5 | 5.62 |
| Zr | 178 | 157 | 157 | 132 | 130 | 130 | 243 | 135 | 171 |
| Hf | 4.95 | 4.99 | 4.61 | 4.09 | 3.88 | 3.93 | 6.07 | 4.43 | 5.11 |
| Pb | 2.29 | 2.41 | 2.95 | 4.91 | 6.05 | 5.47 | 4.1 | 3.43 | 5.37 |
| Y | 41 | 27.9 | 40.2 | 32 | 32.5 | 40.9 | 27.7 | 31.2 | 34.2 |
| La | 19.1 | 9.19 | 9.8 | 13.6 | 16.2 | 15.9 | 11.3 | 15.6 | 18.7 |
| Ce | 35.4 | 13.1 | 33.2 | 28.6 | 31.8 | 28.9 | 21.3 | 27.8 | 28 |
| Pr | 5.87 | 2.79 | 5.78 | 3.74 | 4.73 | 4.59 | 2.87 | 4.2 | 4.83 |
| Nd | 23.4 | 11 | 23.7 | 14.3 | 18.3 | 17.6 | 10.9 | 15.3 | 17.4 |
| Sm | 6.05 | 2.88 | 6.4 | 3.75 | 4.64 | 4.6 | 2.76 | 3.69 | 3.81 |
| Eu | 0.92 | 0.47 | 1.16 | 0.71 | 0.82 | 0.9 | 0.78 | 0.6 | 0.68 |
| Gd | 5.99 | 3.05 | 6.75 | 3.88 | 4.27 | 4.63 | 3.16 | 3.75 | 3.61 |
| Tb | 1.01 | 0.57 | 1.09 | 0.67 | 0.74 | 0.84 | 0.53 | 0.67 | 0.64 |
| Dy | 6.79 | 4.05 | 6.6 | 4.43 | 4.74 | 5.62 | 3.67 | 4.4 | 4.18 |
| Ho | 1.39 | 0.93 | 1.36 | 0.95 | 1.01 | 1.28 | 0.85 | 0.99 | 0.94 |
| Er | 4.46 | 3.1 | 4.11 | 3.11 | 3.24 | 4.08 | 2.84 | 3.17 | 3.22 |
| Tm | 0.63 | 0.42 | 0.56 | 0.47 | 0.46 | 0.58 | 0.42 | 0.48 | 0.46 |
| Yb | 4.33 | 2.86 | 4.03 | 3.22 | 3.3 | 4.01 | 3.07 | 3.28 | 3.48 |
| Lu | 0.66 | 0.43 | 0.6 | 0.54 | 0.52 | 0.66 | 0.49 | 0.53 | 0.57 |
| ∑REE | 116 | 54.84 | 115.14 | 81.97 | 94.77 | 94.19 | 64.94 | 84.46 | 90.52 |
| LREE/HREE | 3.43 | 2.45 | 3.38 | 3.56 | 3.96 | 3.17 | 3.11 | 3.73 | 4.09 |
| (La/Yb) _N | 3.16 | 2.30 | 3.52 | 3.03 | 3.52 | 2.84 | 2.64 | 3.41 | 3.85 |
| (La/Sm) _N | 2.04 | 2.06 | 2.00 | 2.34 | 2.25 | 2.23 | 2.64 | 2.73 | 3.17 |
| (Gd/Yb) _N | 1.14 | 0.88 | 1.39 | 1.00 | 1.07 | 0.96 | 0.85 | 0.95 | 0.86 |
| δEu | 0.47 | 0.48 | 0.54 | 0.57 | 0.56 | 0.60 | 0.81 | 0.49 | 0.56 |
| Zr/Sm | 29.42 | 54.51 | 24.53 | 35.20 | 28.02 | 28.26 | 88.04 | 36.59 | 44.88 |

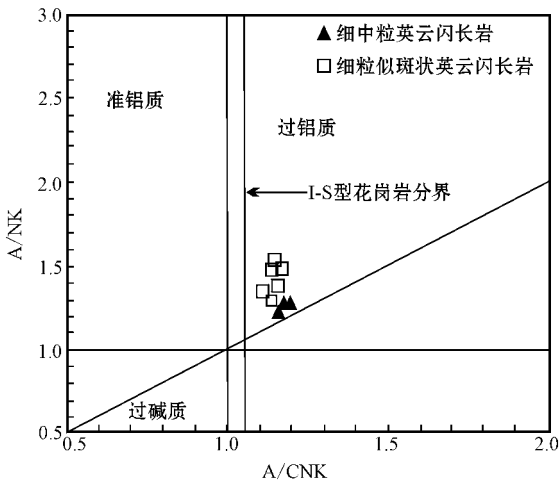


图 3 阿舍勒铜矿区英云闪长岩的 A/NK - A/CNK 图解 (据 Maniar and Piccoli, 1989)

Fig. 3 A/NK versus A/CNK plot of tonalite from the Ashele Cu-Zn deposit (after Maniar and Piccoli, 1989)
 $A/CNK = Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$ (摩尔比, molar proportion),
 $A/NK = Al_2O_3 / (Na_2O + K_2O)$ (摩尔比, molar proportion)

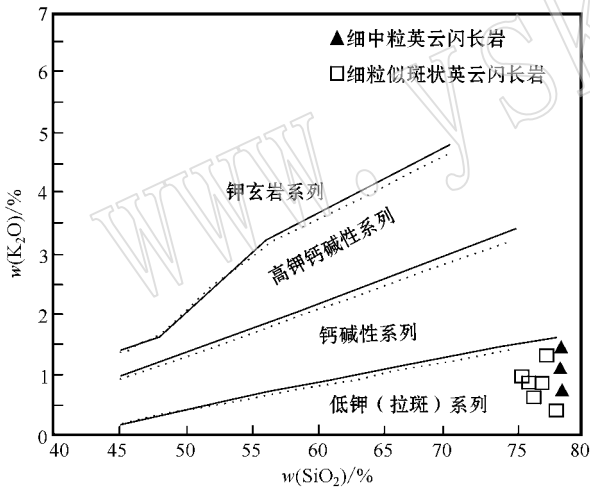


图 4 阿舍勒铜矿区英云闪长岩的 K₂O - SiO₂ 图解 (据 Rickwood, 1989)

Fig. 4 Whole-rock K₂O versus SiO₂ diagram of tonalite from the Ashele Cu-Zn deposit (after Rickwood, 1989)

(31.5~40)与地壳的相应元素比值 11 和 33 接近,大多数样品的 Th/Ta 比值(5.8~13.1)与上地壳的 Th/Ta 比值(约为 10)较为接近(McDonough and Sun, 1995),它们的 Si(30.5 × 10⁻⁶~159 × 10⁻⁶)和 Al₂O₃(12.06%~13.5%)含量低,岩石的 Ti/Zr < 20(4.7~11.5)表明为典型的陆壳岩石部分熔融的产物(Wilson, 1989; Francalanci et al., 1993)。所有岩石具有明显的 Eu 负异常,强烈亏损 Sr、P 和 Ti 等

元素,它们的 Zr/Sm > 10(28.0~88.0)以及高 Yb(2.86 × 10⁻⁶~4.03 × 10⁻⁶)含量,表明源区矿物相中有斜长石、磷灰石和角闪石残留(Lightfoot et al., 1987)。

5.2 构造环境

前人对于阿舍勒盆地内岩浆活动的研究主要集中在阿舍勒铜锌矿床的赋矿地层的火山岩,如宋国学等(2010)认为阿舍勒组火山岩是早泥盆世(408 Ma)岩浆活动的产物;陈毓川等(1996)、王登红(1996b)、牟传龙等(1996)认为阿舍勒组火山岩形成于陆缘裂谷环境;牛贺才等(2006)、高珍权等(2010)和 Wan 等(2010)认为阿舍勒组地层中的火山岩形成于岛弧环境。本研究英云闪长岩的 Yb < 5 × 10⁻⁶, Ta < 1 × 10⁻⁶, Ta/Yb < 0.5(0.10~0.19), Th >> Ta(Th/Ta = 5.8~13.1),明显亏损 Ti、P、Sr、Ba,具有 Nb、Ta 的负异常和显著的 Eu 负异常(δEu = 0.46~0.80),富集 Th、U、Pb 和轻稀土元素,与俯冲带有关的岛弧岩浆岩地球化学特点一致(Condie, 1986)暗示其形成与俯冲带关系密切。在 Nb - Y 和 Ta - Yb 图解(图 6)中,所有样品位于火山弧+同碰撞花岗岩和火山弧花岗岩内,说明阿舍勒铜矿区的英云闪长岩应是早-中泥盆世俯冲带环境的产物。

本研究的英云闪长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄介于 375~386 Ma 之间,与阿舍勒盆地内的石英闪长岩(378.5 ± 0.9 Ma)、阿舍勒组变英安质凝灰岩(378.4 ± 1.6 Ma)和石英角斑岩(384.6 ± 3.5 Ma)(另文发表)、流纹岩(375 ± 3 Ma)(Wan et al., 2011)具有相同的形成年龄,因此它们与阿尔泰造山带南缘众多的花岗质岩体同属早-中泥盆世岩浆活动的产物。近年来,众多学者利用各种不同的定年方法对阿尔泰造山带南缘广布的花岗质岩石进行了精确的年代学研究,认为 380 Ma 左右是该区岩浆活动较为重要的时期,如由北西至南东分布有哈巴河岩体(376 ± 5 Ma, Cai et al., 2010)、布尔津岩体(381 ± 4 Ma, Sun et al., 2006)、塔尔浪黑云母花岗岩体(382 ± 5 Ma, Yuan et al., 2007)、铁列克岩体(童英等, 2005)、两棵树岩体(376.7 ± 1.3 Ma, 姜丽萍等, 2011)、乌里奇花岗岩闪长岩(375 ± 1 Ma, Wang et al., 2006)、蒙库铁矿片区麻状黑云母花岗岩(378 ± 7 Ma, Xu et al., 2010)、乌吐布拉克英云闪长岩体(386~388 Ma, 张志欣等, 2011)等。并且越来越多的研究表明,此时的阿尔泰造山带南缘处于活动大陆边缘的构造环境(张海祥等, 2004; 童英

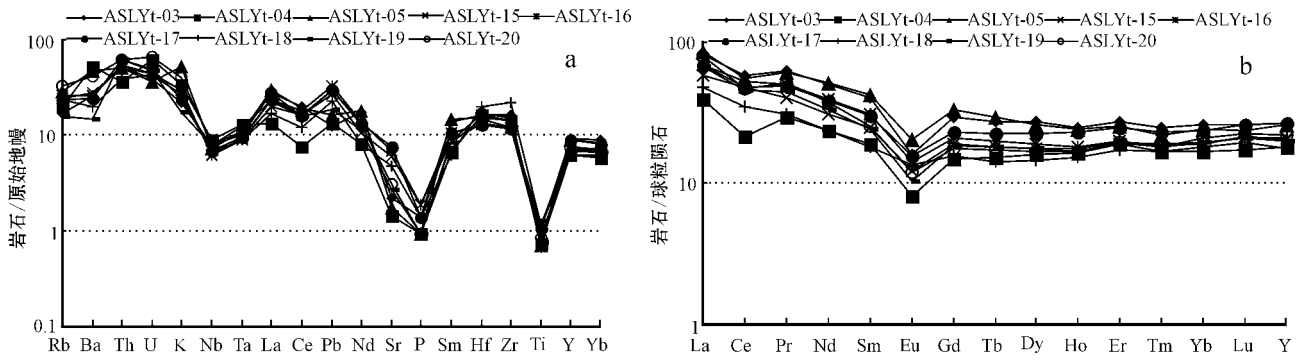


图 5 阿舍勒铜锌矿区英云闪长岩的稀土元素配分模式图 (a) 和微量元素原始地幔配分模式图 (b) (原始地幔和球粒陨石值据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized trace elements patterns (b) of tonalite from the Ashele Cu-Zn deposit (primitive mantle-normalized values and chondrite-normalized values after Sun & McDonough, 1989)

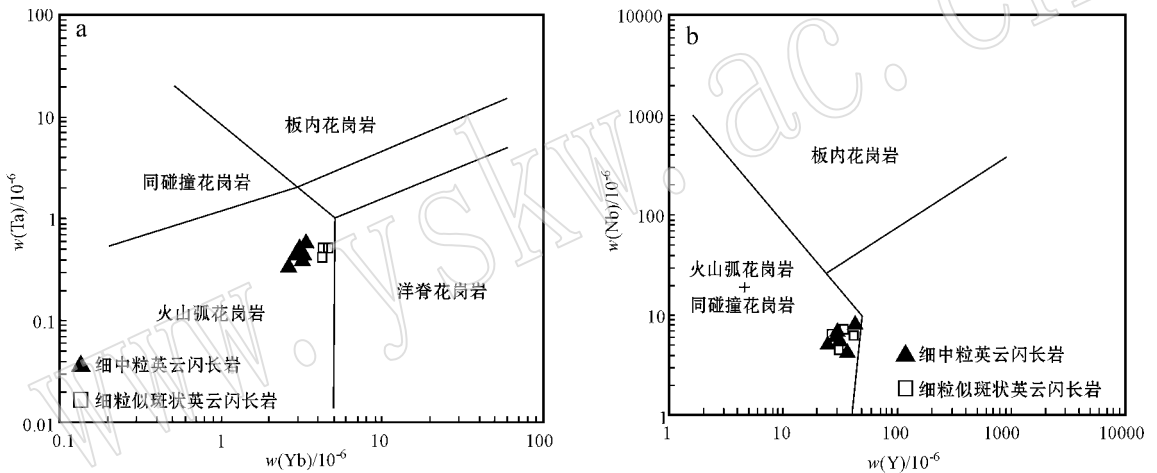


图 6 阿舍勒铜锌矿区英云闪长岩 Ta-Yb 和 Nb-Y 图解 (据 Pearce 等, 1984)

Fig. 6 Ta-Yb and Nb-Y diagrams of tonalite from the Ashele Cu-Zn deposit (after Pearce *et al.*, 1984)

等, 2007; Wang *et al.*, 2006; 刘锋等, 2009; 孙敏等, 2009; 王毓婧等, 2010)。

结合本研究和近年来前人的研究成果, 阿舍勒盆地英云闪长岩形成于与板块俯冲有关的岛弧环境, 为陆壳岩石部分熔融的产物。

6 结论

(1) 阿舍勒铜锌矿区英云闪长岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 加权平均年龄分别为 375.3 ± 2.1 Ma 和 386.2 ± 3.8 Ma, 表明该岩体是早泥盆世晚期—中泥盆世早期岩浆活动的产物;

(2) 岩石具有高硅、富钠贫钾、过铝质特征, 富集轻稀土元素和 Th、U、Pb、Zr、Hf, 亏损 Nb、Ta、Sr、

P 和 Ti, 强烈的 Eu 负异常, 是陆壳岩石部分熔融的产物;

(3) 阿舍勒铜锌矿区英云闪长岩是形成于板块俯冲有关的活动大陆边缘环境。

致谢 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地质科工作人员的大力支持和帮助, 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测试过程中得到了侯可军先生的大力支持, 在此一并致以衷心的感谢。

References

Cai Keda, Sun Min, Yuan Chao, *et al.* 2010. Geochronological and

- geochemical study of mafic dykes from northwest Chinese Altai : Implications for petrogenesis and tectonic evolution[J]. *Gondwana Research* , 18 : 638~652.
- Chen Yuchuan , Ye Qingtong , Feng Jing , *et al.* 1996. Ore-forming Conditions and Metallogenic Prognosis of the Ashele Copper-zinc Metallogenic Belt , Xinjiang , China[M]. Beijing : Geological Publishing House , 1~330(in Chinese with English abstract).
- Condie K C. 1986. Geochemistry and tectonic setting of early proterozoic supercrustal rocks in the southwestern United States[J]. *Journal of Geology* , 94 : 845~864.
- Franalanci L , Taylor S R and McCulloch M T. 1993. Geochemical and isotopic variations in the calcalkaline rocks of Aeolian arc , southern Tyrrhenian Sea , Italy : constraints on magma genesis[J]. *Contrib. Mineral. Petrol.* , 113 : 300~313.
- Gao Zhenquan , Fang Weixuan , Hu Ruizhong , *et al.* 2010. Geochemical characteristics and tectonic setting and of acidic volcanic rocks in Ashele copper deposit , Xinjiang[J]. *Mineral Exploration* , 29(2) : 219~228(in Chinese with English abstract).
- Green T H. 1995. Significance of Nb/Ta as an indicator of geochemical process in the crust-mantle system[J]. *Chemical Geology* , 120 : 347~359.
- He Guoqi , Li Maosong , Li Dequan , *et al.* 1994. Paleozoic Crustal Evolution and Mineralization in Xinjiang , China[M]. Urumqi : Xinjiang People's Publishing House , 1~437(in Chinese).
- Hou Kejun , Li Yanhe and Tian Yourong. 2009. In situ U-Pb zircon dating using laser ablation-multi ion counting LA-ICP-MS[J]. *Mineral Deposits* , 28(4) : 481~492(in Chinese with English abstract).
- Jia Qunzi. 1996. Geological characteristics and metallogenic environment of the Ashele volcanogenic massive sulfide deposit , Xinjiang[J]. *Mineral Deposits* , 15(3) : 267~278(in Chinese with English abstract).
- Jiang Liping , Chai Fengmei , Yang Fuquan , *et al.* 2011. LA-ICP-MS U-Pb Age of the Monzonitic Granite from Liangkeshu Iron Deposit and Its Geological Implications in Altay , Xinjiang[J]. *Geoscience-Journal of Graduate School , China University of Geoscience* , 25(4) : 712~719(in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi , Xiao Wenjiao , Wang Kezhao , *et al.* 2003. Neoproterozoic-Paleozoic tectonostratigraphy , magmatic activities and tectonic evolution of eastern Xinjiang , NW China. Tectonic evolution and metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan[A]. Mao Jingwen , Goldfarb R J , Seltman R , *et al.* 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[C]. IAGOD Guidebook Series 10 : Cercama/NHM London , 31~74.
- Lightfoot P C , Hawkesworth C J and Sethna S F. 1987. Petrogenesis of rhyolites and trachytes from the Deccan trap : Sr , Nd and Pb isotope and trace element evidence[J]. *Contrib. Mineral. Petrol.* , 95(1) : 44~54.
- Liu Feng , Yang Fuquan , Mao Jingwen , *et al.* 2009. Study on chronology and geochemistry for Abagong granite in Altay orogen[J]. *Acta Petrologica Sinica* , 25(6) : 1416~1425(in Chinese with English abstract).
- Liu Y S , Hu Z C , Gao S , *et al.* 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard. *Chemical Geology* , 257 : 34~43.
- Ludwig K R. 2001. Users manual for Isoplot/Ex rev. 2.49[J]. Berkeley Geochronology Centre Special Publication , 1~56.
- Maniar P D and Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids[J]. *Geological Society of American Bulletin* , 101 : 635~643.
- McDonough W F and Sun S S. 1995. The composition of the earth[J]. *Chemical Geology* , 120 : 223~253.
- Mu Chuanlong , Liu Baojun , Zhu Xiaozhen , *et al.* 1996. Tectonic setting and evolution of the Devonian volcanic sedimentary basin in the Ashele-Chonghur region , Xinjiang[J]. *Tethyan Geology* , 20 : 70~84(in Chinese with English abstract).
- Niu Hecai , Xu Jifeng , Yu Xueyuan , *et al.* 1999. Discovery of rich-Mg volcanic rock series and its geological implication[J]. *Chinese Science Bulletin* , 44 : 1002~1004(in Chinese with English abstract).
- Niu Hecai , Yu Xueyuan , Xu Jifeng , *et al.* 2006. Late Paleozoic Volcanism and Associated Metallogenesis in the Altay Area , Xinjiang , China[M]. Beijing : Geological Publishing House , 1~184(in Chinese with English abstract).
- Pearce J A , Harris N B L and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *Journal of Petrology* , 25 : 956~983.
- Rickwood P C. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides major and minor elements[J]. *Lithos* , 22 : 247~263.
- Rubatto D. 2002. Zircon trace element geochemistry : Partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism[J]. *Chemical Geology* , 184 : 123~138.
- Sengor A M C , Natalin B A and Burtman V S. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia[J]. *Nature* , 364(22) : 299~307.
- Song Guoxue , Qin Kezhang , Liu Tiebing , *et al.* 2010. The U-Pb ages , Hf isotope and REE patterns of older zircons from Devonian volcanic rocks in Ashele basin on the southern margin of Altai orogen and its geological significance[J]. *Acta Petrologica Sinica* , 26(10) : 2946~2958.
- Sun Min , Yuan Chao , Xiao Wenjiao , *et al.* 2006. Granitic gneisses and gneissic granites from the Central Terrane of the Chinese Altai Orogen : Zircon ages and tectonic significance[J]. *Eos Trans , AGU* , 87(36) , West. Pac. Geophys. Meet. Suppl. , Abstract V25A-06.
- Sun Min , Long Xiaoping , Cai Keda , *et al.* 2009. Early Paleozoic ridge subduction in the Chinese Altai : Insight from the abrupt change in Zircon Hf isotopic composition[J]. *Science China Earth Sciences* , 39(7) : 935~948(in Chinese).

- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts : implications for mantle composition and processes [J]. Geological Society Special Publication , 42 : 313~345.
- Tong Ying , Wang Tao , Hong Dawei , *et al.* 2005. Zircon U-Pb age of syn-orogenic Tielieke Pluton in the Western part of Altay Orogenic Belt and its structural implications [J]. Acta Geoscientia Sinica , 26 (sup.) : 74~77 (in Chinese with English abstract).
- Tong Ying , Wang Tao , Hong Dawei , *et al.* 2007. Ages and origin of the early Devonian granites from the north part of Chinese Altai Mountains and its tectonic implication [J]. Acta Petrologica Sinica , 23 (8) : 1 933~1 944 (in Chinese with English abstract).
- Wan Bo , Xiao Wenjiao , Zhang Lianchang , *et al.* 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 , 168 : 1 311~1 321.
- Wan Bo , Zhang Lianchang and Xiang Peng. 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.
- Wang Denghong. 1996a. Sulfur and lead isotopic geochemistry of the Ashele volcanogenic massive sulfide deposit , Xinjiang , China [J]. Geochemical , 25 (6) : 1 582~1 590 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong. 1996b. Devonian bimodal rocks and metallotectonic environment of the Ashele copper district in Xinjiang [J]. Geological Review , 42 (1) : 145~153 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong , Chen Yuchuan , Xu Zhigang , *et al.* 2002. Metallogenic series and regularities in Altai metallogenic province [J]. Beijing : Atomic Energy Press , 1~493 (in Chinese with English abstract).
- Wang Tao , Hong Dawei , Jahn B M , *et al.* 2006. Timing , petrogenesis , and setting of Paleozoic synorogenic intrusions from the Altai Mountains , Northwest China : implications for the tectonic evolution of an accretionary orogen [J]. The Journal of Geology , 114 : 735~751.
- Wang Tao , Hong Dawei , Tong Ying , *et al.* 2005. Zircon U-Pb SHRIMP age and origin of post-orogenic Lamazhao granitic pluton from Altai orogen : its implications for continental growth [J]. Acta Petrologica Sinica , 21 (3) : 640~650 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yujing , Yuan Chao , Long Xiaoping , *et al.* 2010. The Kanasi potassic magnesian-rich dacites , Altai , northwestern Chinese : Metasomatism by the melts of subducted sediment [J]. Chinese Journal of Geology , 45 (1) : 12~20 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zhonggang , Zhao Zhenhua , Zou Tianren , *et al.* 1998. Geochemistry of the Granitoids in Altay [M]. Beijing : Science Press , 1~152 (in Chinese with English abstract).
- Wilson M. 1989. Igneous petrogenesis [J]. London : Unwin Hyman Press , 295~323.
- Windley B F , Kroener A , Guo J , *et al.* 2002. Neoproterozoic to Paleozoic geology of the Altai Orogen , NW China : new zircon age data and tectonic evolution [J]. Journal of Geology , 110 (6) : 719~737.
- Xiao Wenjiao , Han Chunming , Yuan Chao , *et al.* 2008. Middle Cambrian to Permian subduction-related accretionary orogenesis of Northern Xinjiang , NW China : implications for the tectonic evolution of central Asia [J]. Journal of Asian Earth Sciences , 32 : 102~117.
- Xiao Wenjiao , Huang B C , Han Chunming , *et al.* 2010. A review of the western part of the Altaids : A key to understanding the architecture of accretionary orogen [J]. Gondwana Research , 18 : 253~273.
- Xiao Wenjiao , Kröner A and Windley B F. 2009. Geodynamic evolution of Central Asia in the Paleozoic and Mesozoic [J]. International Journal of Earth Sciences 98 (6) : 1 185~1 188.
- Xiao Wenjiao , Windley B F , Badarch G , *et al.* 2004. Palaeozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altaids : implications for the growth of Central Asia [J]. London : Journal of the Geological Society , 161 : 339~342.
- Xiao Xuchang , Tang Yaoqing , Feng Yimin , *et al.* 1992. Tectonic Evolution of Northern Xinjiang and Its Adjacent Regions [M]. Beijing : Geological Publishing House , 1~169 (in Chinese with English abstract).
- Xu Lingang , Mao Jingwen , Yang Fuquan , *et al.* 2010. Geology , geochemistry and age constraints on the Mengku skarn iron deposit in Xinjiang Altai , NW China [J]. Journal of Asian Earth Sciences , 39 : 423~440.
- Ye Qingtong , Fu Xujie and Zhang Xiaohua. 1997. Geological characteristics and genesis of the Ashele copper-zinc massive sulfide deposit , Xinjiang [J]. Mineral Deposits , 16 (2) : 96~106 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Chao , Sun Ming , Xiao Wenjiao , *et al.* 2007. Accretionary orogenesis of the Chinese Altai : Insights from Paleozoic granitoids [J]. Chemical Geology , 242 : 22~39.
- Zhang Haixiang , Niu Hecai , Shan Qiang , *et al.* 2004. Late Paleozoic adakite and Nb-enriched basalt from Northern Xinjiang : Evidence for the Southward subduction of the Paleo-Asian ocean [J]. Geological Journal of China Universities , 10 (1) : 106~113 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhixin , Yang Fuquan , Chai Fengmei , *et al.* 2011. Study on chronology and genesis of granite in the Wutubulake iron deposit district , Southern margin of Altay [J]. Geological Review , 57 (3) : 350~366 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhenhua , Wang Zhonggang , Zou Tianren , *et al.* 1993. The REE , isotopic composition of O , Pb , Sr and Nd and petrogenesis of granitoids in the Altai region [A]. Tu G C. Progress of Solid-earth Sciences in Northern Xinjiang , China [C]. Beijing : Science Press , 239~266 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Yongfeng , Zeng Yishan and Gu Libing. 2006. Geochemistry of the rare metal-bearing pegmatite No. 3 vein and related granites in the

Keketuohai region, Altay Mountains, northwest China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 27: 61~77.

附中文参考文献

- 陈毓川, 叶庆同, 冯京, 等. 1996. 阿舍勒铜锌矿带成矿条件和成矿预测[M]. 北京: 地质出版社, 1~145.
- 高珍权, 方维萱, 胡瑞忠, 等. 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): 219~228.
- 何国琦, 李茂松, 李德权, 等. 1994. 中国新疆古生代地壳演化及成矿[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1~437.
- 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.
- 贾群子. 1996. 新疆阿舍勒块状硫化物矿床成矿特征及形成环境[J]. 矿床地质, 15(3): 267~278.
- 姜丽萍, 柴凤梅, 杨富全, 等. 2011. 新疆阿尔泰两棵树铁矿区二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石定年及地质意义[J]. 现代地质, 25(4): 712~719.
- 刘锋, 杨富全, 毛景文, 等. 2009. 阿尔泰山带阿巴宫花岗岩体年代学及地球化学研究[J]. 岩石学报, 25(6): 1416~1425.
- 牟传龙, 刘宝珺, 朱晓镇, 等. 1996. 新疆阿舍勒-冲乎尔地区泥盆纪火山沉积盆地大地构造背景及其演化[J]. 特提斯地质, 20: 70~84.
- 牛贺才, 许继锋, 于学元, 等. 1999. 新疆阿尔泰富镁火山岩系的发现及地质意义[J]. 科学通报, 09(25): 108~110.
- 牛贺才, 于学元, 许继峰, 等. 2006. 中国新疆阿尔泰晚古生代火山作用及成矿[M]. 北京: 地质出版社, 1~184.
- 宋国学, 秦克章, 刘铁兵, 等. 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.
- 孙敏, 龙晓平, 蔡克大, 等. 2009. 阿尔泰早古生代末期洋中脊俯冲: 锆石 Hf 同位素组成突变的启示[J]. 中国科学 D 辑: 地球科

学, 39(7): 935~948.

- 童英, 王涛, 洪大卫, 等. 2005. 阿尔泰山带西段同造山铁列克花岗岩体锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 地球学报, 26(增刊): 74~77.
- 童英, 王涛, 洪大卫, 等. 2007. 中国阿尔泰北部山区早泥盆世花岗岩的年龄、成因及构造意义[J]. 岩石学报, 23(8): 1933~1944.
- 王登红. 1996a. 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): 582~1590.
- 王登红. 1996b. 新疆阿舍勒铜矿区双峰式火山岩与成矿背景的初步研究[J]. 地质论评, 42(1): 145~153.
- 王登红, 陈毓川, 徐志刚, 等. 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.
- 王涛, 洪大卫, 童英, 等. 2005. 中国阿尔泰山带后造山喇嘛昭花岗岩体锆石 SHRIMP 年龄、成因及陆壳垂向生长意义[J]. 岩石学报, 21(3): 640~650.
- 王毓婧, 袁超, 龙晓平, 等. 2010. 阿尔泰喀纳斯早泥盆纪钾质富镁英安岩: 俯冲沉积物熔体交代[J]. 地质科学, 45(1): 12~29.
- 王中刚, 赵振华, 邹天人, 等. 1998. 阿尔泰山花岗岩类地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1~152.
- 肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 等. 1992. 新疆北部及邻区大地构造[M]. 北京: 地质出版社, 1~169.
- 叶庆同, 傅旭杰, 张晓华. 1997. 阿舍勒铜锌块状硫化物矿床地质特征和成因[J]. 矿床地质, 16(2): 96~106.
- 张海祥, 牛贺才, 单强, 等. 2004. 新疆北部晚古生代埃达克岩、富镁玄武岩组合: 古亚洲洋板块南向俯冲的证据[J]. 高校地质学报, 10(1): 106~113.
- 张志欣, 杨富全, 柴凤梅, 等. 2011. 阿尔泰山南缘乌图布拉克铁矿区花岗质岩石年代学及成因[J]. 地质论评, 57(3): 350~366.
- 赵振华, 王中刚, 邹天人, 等. 1993. 阿尔泰山花岗岩类 REE 及 O、Pb、Sr、Nd 同位素组成及成岩模型[A]. 涂光炽. 新疆北部固体地球科学新进展[C]. 北京: 科学出版社, 239~266.