

阿尔泰山南缘麦兹盆地康布铁堡组变质酸性火山岩年龄及岩石成因^{*}

柴凤梅¹ 杨富全² 刘 锋² 耿新霞² 张志欣² 陈 斌¹

(1. 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 830049;

2. 中国地质科学院矿产资源研究所 北京 100037)

摘 要 阿尔泰山南缘麦兹盆地康布铁堡组赋存有铁铅锌大、中型矿床,但该组火山岩的形成时代和岩石成因以及构造背景还没有形成一致的认识。本文对该组两个变质流纹岩样品进行了LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测定,获得其年龄分别为 410.5 ± 1.3 Ma 和 400.4 ± 2.1 Ma。岩石地球化学分析结果表明:所有酸性火山岩具有高硅(72.15%~81.26%),低铝(10.56%~14.87%)和钛(0.16%~0.27%),极低的 MgO(0.04%~0.14%)、CaO(0.04%~2.42%)和 TFeO(0.11%~1.64%)含量;在原始地幔标准化图上显示出 Ti、P、Sr、Ba、Nb 和 Ta 明显负异常,Th、U、Pb、Zr 和 Hf 的正异常,LREE 相对 HREE 略富集的特征,除个别样品外,大多数样品显示明显的 Eu 负异常($\delta\text{Eu}=0.48\sim0.91$)。结合其区域地质特征,认为本区变质酸性火山岩形成于活动大陆边缘环境,是玄武质岩浆底侵作用使下地壳发生了部分熔融后演化的产物。

关键词 变质酸性火山岩 地球化学 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年 阿尔泰山南缘

中图分类号: P588, P597

文献标识码: A

文章编号: 0563-5020(2012)01-221-19

1 引 言

泥盆纪是阿尔泰山造山带南缘火山活动的鼎盛时期,泥盆纪火山岩主要分布于造山带南缘的阿舍勒、冲乎尔、克朗和麦兹4个等间距、斜列式展布的火山—沉积盆地内。前人在这些火山岩的岩石组合、含矿特征及形成时代等方面作了大量研究(吴志亮,1992;于学元等,1993;吴志亮等,1996;李华芹等,2004),但是精确的年代学资料仍然显得较为缺乏(张进红等,2000;柴凤梅等,2009),对其形成的构造背景也存在有活动大陆边缘(牛贺才等,1999;Windley et al.,2002;Xu et al.,2003;Xiao et al.,2004;Yuan et al.,2007;Sun et al.,2008)和被动大陆边缘(韩宝福等,1991;陈毓川等,1996;王京彬等,1998)的争议,而且这些火山岩也是许多金属矿床(蒙库大型铁矿、可可塔勒大型铅锌矿、阿巴宫铁矿、克因布拉克铜锌矿)的主要赋矿岩石。此外,酸性火山岩也记录了大陆地壳形成、演化的重要信息。因此,研究阿尔泰山造山带南缘的泥盆纪火山岩不仅对于研究阿

^{*} 国家自然科学基金项目(编号:40863001)、“十一五”国家科技支撑计划项目(编号:2011BAB06B03-02,2006BAB07B02-01)和公益性行业科研专项(编号:201211073),新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(编号:2010211A08)和新疆大学“天山学者”特聘教授(陈斌)启动经费项目资助。

柴凤梅,女,1971年11月生,博士,教授,矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail: chaifengmei@163.com

2011-02-10 收稿,2011-10-20 改回。

尔泰造山带南缘的构造演化具有重要意义,对于该区金属矿床的找矿预测也具有一定的指导意义。

本文选择阿尔泰造山带南缘麦兹盆地内可可塔勒铅锌矿区和铁列克萨依铅锌矿区的变质流纹岩,利用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年方法,厘定其形成年龄;根据它们的地球化学特征,研究岩浆的形成机制,探讨其形成的大地构造背景和地球动力学意义,为阿尔泰南缘的构造演化提供新的信息,也为进一步探讨矿床形成时代和成因提供重要约束。

2 地质背景

中国阿尔泰造山带位于新疆北部,长约为 500 km,它是中亚造山带的重要组成部分,是由一系列块体、岛弧和增生杂岩构成的增生型造山带(Şengör et al.,1993; Xiao et al.,2004)。构造位置上处于西伯利亚板块和哈萨克斯坦—准噶尔板块接合部位。其北西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,南东与蒙古的戈壁阿尔泰相接,南西以额尔齐斯断裂与准噶尔相隔。带内主体构造格架呈北西—南东向,断裂发育,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)。

阿尔泰造山带南缘位于南阿尔泰块体(Li et al.,2003)。其内出露地层主要有下-中元古界克木齐群片麻岩、混合岩、大理岩,上元古界富蕴群片岩,泥盆系康布铁堡组变质火山—沉积岩、阿勒泰镇组浅变质沉积岩夹少量火山岩,也有少量志留系库鲁木提群混合岩、片岩。区域岩浆活动以加里东期和华力西期中酸性侵入岩为主,少量印支期—燕山期侵入岩。火山活动主要集中在泥盆纪,石炭纪火山活动仅有零星表现,石炭纪之后几乎未发生大规模火山活动。它也是我国重要的铜、铁、金、铅、锌等多金属成矿带之一(王登红等,2002),如可可塔勒大型铅锌矿、蒙库大型铁矿、克因布拉克中型铜锌矿等(图 1)。

麦兹盆地位于阿尔泰造山带南缘,呈北西—南东向展布,其北西—南东长约为 40 km,宽约为 10 km,由复式向斜组成,北东翼倒转,轴面倾向北东,两翼地层倾向一致(王书来等,2007)。盆地内出露的地层有中上志留统库鲁木提群混合岩、片岩,不整合其上的为下泥盆统康布铁堡组变质火山—沉积岩,中泥盆统阿勒泰镇组浅变质沉积岩。盆地内北西向压扭性断裂(巴塞、可依洛甫、沙热布拉克断裂)发育。麦兹向斜核部主要为阿勒泰镇组地层,两翼主要为康布铁堡组,且自南东至北西岩性有较大差异(刘玉琳,1996),向斜两翼的外侧分布有花岗岩岩株,向斜内见有基性—酸性岩岩脉。盆地内赋存有蒙库铁矿、阿什勒萨依铅锌铁矿、结别特铁铅锌矿、大桥铅锌铜矿、可可塔勒铅锌矿、铁列克萨依铅锌矿、阿克哈仁铅锌矿、什根特铅锌矿(图 1)。

3 样品描述及年代学

3.1 麦兹盆地康布铁堡组的地质特征和酸性火山岩岩相学特征

麦兹盆地康布铁堡组地层经历了华力西中晚期绿片岩相和低角闪岩相区域变质作用,主要为一套变质的基性—酸性火山岩(火山碎屑岩、熔岩)、陆源沉积岩和碳酸盐岩组

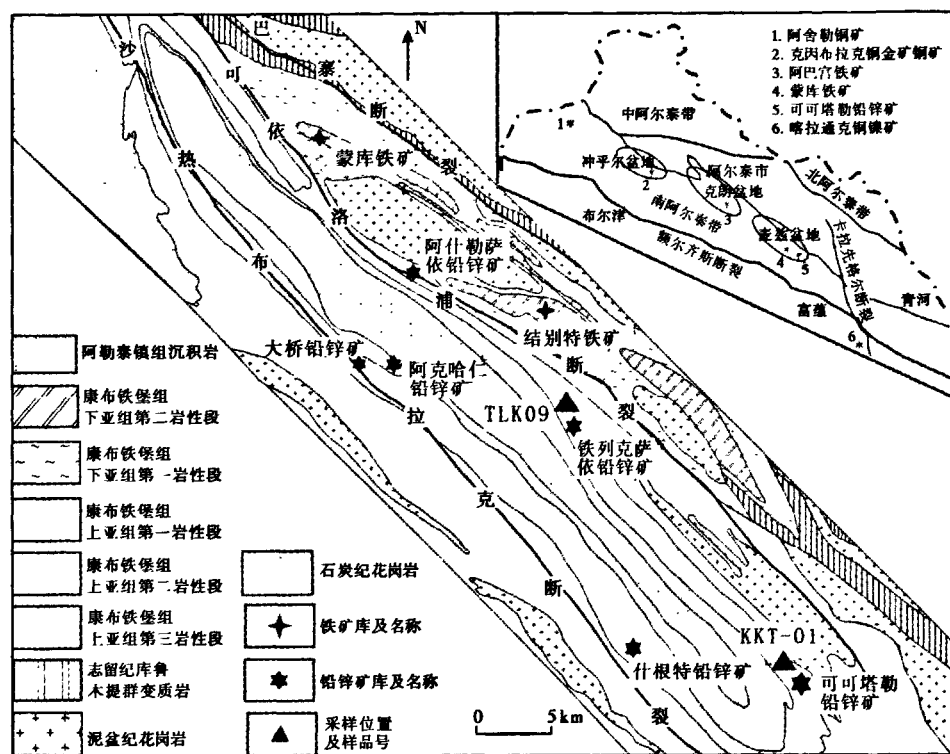


图1 阿尔泰山带南缘区域地质简图及麦兹盆地地质略图

(据王京彬等, 1998; Windley et al., 2002; Li et al., 2003; 王书来等, 2007 修改)

Fig. 1 Regional geological sketch maps of the southern margin of the Altay orogenic belt and geological sketch map of the Maizi Basin (modified from Wang et al., 1998; Windley et al., 2002; Li et al., 2003; Wang et al., 2007)

合。根据岩性特征可分为上下两个亚组, 其间呈断层接触, 下亚组主要由变质酸性火山碎屑岩夹基性火山碎屑岩、基性火山熔岩、砂泥质岩和碳酸盐岩组成, 不整合于下伏的上志留统库鲁木提群地层之上, 可分为两个岩性段, 其中第二岩性段为铁矿床(蒙库铁矿、结别特铁矿)的主要赋矿层位; 上亚组主要由变质流纹岩—变英安岩和流纹质火山碎屑岩—火山碎屑沉积岩—变砂泥质岩—碳酸盐岩组成, 可分为3个岩性段, 其中第二岩性段中部为铅锌矿床(可可塔勒铅锌矿等)的主要赋矿层位(焦学军等, 2006)。

麦兹盆地内可可塔勒地区以及铁列克萨依地区, 康布铁堡组地层出露的火山岩类型主要有变质流纹岩、变质火山角砾岩、变质集块岩、变质含角砾凝灰岩、变流纹质晶屑凝灰岩等。

火山集块岩呈浅灰或灰白色, 集块结构, 块状构造。集块呈不规则棱角状、透镜状, 大小不等, 集块具定向, 主要为酸性成分, 由熔岩胶结(图2A)。

变流纹质角砾岩呈浅灰、灰白色, 变余火山角砾结构, 块状构造。由粗火山角砾、岩屑、晶屑、玻屑和胶结物组成, 其中火山角砾呈棱角状、椭圆状、长扁豆状, 定向排列较明显(图2B)。

变质角砾凝灰岩呈灰、灰黑色, 变余凝灰结构, 块状构造。由角砾、晶屑、岩屑和重结

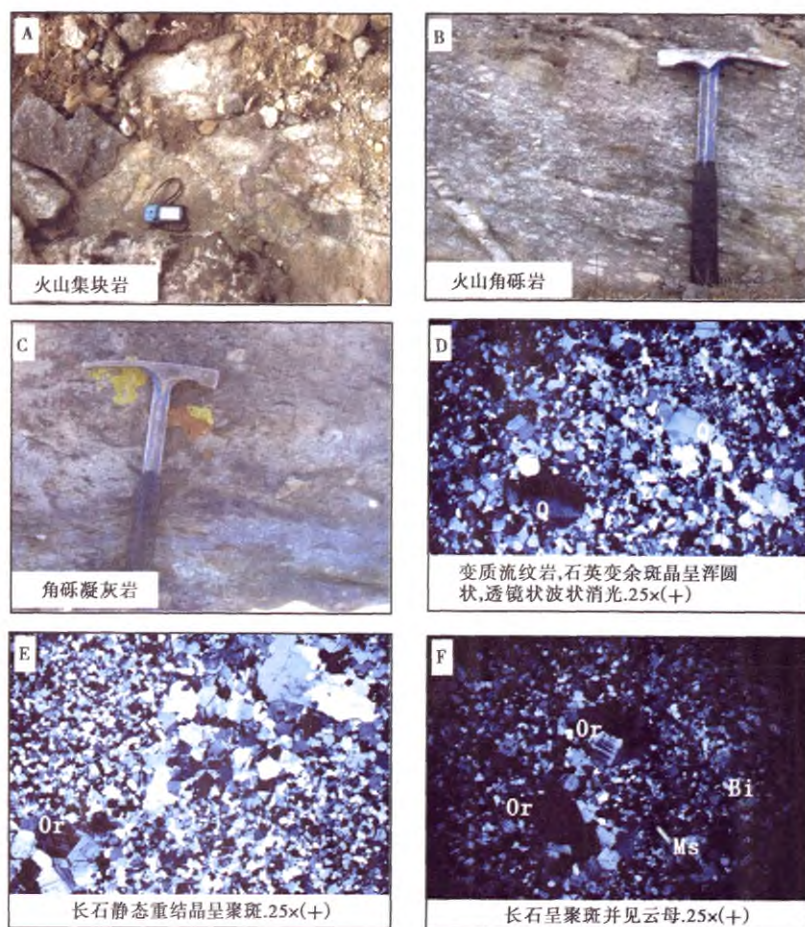


图 2 麦兹盆地康布铁堡组变质酸性火山岩照片

Fig. 2 Photographs of meta-felsic volcanic rocks from the Kangbutiebao Fm. in the Maizi Basin

晶的火山灰组成。其中角砾含量约为 20%~25%，主要为流纹质熔岩角砾，多呈棱角状、椭圆状，略具定向；岩屑主要为同成分的流纹质岩屑；晶屑为棱角状石英和长石组成（图 2C）。

变流纹质晶屑凝灰岩呈灰白色，变余凝灰结构，变余层纹构造，块状构造。晶屑主要为石英、长石，含量约为 10%~20%，大小约为 0.3~2 mm，表面多具碎裂纹，多数因熔蚀而常呈港湾状，少数呈尖棱角状，偶见自形一半自形者。长石主要为微斜长石，少量斜长石已发生粘土化。可见石英集合体呈长条状定向排列，胶结物均已发生了重结晶，呈细粒变晶结构，主要为长石（40%）、石英（40%）和黑云母（5%）等组成。

变质流纹岩呈灰白—灰红色，致密坚硬，碎块呈尖棱角状，总体呈层产出，层位稳定。变余斑状变晶结构，块状构造，局部见变流纹构造。变余斑晶主要由石英、钾长石组成，常呈聚斑状产出。石英斑晶常见裂纹或被熔蚀成港湾状而呈残余熔蚀结构，且可见石英斑晶定向排列（图 2D）；钾长石斑晶聚片双晶发育，并见有颗粒间呈 120°交角的钾长石

变斑晶(图 2E),其颗粒边界较为平直,表明其为静态重结晶的产物;整个岩石中偶见黑云母和白云母。基质主要为脱玻化的长英质集合体,具粒状变晶结构或鳞片微粒变晶结构,粒度一般为 0.05~0.12 mm,主要为石英,约占基质总量的 70%~75%,钾长石和斜长石在基质中较少,约占基质总量的 25%~30%,且钾长石变基质较斜长石变基质含量多,钾长石变基质主要为具明显格子状双晶的微斜长石(图 2F)。

3.2 麦兹盆地康布铁堡组地层年代学

麦兹盆地康布铁堡组地层时代,最早是由新疆 1:20 万区调工作组在变质砂岩夹层中采集到“一杯空”盘海绵 *Receptaculites* sp. cf. 化石,将其定为中-晚志留世,将含铁矿的层位定为早泥盆世。1976 年,新疆有色 706 队根据地层对比法将其定为早泥盆世。吴志亮(1992)根据地层中发现的外形酷似牙形石的微体化石,认为其属于早泥盆世的可能性较大;并且利用 Rb-Sr 全岩等时线法获得了康布铁堡组上亚组的变质年龄为 358 ± 9.9 Ma(晚泥盆世末期);根据前人获得的可可塔勒地区火山碎屑岩和凝灰质碎屑岩的 Pb 同位素分析数据,计算出它们的 Pb 同位素模式年龄为 405~395 Ma(早泥盆世晚期),认为该年龄代表了麦兹盆地康布铁堡组地层火山岩的形成年龄。2005 年新疆地质四大队在萨吾斯一带的变质砂岩中采集到 *Cyclonolites* sp.(圆圆海百合茎)及 *Fenestella* sp.(窗格苔藓虫)化石,认为该套地层应属早泥盆世。

为了更好的了解康布铁堡组地层的形成时代,本文选择了麦兹盆地康布铁堡组地层上亚组的两个样品(KKT-1 和 TLK-09)进行研究,具体采样位置见图 1。所有样品具有明显的变余斑状结构和变余流纹构造,故应为变质流纹岩(图 2D)。

测试年龄样品(约为 30 kg)经过严格的粉碎、重液分离和磁选,再在双目镜下挑选出晶形好、无裂隙、干净透明的锆石晶体。定年所用样品靶在中国地质科学院北京离子探针中心进行,LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年测试分析在中国地质科学院矿产资源研究所 MC-ICP-MS 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。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。详细分析原理和流程可参考文献(侯可军等,2009)。每 5~7 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。

锆石阴极发光图像见图 3,两个样品的锆石多呈半自形—自形的长柱状及双锥状晶体,晶棱及晶面清楚,KKT-1 样品中锆石颗粒相对较大,长轴多变化于 200~300 μm 之间,长短轴比一般为 2:1~3:1 左右,TLK-09 样品中锆石颗粒相对较小,长轴多变化于 100~200 μm 之间,长短轴比一般为 2:1~4:1 左右。两样品中锆石颗粒具有岩浆锆石的典型振荡环带结构,部分颗粒具有包裹体和亮的白边。

两个样品的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析结果列于表 1。其中 KKT-1 样品中测点的 Th/U 比值为 0.23~0.92,显示了岩浆锆石 Th/U 比值的典型特征(Rubatto,2002);除一个样品点(17 号点)由于 Pb 丢失而使年龄偏高外,其余 19 个分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄非常一致,介于 412~408 Ma 之间,它们聚集在一致线上及其附近一个较小的范围内,

其加权平均值为 410.5 ± 1.3 Ma (MSWD = 0.17) (图 4)。结合锆石阴极发光图像及元素特征分析, 这一年龄代表了该变质流纹岩喷发年龄。

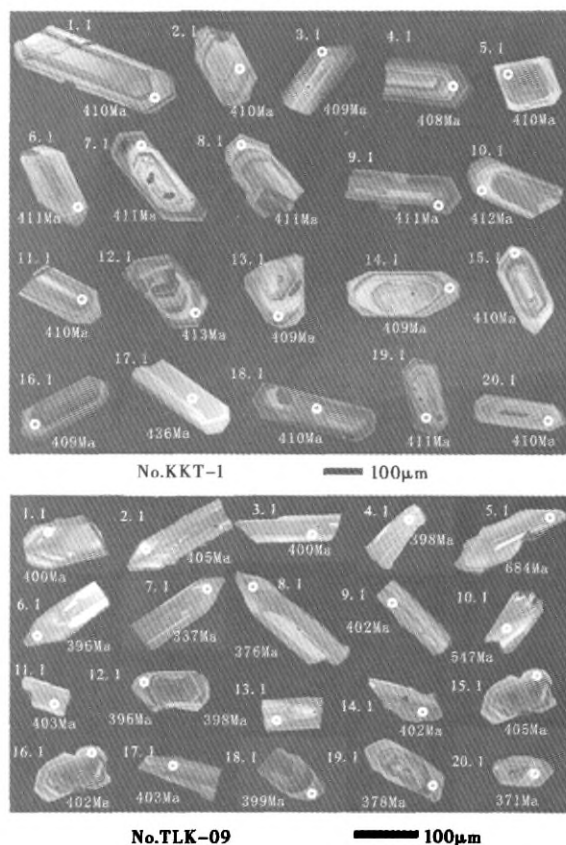


图 3 麦兹盆地变质酸性火山岩中代表性锆石的阴极发光图

Fig. 3 Cathodoluminescence images of zircons from meta-felsic volcanic rocks from the Kangbutiebao Fm. in the Maizi Basin

表 1 麦兹盆地变质酸性火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测定结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of meta-felsic volcanic rocks from the Kangbutiebao Fm. in the Maizi Basin

测点	元素含量及比值				同位素比值						年龄/Ma					
	Pb/ ×10 ⁻⁶	²³² Th/ ×10 ⁻⁶	²³⁸ U/ ×10 ⁻⁶	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	
					测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ
样品编号:KKT-1																
1.1	9.21	57.81	201.44	0.29	0.06570	0.00042	0.05424	0.00038	0.49164	0.00487	410	3	389	17	406	3
2.1	9.81	51.14	148.05	0.35	0.06567	0.00072	0.05497	0.00035	0.49826	0.00640	410	4	413	18	411	4
3.1	21.27	113.37	445.12	0.25	0.06557	0.00037	0.05427	0.00021	0.49091	0.00324	409	2	383	9	406	2
4.1	15.62	106.56	200.58	0.53	0.06539	0.00079	0.05516	0.00032	0.49715	0.00629	408	5	420	13	410	4
5.1	11.22	104.34	113.59	0.92	0.06564	0.00053	0.05502	0.00045	0.49797	0.00538	410	3	413	19	410	4
6.1	12.10	87.49	183.04	0.48	0.06588	0.00041	0.05479	0.00031	0.49801	0.00435	411	3	467	13	410	3

续表 1

测点	元素含量及比值				同位素比值						年龄/Ma					
	Pb/ $\times 10^{-6}$	$^{232}\text{Th}/$ $\times 10^{-6}$	$^{238}\text{U}/$ $\times 10^{-6}$	$^{232}\text{Th}/$ ^{238}U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/$ ^{238}U		$^{207}\text{Pb}/$ ^{206}Pb		$^{207}\text{Pb}/$ ^{235}U	
					测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ
7.1	46.81	236.77	1012.62	0.23	0.06587	0.00041	0.05529	0.00016	0.50241	0.00339	411	2	433	7	413	2
8.1	12.32	89.40	168.58	0.53	0.06586	0.00052	0.05476	0.00036	0.49704	0.00431	411	3	467	15	410	3
9.1	22.38	140.31	375.65	0.37	0.06587	0.00040	0.05469	0.00024	0.49696	0.00350	411	2	398	9	410	2
10.1	9.35	81.07	166.03	0.49	0.06608	0.00047	0.05450	0.00040	0.49683	0.00494	412	3	391	17	410	3
11.1	31.05	182.35	568.76	0.32	0.06560	0.00038	0.05522	0.00020	0.49961	0.00302	410	2	420	7	411	2
12.1	18.30	113.35	330.26	0.34	0.06610	0.00039	0.05490	0.00024	0.50058	0.00363	413	2	409	9	412	2
13.1	24.46	145.26	480.68	0.30	0.06558	0.00066	0.05512	0.00025	0.49810	0.00466	409	4	417	11	410	3
14.1	12.97	92.16	254.42	0.36	0.06554	0.00053	0.05520	0.00030	0.49876	0.00447	409	3	420	11	411	3
15.1	19.44	127.10	372.71	0.34	0.06565	0.00045	0.05414	0.00020	0.49019	0.00355	410	3	376	7	405	2
16.1	13.15	103.15	177.93	0.58	0.06546	0.00047	0.05424	0.00032	0.48978	0.00448	409	3	389	13	405	3
17.1	0.94	24.18	31.04	0.78	0.06993	0.00088	0.05476	0.00303	0.53772	0.04254	436	5	467	124	437	28
18.1	18.97	133.93	294.24	0.46	0.06561	0.00085	0.05469	0.00031	0.49443	0.00633	410	5	398	13	408	4
19.1	15.11	90.21	295.12	0.31	0.06590	0.00075	0.05402	0.00027	0.49106	0.00601	411	5	372	11	406	4
20.1	16.62	123.15	216.32	0.57	0.06573	0.00063	0.05323	0.00025	0.48240	0.00493	410	4	339	11	400	3
样品编号:TLK-09																
1.1	35.40	188.06	239.14	0.79	0.06395	0.00069	0.05715	0.00095	0.50554	0.01178	400	4	498	69	415	8
2.1	28.55	95.78	130.64	0.73	0.06484	0.00088	0.10821	0.00258	0.97334	0.03080	405	5	1769	44	690	16
3.1	64.82	387.21	339.74	1.14	0.06400	0.00046	0.05391	0.00034	0.47565	0.00444	400	3	369	18	395	3
4.1	1.27	17.74	25.08	0.71	0.06363	0.00089	0.05506	0.00162	0.48401	0.01707	398	5	413	67	401	12
5.1	17.59	0.00	0.37	0.00	0.11202	0.05140	0.65120	0.04800	10.5217	4.54045	684	298	4627	111	2482	423
6.1	27.54	164.23	191.68	0.86	0.06332	0.00073	0.05405	0.00062	0.47166	0.00723	396	4	372	26	392	5
7.1	4.25	57.32	15.09	3.80	0.05360	0.00194	0.05376	0.00397	0.39255	0.02989	337	12	361	167	336	22
8.1	16.19	94.43	161.76	0.58	0.06003	0.00079	0.05018	0.00096	0.41514	0.00996	376	5	211	44	353	7
9.1	26.98	123.47	153.73	0.80	0.06433	0.00088	0.06803	0.00211	0.60332	0.02020	402	5	878	63	479	13
10.1	24.52	30.57	49.29	0.62	0.08850	0.00179	0.25245	0.00768	3.19940	0.16161	547	11	3600	48	1457	39
11.1	68.80	374.23	386.09	0.97	0.06448	0.00061	0.05498	0.00034	0.48780	0.00528	403	4	413	18	403	4
12.1	117.56	580.89	1253.39	0.46	0.06342	0.00066	0.05294	0.00027	0.46214	0.00512	396	4	328	11	386	4
13.1	37.02	211.79	272.08	0.78	0.06362	0.00047	0.05241	0.00037	0.45917	0.00475	398	3	302	17	384	3
14.1	32.96	181.85	218.36	0.83	0.06430	0.00091	0.05329	0.00051	0.47243	0.00889	402	5	343	20	393	6
15.1	159.82	803.48	1561.71	0.51	0.06487	0.00047	0.05539	0.00022	0.49470	0.00385	405	3	428	9	408	3
16.1	43.63	264.29	290.56	0.91	0.06432	0.00061	0.05459	0.00032	0.48323	0.00516	402	4	394	13	400	4
17.1	48.28	263.65	353.54	0.75	0.06457	0.00064	0.05542	0.00029	0.49299	0.00569	403	4	428	13	407	4
18.1	104.18	454.53	1193.95	0.38	0.06391	0.00057	0.05568	0.00022	0.48987	0.00448	399	3	439	9	405	3
19.1	114.44	9051.64	955.90	9.47	0.06036	0.00098	0.07064	0.00230	0.57266	0.01188	378	6	946	67	460	8
20.1	24.56	139.81	217.13	0.64	0.05932	0.00092	0.05503	0.00067	0.44990	0.00944	371	6	413	26	377	7

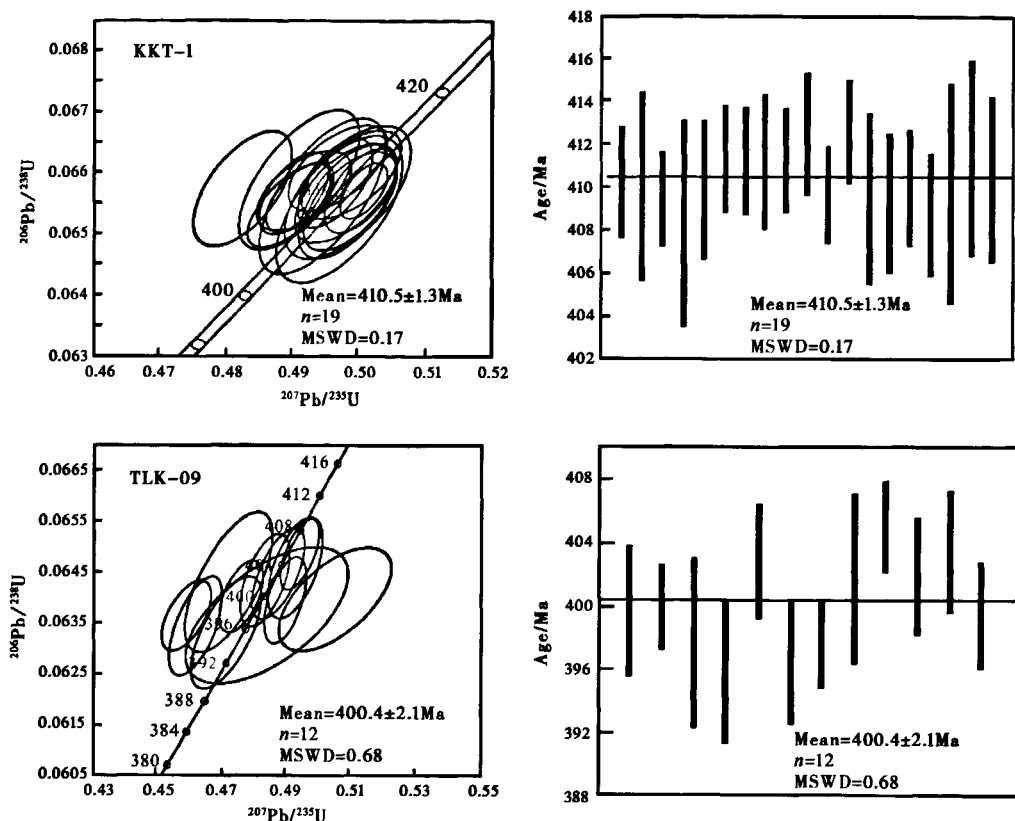


图4 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄结果

Fig. 4 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagrams of meta-felsic volcanic rocks from the Kangbutiebao Fm. in the Maizi Basin

TLK-09 样品中校正后的有效数据点共 12 个, 这些有效分析点的 Th/U 比值为 0.38 ~ 1.14, 显示了岩浆锆石 Th/U 比值的典型特征 (Rubatto, 2002); 12 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 405 ~ 396 Ma 之间, 它们聚集在一致线及其附近一个较小的范围内, 样品的可信度较高, 其加权平均值为 400.4 ± 2.1 Ma (MSWD = 0.68) (图 4)。这一年龄代表了该火山岩锆石结晶年龄。

综上所述, 本次研究两个样品的年龄数据可靠, 可以代表该组酸性火山岩的喷发年龄, 结合麦兹盆地内康布铁堡组地层中出露的化石, 认为其形成时代应不晚于早泥盆世。这与克朗盆地康布铁堡组变质流纹岩的喷发年龄 407 Ma (张进红等, 2000) 和 413 Ma、407 Ma、401 Ma (柴凤梅等, 2009) 较为接近。

4 地球化学特征

主量元素、微量元素和稀土元素分析在中国科学院地质与地球物理研究所完成。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 测定, FeO 采用容量滴定法 (国家标准 GB/T14506.13-1993 监控), CO_2 用电导法 (国家标准 GB9835-1988 监控), H_2O^+ 用重量法 (国家标准 GB/T14506.2-1993 监控) 分析, 分析精

度优于 1%。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电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)进行测定(国家标准 DZ/T 0223-2001 监控),相对标准偏差优于 5%。

麦兹盆地康布铁堡组地层酸性火山岩的主量、微量及稀土元素分析结果列于表 2。

表 2 麦兹盆地康布铁堡组变质酸性火山岩的主量/wt%、微量/ $\times 10^{-6}$ 元素组成

Table 2 Major/wt% and trace/ $\times 10^{-6}$ element data for meta-felsic volcanic rocks
from the Kangbutiebao Fm. in the Maizi Basin

样品编号	KKT-1	KKT-2	KKT-3	KKT-4	KKT-5	KKT-6	KKT-7	KKT-8	KKT-9	KKT-10
SiO ₂	75.72	76.41	76.82	76.91	73.21	76.69	78.89	76.76	75.96	74.95
TiO ₂	0.23	0.27	0.25	0.23	0.18	0.06	0.09	0.08	0.07	0.07
Al ₂ O ₃	14.42	14.46	13.74	13.61	15.58	12.02	11.54	14.24	12.64	13.26
TFe ₂ O ₃	0.19	0.20	0.13	0.20	0.26	0.22	0.32	0.11	0.13	0.22
FeO	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
MnO	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01
MgO	0.14	0.13	0.08	0.10	0.20	0.11	0.18	0.08	0.05	0.14
CaO	1.05	0.82	0.64	0.93	2.42	0.04	0.11	1.14	0.04	0.09
Na ₂ O	6.94	7.06	7.13	6.63	5.16	1.33	1.34	6.43	1.33	1.43
K ₂ O	0.39	0.47	0.44	0.48	2.07	8.64	6.91	0.69	8.97	8.99
P ₂ O ₅	0.07	0.06	0.08	0.09	0.13	0.02	0.03	0.01	0.04	0.02
LOI	0.18	0.20	0.26	0.20	0.26	0.20	0.54	0.72	0.14	0.16
Total	99.35	100.10	99.57	99.40	99.48	99.34	99.94	100.28	99.38	99.35
Li	1.97	3.07	1.70	2.11	4.27	0.87	5.04	0.63	1.07	1.69
Be	1.26	0.57	0.56	0.59	3.32	0.97	0.44	0.68	0.49	0.44
Sc	3.40	11.81	6.51	8.60	6.82	2.66	4.31	3.92	3.42	3.96
V	5.66	8.54	5.23	5.62	4.55	1.96	2.14	0.57	1.36	1.72
Cr	5.65	5.10	23.25	6.32	7.11	1.64	14.47	3.89	4.38	2.08
Co	0.60	0.61	0.58	0.61	0.69	0.79	0.84	0.59	0.45	0.64
Ni	0.79	10.56	2.93	1.62	2.56	2.68	6.72	1.71	2.14	1.80
Cu	4.76	7.59	4.21	3.59	5.04	2.65	0.95	2.06	0.55	1.61
Ga	14.49	21.29	14.88	17.63	15.61	8.46	7.13	16.56	10.81	8.66
Rb	2.99	4.52	4.57	4.24	24.10	119.27	102.71	6.81	133.52	120.78
Sr	36.91	30.66	28.93	31.01	54.13	23.82	34.33	51.88	20.96	29.83
Y	28.91	22.88	19.00	27.33	20.77	42.61	29.33	28.77	20.85	17.96
Zr	144.98	173.74	133.25	158.05	193.81	81.30	117.28	101.95	105.97	94.83
Nb	9.45	11.23	10.64	9.89	11.09	7.33	9.88	10.57	10.79	11.15
Cs	0.08	0.09	0.08	0.08	0.20	0.25	0.28	0.07	0.45	0.32
Ba	27.76	24.16	28.54	32.08	250.69	541.92	718.60	21.42	534.13	553.98
Hf	4.51	5.38	4.19	5.01	6.27	3.45	4.46	4.13	4.41	3.89
Ta	0.90	1.06	1.00	0.94	0.93	1.05	1.16	1.23	1.33	1.34
Tl	0.04	0.05	0.05	0.05	0.10	0.47	0.39	0.05	0.55	0.50

续表 2

样品编号	KKT-1	KKT-2	KKT-3	KKT-4	KKT-5	KKT-6	KKT-7	KKT-8	KKT-9	KKT-10
Pb	3.87	2.55	2.38	3.00	11.76	8.14	8.46	2.86	5.00	7.42
Bi	0.25	0.05	0.05	0.06	0.14	0.03	0.06	1.53	0.06	0.03
Th	12.95	14.94	11.46	12.04	14.41	6.83	13.52	12.09	15.72	10.91
U	1.90	2.74	1.96	1.90	1.74	1.48	1.34	1.87	1.83	1.67
La	8.08	43.86	14.67	16.98	41.07	6.01	30.46	7.12	9.40	11.03
Ce	19.19	93.92	31.49	36.08	85.76	12.25	71.71	15.47	24.42	25.02
Pr	3.05	11.63	3.98	4.63	10.54	1.96	8.76	2.08	3.32	3.25
Nd	14.37	46.05	15.95	18.80	41.04	9.17	33.61	8.43	13.07	13.16
Sm	4.28	8.54	3.34	4.12	7.12	2.87	6.42	2.25	2.80	2.97
Eu	2.42	1.34	0.53	0.67	1.31	1.00	1.74	0.52	0.71	0.84
Gd	4.66	6.65	3.36	4.31	6.11	4.52	5.69	2.87	2.63	2.80
Tb	0.80	0.90	0.59	0.79	0.83	0.99	0.87	0.62	0.49	0.52
Dy	5.08	4.67	3.92	5.49	4.43	7.25	5.40	4.64	3.46	3.64
Ho	1.09	0.93	0.83	1.21	0.91	1.65	1.13	1.13	0.79	0.81
Er	3.12	2.53	2.37	3.38	2.52	4.45	3.34	3.49	2.45	2.45
Tm	0.48	0.40	0.37	0.52	0.40	0.66	0.53	0.60	0.41	0.40
Yb	3.27	2.65	2.45	3.47	2.74	3.97	3.55	4.14	3.05	2.75
Lu	0.51	0.43	0.39	0.52	0.43	0.58	0.58	0.69	0.52	0.45
ΣREE	70.40	224.49	84.25	100.95	205.21	57.32	173.78	54.05	67.51	70.09
LREE/HREE	2.70	10.72	4.90	4.13	10.16	1.38	7.24	1.97	3.89	4.07
δEu	1.65	0.54	0.48	0.48	0.60	0.85	0.88	0.62	0.80	0.88
样品编号	TLK01	TLK03	TLK04	TLK05	TLK06	TLK07	TLK08	TLK09		
SiO ₂	81.26	72.15	77.38	76.64	78.43	79.02	77.72	76.46		
TiO ₂	0.10	0.12	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11		
Al ₂ O ₃	10.59	14.87	11.76	11.47	10.56	10.59	10.94	11.79		
TFe ₂ O ₃	0.14	0.47	0.34	1.44	0.99	0.89	1.04	1.64		
FeO	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02		
MnO	0.04	0.13	0.11	0.06	0.05	0.05	0.04	0.08		
MgO	0.26	0.05	0.11	0.04	0.03	0.03	0.06	0.05		
CaO	2.22	0.84	0.74	0.93	1.03	0.37	0.38	1.21		
Na ₂ O	4.94	10.71	8.82	8.78	8.69	8.67	8.95	8.56		
K ₂ O	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02		
P ₂ O ₅	0.26	0.28	0.22	0.12	0.10	0.06	0.14	0.12		
LOI	99.85	99.66	99.59	99.61	100.02	99.68	99.40	100.06		
Total	0.09	0.24	0.27	0.35	0.23	0.42	0.16	0.40		
Li	1.56	12.07	4.20	3.68	0.86	2.15	0.87	6.46		
Be	0.73	0.48	1.25	0.74	0.88	0.82	0.73	0.54		
Sc	6.08	7.90	11.84	10.06	2.32	4.41	8.26	5.76		
V	4.30	8.36	3.23	2.68	3.30	4.07	3.88	3.31		
Cr	1.13	1.08	0.57	0.87	2.20	0.33	0.49	0.53		
Co	0.30	1.44	0.32	3.08	2.69	2.85	1.35	0.50		

续表 2

样品编号	TLK01	TLK03	TLK04	TLK05	TLK06	TLK07	TLK08	TLK09
Ni	0.75	2.07	24.13	0.86	2.18	0.23	0.91	0.46
Cu	5.00	6.72	17.67	14.37	95.08	17.47	46.27	31.70
Ga	8.17	12.26	16.52	16.04	9.47	11.50	14.42	11.09
Rb	72.95	213.47	235.65	201.12	198.66	209.59	214.64	198.22
Sr	33.82	62.38	47.08	33.83	26.05	24.88	26.78	21.63
Y	16.30	32.06	26.10	51.53	17.67	19.56	47.35	22.37
Zr	140.09	239.42	131.44	152.74	146.81	154.98	156.90	180.01
Nb	10.53	10.92	12.67	11.82	9.74	10.61	10.03	9.73
Cs	0.92	3.06	3.14	1.48	2.09	2.15	2.24	1.53
Ba	494.31	1838.94	899.52	839.53	873.97	921.94	938.18	749.83
Hf	5.16	8.45	5.98	5.81	5.58	5.89	5.93	6.36
Ta	0.81	1.07	1.13	1.00	0.89	0.92	0.99	0.96
Tl	0.33	1.08	1.06	0.94	0.98	1.17	1.02	0.84
Pb	4.62	16.17	4.81	3.13	5.30	6.78	4.81	2.18
Bi	0.08	0.19	0.11	1.69	1.50	0.91	1.05	0.03
Th	11.37	7.99	16.07	12.74	10.53	11.09	13.65	10.94
U	1.40	1.91	2.13	1.78	1.21	1.25	1.29	1.27
La	4.47	21.47	94.95	61.43	10.20	31.91	70.03	4.31
Ce	7.11	43.79	180.74	134.99	15.34	65.71	152.32	7.39
Pr	1.16	5.64	21.50	16.30	2.50	8.09	18.07	1.13
Nd	4.89	22.71	88.69	63.51	10.46	31.00	67.56	4.83
Sm	1.21	4.84	16.16	12.80	2.53	5.93	12.53	1.47
Eu	0.39	0.89	2.72	2.25	0.75	1.17	1.90	0.69
Gd	1.41	4.58	11.90	10.89	2.47	4.76	10.28	1.91
Tb	0.30	0.82	1.30	1.81	0.47	0.65	1.55	0.48
Dy	2.43	5.28	6.16	10.81	3.20	3.66	9.40	3.64
Ho	0.59	1.15	1.14	2.25	0.70	0.79	1.95	0.84
Er	1.84	3.01	3.00	5.73	1.94	2.15	5.06	2.28
Tm	0.32	0.46	0.42	0.77	0.31	0.33	0.70	0.36
Yb	2.31	2.90	2.57	4.64	1.99	2.15	4.01	2.28
Lu	0.39	0.45	0.41	0.70	0.33	0.34	0.60	0.37
ΣREE	118.00	431.66	328.86	53.18	158.66	355.96	31.97	28.82
LREE/HREE	5.32	15.05	7.75	3.67	9.69	9.61	1.63	2.00
δEu	0.58	0.60	0.58	0.91	0.67	0.51	1.26	0.90

前人研究结果表明(MacLean, 1990; Barrett and MacLean, 1999), 蚀变作用和低-中级变质作用可以使火山岩的一些主化学成分(K、Na、Ca、Si)和大离子亲石元素(LILE) Rb、Ba 和 Sr 等成分发生一定程度的改变, 而 HFSE 和 REE 一般是不活动的, 尤其 Zr 和 Th 元素的活动性最弱, 常用 Zr 和 Th 作为相对稳定或惰性元素来探讨其它元素在低-中

级变质作用的活动性(Gibson et al.,1982)。前已述及,麦兹盆地康布铁堡组地层经历了低-中级区域变质作用。因此变质作用对康布铁堡组火山岩化学成分的影响是需要考虑的。本研究样品的 Zr 和 Th 与 (Ti、P、Nb、Hf 和 Y) 和 REE 元素有很好的相关性,与 Rb、Ba、Sr、K 和 Na 不具相关性。因此,本研究认为 HFSE 和 REE 元素是不活动的,后续讨论也主要采用这些不活动元素进行。

4.1 主量元素

由表 2 可以看出,岩石的 SiO_2 含量高且变化范围较宽为 72.15%~81.26%;全碱含量高为 7.11%~11.55%, K_2O 和 Na_2O 含量变化较大; Al_2O_3 含量中等,介于 10.59%~15.58%之间; MgO 、 CaO 和 TFe_2O_3 含量极低分别为 0.04%~0.20%,0.03%~2.42%,0.10%~0.55%, SiO_2 与 MgO 、 CaO 和 TFeO 具有良好的负相关性。显示了酸性岩的富硅、富碱、低铝贫钙镁的普遍规律和钙碱性系列火山岩的分异趋势。在划分蚀变、变质火山岩系列最为有效的 SiO_2 -Zr/TiO₂ 图解中(Winchest and Floyd, 1977)(图 5),所有样品位于流纹岩区;低的 TiO₂(0.06%~0.27%)含量表明其属于低 Ti 流纹岩类(Riley et al., 2001)。因此,岩石化学特征表明它们属于钙碱性低 Ti 流纹岩类。

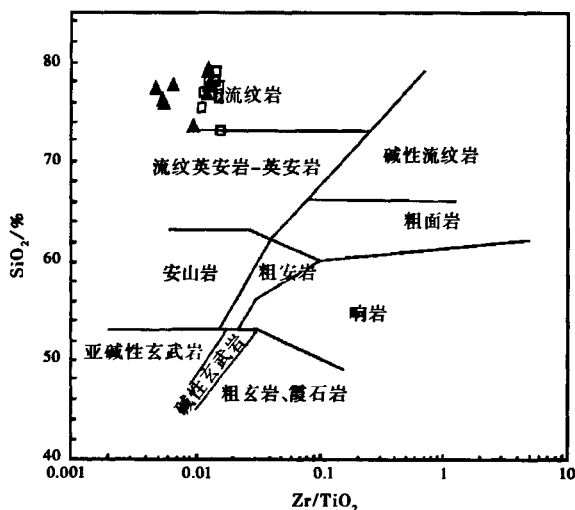


图 5 麦兹盆地康布铁堡组酸性火山岩 SiO_2 -Zr/TiO₂ 图解

(据 Winchest and Floyd, 1977)

Fig. 5 Whole-rock SiO_2 versus Zr/TiO₂ diagram of mafic-felsic volcanic rocks from the Kangbutiebao Fm. in the Maizi Basin (after Winchest and Floyd, 1977)

此外,前人研究认为,麦兹盆地的康布铁堡组酸性火山岩具有下部富钠质、上部富钾质和钾钠质的特征,并认为是岩浆演化(吴志亮等, 1996)或者交代作用的结果(张进红等, 1999)。结合野外分布特征及岩石化学特征,本文认为麦兹盆地酸性火山岩更可能是变质作用过程导致的钾钠差异,并非是岩浆演化所致。因为在高钾的样品中并未见有大量钾长石斑晶。

4.2 微量元素和稀土元素

所有样品的亲石元素 Th、U 明显富集, Th 为 $6.83 \times 10^{-6} \sim 16.06 \times 10^{-6}$, U 为 $1.25 \times 10^{-6} \sim 2.74 \times 10^{-6}$, Sr 明显偏低为 $21.63 \times 10^{-6} \sim 62.38 \times 10^{-6}$; 高场强元素较为富集, Zr 为 $81.3 \times 10^{-6} \sim 239.42 \times 10^{-6}$, Hf 为 $3.45 \times 10^{-6} \sim 6.27 \times 10^{-6}$, Pb 为 $2.38 \times 10^{-6} \sim 16.17 \times 10^{-6}$, 但 Nb 与 Ta 的含量较低, 分别为 $7.33 \times 10^{-6} \sim 11.23 \times 10^{-6}$ 和 $0.89 \times 10^{-6} \sim 1.34 \times 10^{-6}$ 。在原始地幔标准化蛛网图上(图 6a), 总体显示了较为一致的分布模式, 即 Ti、P、Sr、Ba、Nb、Ta 呈现明显的负异常, Th、U、Pb、Zr 和 Hf 的正异常。与造山带岩浆作用形成的钙碱性系列岩石特征相似(Wilson, 1989; Rollinson, 1993), 并且说明了岩浆在演化过程中发生了铁钛氧化物、斜长石、碱性长石和磷灰石的分离结晶作用或者在部分熔融过程中这些矿物在源区有残留。样品的 K 和 Rb 变化较大, 可能是后期变质作用对这些元素有较大影响的结果。

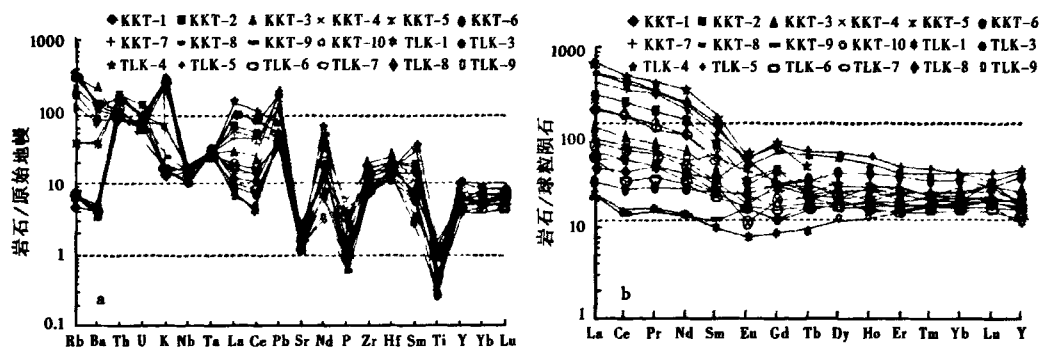


图 6 麦兹盆地康布铁堡组变质酸性火山岩微量元素原始地幔配分模式图

a. 稀土元素配分模式图; b. 原始地幔值和球粒陨石(据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 6 Plots of primitive mantle-normalized trace elements patterns (a) and plots of chondrite-normalized REE patterns (b) for the mata-felsic volcanic rocks from the Kangbutiebao Fm. in the Maizi Basin. (Primitive mantle-normalized values and Chondrite-normalized values are from Sun and McDonough, 1989)

岩石稀土总量 ΣREE 变化大, 介于 $28.82 \times 10^{-6} \sim 355.96 \times 10^{-6}$ 之间; 轻重稀土分异明显, 所有样品均表现为轻稀土的富集, 但富集程度有别 $\text{LREE}/\text{HREE} = 1.63 \sim 15.05$, $(\text{La}/\text{Yb})_n = 1.03 \sim 25.09$; 轻重稀土元素本身的分馏程度不同, 轻稀土的分馏较重稀土明显, 它们的 $(\text{La}/\text{Sm})_n$ 和 $(\text{Gd}/\text{Yb})_n$ 值分别变化于 $1.18 \sim 3.6$ 和 $0.49 \sim 3.75$; 除两个样品的 δEu 大于 1 以外(1.26 和 1.65), 其余样品的 δEu 较小, 变化于 $0.48 \sim 0.91$, 表明岩浆发生了斜长石分离结晶作用或者部分熔融过程中源区有斜长石的残留。在球粒陨石标准化配分图中(图 6b), 所有样品都具有相似的轻稀土富集重稀土平缓的右倾型 REE 配分模式, 表明它们可能为同一源区的产物, 也表明了它们不是板内环境的产物, 而与弧环境有关。因为板内环境下形成的酸性岩类通常表现为 LREE 强烈的富集, 整体配分曲线为陡右倾, 弧环境下形成的酸性岩类(拉斑—钙碱系列) HREE 表现为平坦型, LREE 从弱亏损到富集, Eu 负异常(王中刚等, 1989)。

总之, 岩石的地球化学特征表明, 麦兹盆地的康布铁堡组变质流纹岩属钙碱性低钛

流纹岩。明显亏损 Ti、P、Sr、Ba、Nb 和 Ta,富集 Th、U、Pb、Zr、Hf 和轻稀土元素,有显著的 Eu 负异常。

5 讨 论

5.1 岩浆来源及演化

前人研究结果表明(Riley et al.,2001;路凤香等,2002),流纹岩可以形成于地壳(俯冲洋壳、镁铁质下地壳、长英质上地壳)物质的部分熔融过程,幔源玄武质岩浆的结晶分异过程,也可以形成于幔源岩浆的结晶分异和地壳混染过程(AFC 过程)。然而,目前也已认识到,大多数花岗质岩浆特别是大体积花岗质岩浆主要是由地壳岩石发生部分熔融的结果(Thompson and Connolly, 1995),因为经过镁铁质岩浆分离结晶或 AFC(同化+分离结晶)的途径来产生大体积的流纹质火山岩,需要超常量的镁铁质岩浆结晶(Riley et al.,2001)。

麦兹盆地内康布铁堡组地层中的变质酸性火山岩所有样品明显亏损 Ti、P、Sr、Ba,富集 Th、U、Pb 和轻稀土元素;所有样品的 Th/Ta 比值(7.5~15.5)远高于原始地幔的相应值(2.3),与上地壳的 Th/Ta 比值(约为 10)较为接近;所有岩石的 Nb/Ta 比值(6.9~12.9)和 Zr/Hf 比值(22~32)与原始地幔的相应值 17.8 与 37(McDonough and Sun, 1995)相差较大,与地壳的相应值 11 和 33(Taylor and Mclennan, 1985)接近。这些特征表明该区的酸性岩浆不可能是原始地幔部分熔融产生的幔源岩浆发生结晶分异的结果,可能来源于富集地幔经结晶分异和地壳混染或直接来源于地壳物质的熔融。岩石的 Cr 及 Ni 的含量极低,分别为 0.35×10^{-6} ~ 7.1×10^{-6} 和 0.23×10^{-6} ~ 10.56×10^{-6} ,酸性火山岩的体积较大,在该区也缺乏同时代大面积的基性岩浆存在的证据,表明其由富集的幔源岩浆受到地壳混染形成的可能性很小。因此,地壳物质更可能为该区酸性岩的部分熔融母岩。然而,岩石的低 Sr、贫 Al_2O_3 的特征与由俯冲的洋壳部分熔融形成的高 Sr、富 Al_2O_3 的埃达克岩(Defant and Drummond, 1990)特征明显不同,可以排除其由俯冲的大洋玄武岩部分熔融产生;也不可能来自沉积地层或蚀变的硅质洋壳,因为它们具有高的 Nb/Ta 比值(一般在 17 以上, Ben Othman et al., 1989)。此外,岩石的 $\text{Ti/Y} < 100$, $\text{Ti/Zr} < 20$, 分别为 8.2~71.7 和 4.2~7.2,表明其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、Ba、P 和 Ti 等元素, HREE 分异不明显, $\text{Zr/Sm} > 10$ 以及高 Yb 含量,表明源区矿物相中有斜长石、磷灰石、角闪石、钛铁矿残留(Lightfoot et al., 1987),没有石榴子石的存在。岩石显著的低 Sr 特征 21.63×10^{-6} ~ 62.38×10^{-6} 表明应起源于斜长石稳定的正常下地壳。岩石中见有碱性长石斑晶,表明可能发生了弱的结晶分异作用。

综上所述,本区的变质流纹岩为地壳物质部分熔融的产物。部分熔融形成原始岩浆之后,源区主要残留有斜长石、磷灰石、角闪石等。同时岩浆在演化过程中可能也经过了碱性长石的分离结晶作用。

5.2 地质背景

以上研究表明了本区的变质流纹岩起源于下地壳。下地壳发生部分熔融形成花岗岩浆可以通过玄武质岩浆底侵作用以及流体的加入来实现(王金荣等, 2003)。

麦兹盆地康布铁堡组地层是以变质酸性火山岩为主并夹少量变质基性火山岩, 主要岩性(变质流纹岩、少量的变质玄武岩、变流纹质凝灰岩、火山角砾岩和火山集块岩)显示了活动大陆边缘岩石组合特征。所有酸性岩石 Ti、Sr、Nb、Y 和 Yb, Th 的含量不高, 但 Th/Nb(0.98 ~ 1.37) 比值较高, $Th > Ta$ ($Th/Ta = 5.71 \sim 24.8$), $Ta/Yb < 0.5$ 和显著的 Eu 负异常, 与俯冲作用有关的陆缘弧岩浆岩的特点一致(Condie, 1986)。在 Ta-Yb 和 Nb-Y 图解上位于火山弧区(图 7)。前人研究已证明, 阿尔泰山造山带大致从晚寒武纪开始发生俯冲、碰撞、增生, 至石炭世才基本奠定了阿尔泰山造山带的构造格架(Windley et al., 2002; Xiao et al., 2004; Wang et al., 2006)。因此, 麦兹盆地的康布铁堡组火山岩为活动大陆边缘环境中陆壳岩石部分熔融形成。

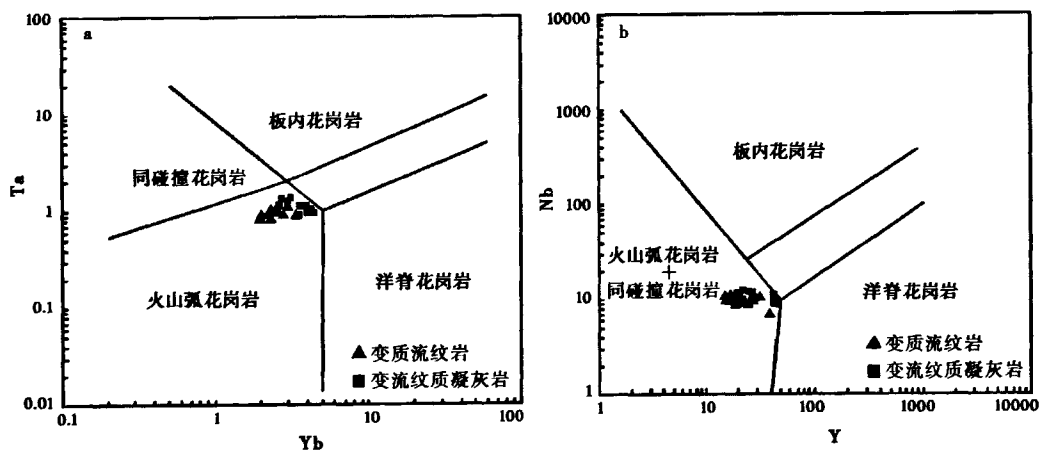


图 7 麦兹盆地康布铁堡组变质酸性火山岩 Ta-Yb 和 Nb-Y 图解

Fig. 7 The Ta-Yb and Nb-Y diagrams for discriminating the tectonic setting of the mata-felsic volcanic rocks from the Kangbutiebao Fm. in the Maizi Basin

另外, 麦兹盆地内康布铁堡组地层与志留纪库鲁木提群之间呈断层接触, 北西向压扭性断裂(巴塞、可依洛甫、沙尔布拉克断裂)为岩浆的上升提供了必要的通道。火山岩以火山碎屑岩为主, 只有少量熔岩, 表明为富水岩浆, 而且岩石高 SiO_2 、低 Al_2O_3 、高 Al_2O_3/TiO_2 比值, 说明其形成于较高的水逸度条件(巫建华, 2004)。因此, 玄武质岩浆的底侵作用加热地壳物质并使之熔融应该是本区酸性岩浆产生的合理解释。即本区的酸性火山岩是由与俯冲作用有关的玄武质岩浆底侵至下地壳, 并使之发生部分熔融的结果。

综上所述, 本区酸性岩浆的形成过程可以概括为: 在晚奥陶至早泥盆世, 古亚洲洋向西伯利亚板块俯冲, 由于消减带水的加入, 使地幔楔发生部分熔融形成玄武质岩浆, 它们直接喷出地表形成早期的玄武岩; 这些上升的玄武质岩浆不仅给下地壳物质提供大量的热, 而且携带了大量的流体, 这显著降低了下地壳的固相线温度, 促使下地壳物质发生部

分熔融形成酸性岩浆,随着部分熔融程度的增加和酸性岩浆的增多,使得幔源玄武质岩浆无力穿越大规模的酸性岩浆房到达地表,因而此时见大量酸性火山活动而缺乏基性火山活动,这些酸性岩浆在上升过程中可能经历了碱性长石的分离结晶作用,喷出地表形成了本区的酸性火山岩。

6 结 论

(1)麦兹盆地康布铁堡组上亚组酸性火山岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 410 ~ 400 Ma,说明它们是早泥盆世构造—岩浆活动的产物。

(2)麦兹盆地康布铁堡组变质酸性火山岩是一套钙碱性岩类。它们略富集 LILE、Pb、Zr 和 Hf,亏损 Ti、P、Sr、Ba、Nb 和 Ta,具有相似的 LREE 中等富集、Eu 负异常的稀土元素配分模式。表现了典型的活动大陆边缘环境火山岩的特征。

(3)麦兹盆地康布铁堡组变质酸性火山岩不是玄武质岩浆分异演化的结果,是玄武质岩浆底侵作用引起富含斜长石的下地壳物质发生部分熔融,并经弱的分离结晶作用的产物。

致谢 野外期间得到新疆维吾尔自治区有色地质勘查局 706 队、新疆地质矿产勘探开发局第四地质大队的支持。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老师的帮助。样品的主量元素、微量及稀土元素由中国科学院地质与地球物理研究所靳新娣、李禾等老师完成,在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- 柴凤梅,毛景文,董连慧,杨富全,刘 锋,耿新霞,张志欣,黄承科. 2009. 阿尔泰山南缘克朗盆地康布铁堡组变质火山岩年龄及岩石成因. 岩石学报, 25(6): 1403—1415.
- Chai Fengmei, Mao Jingwen, Dong Lianhui, Yang Fuquan, Liu Feng, Geng Xinxia, Zhang Zhixin and Huang Chengke. 2009. Geochronology and genesis of the meta-rhyolites in the Kangbutiebao Formation from the Kelang Basin at the southern margin of the Altay, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 25(6): 1403—1415.
- 陈毓川,叶庆同,冯 京,牟传龙,周良仁,王全明,黄光昭,庄道洋,任秉琛. 1996. 阿舍勒铜锌矿带成矿条件和成矿预测. 北京:地质出版社. 1—330.
- Chen Yuchuan, Ye Qingtong, Feng Jing, Mu Chuanlong, Zhou Liangren, Wang Quanming, Huang Guangshao, Zhuang Daoze and Ren Bingchen. 1996. Ore-forming Conditions and Metallogenic Prognosis of the Ashele Copper-zinc Metallogenic Belt, Xinjiang, China. Beijing: Geological Publishing House. 1—330.
- 韩宝福,何国琦. 1991. 中国阿尔泰山南缘泥盆纪火山岩带的大地构造性质. 新疆地质科学, (3): 89—100.
- Han Baofu and He Guoqi. 1991. Geotectonic setting of Devonian volcanic rocks belt in southern margin of the Altai Mountains, China. *Geoscience of Xinjiang*, (3): 89—100.
- 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. 矿床地质, 28(4): 481—492.
- Hou Kejun, Li Yanhe and Tian Yourong. 2009. In situ U-Pb zircon dating using laser ablation-multi ion counting-ICP-MS. *Mineral Deposits*, 28(4): 481—492.
- 焦学军,康吉昌,张连昌. 2006. 新疆阿尔泰山麦兹盆地沉积矿床地质特征与找矿方向. 地质找矿论丛, 21(3): 178—183.
- Jiao Xuejun, Kang Jichang and Zhang Lianchang. 2006. Geological features of sedimentary deposits in Maizi Basin in southern Altay Mountain and the exploring direction. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 21(3): 178—

- 183.
- 李华芹,陈富文. 2004. 中国新疆区域成矿作用年代学. 北京:地质出版社. 1—365.
- Li Huaqin and Chen Fuwen. 2004. Isotopic Geochronology of Regional Mineralization in Xinjiang, NW China. Beijing: Geological Publishing House. 1—365.
- 刘玉琳. 1996. 中国阿尔泰山南缘岩浆型被动陆缘及其成矿作用(博士学位论文). 北京:北京大学. 1—68.
- Liu Yulin. 1996. Magmatic Passive Margin and Its Ore-Forming Processes in the South Edge of Altay Mountains, Xinjiang, China(PhD Thesis). Beijing: Beijing University. 1—68.
- 路凤香,桑隆康. 2002. 岩石学. 北京:地质出版社. 1—399.
- Lu Fengxiang and Sang Longkang. 2002. Petrology. Beijing: Geological Publishing House. 1—399.
- 牛贺才,许继峰,于学元,陈繁荣,郑作平. 1999. 新疆阿尔泰富镁火山岩系的发现及其地质意义. 科学通报, 44(9): 1002—1004.
- Niu Hecai, Xu Jifeng, Yu Xueyuan, Chen Fanrong and Zheng Zuoping. 1999. Discovery of Mg-rich volcanic rock series in western Altay area, Xinjiang and its geologic significance. *Chinese Science Bulletin*, 44(18): 1685—1688.
- 王登红,陈毓川,徐志刚,李天德,傅旭杰. 2002. 阿尔泰成矿省的成矿系列及成矿规律. 北京:原子能出版社. 1—493.
- Wang Denghong, Chen Yuchuan, Xu Zhigang, Li Tiande and Fu Xujie. 2002. Metallogenic Series and Regularities in Altai Metallogenic Province. Beijing: Atomic Energy Press. 1—493.
- 王金荣,郭原生,董宁芳,李双文,翟新伟,孟桂生,杨永钧. 2003. 甘肃白银厂矿田流纹岩的成因及其构造意义. 兰州大学学报(自然科学版), 39(4): 88—92.
- Wang Jinrong, Guo Yuansheng, Dong Ningfang, Li Shuangwen, Zhai Xinwei, Meng Guisheng and Yang Yongjun. 2003. Tectonic significance and origin of the rhyolites from Baiyin mining field in Gansu Province. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 39(4): 88—92.
- 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. 北京:地质出版社. 1—210.
- Wang Jingbin, Qin Kezhang, Wu Zhiliang, Hu Jianhui and Deng Jiniu. 1998. Volcanic Exhalative Sedimentary Lead-Zinc Deposits in the Southern Margin of the Altai, Xinjiang. Beijing: Geological Publishing House. 1—210.
- 王书来,陈克强,康吉昌,郭全. 2007. 新疆阿尔泰山南缘产于麦兹泥盆纪火山—沉积盆地铅锌矿床稳定同位素特征. 地质与勘探, 43(6): 25—31.
- Wang Shulai, Chen Keqiang, Kang Jichang and Guo Quan. 2007. Stable isotope of Pb-Zn deposits occurred in the Maizi Devonian volcanic sedimentary basin in the south margin of Altay Mountain, Xinjiang. *Geology and Prospecting*, 43(6): 25—31.
- 王中刚,于学元,赵振华. 1989. 稀土元素地球化学. 北京:科学出版社. 1—535.
- Wang Zhonggang, Yu Xueyuan and Zhao Zhenhua. 1989. Rare Earth Elements Geochemistry. Beijing: Science Press. 1—535.
- 巫建华. 2004. 赣南—粤北晚中生代长英质火山岩的地质、地球化学特征及铀成矿远景(博士学位论文). 南京:南京大学. 1—80.
- Wu Jianhua. 2004. Geological and Geochemical Characteristics of Late Mesozoic Felsic Volcanic Rocks from South Jiangxi-North Guangdong and Their Uranium Metallogenic Prospect(PhD Thesis). Nanjing: Nanjing University. 1—80.
- 吴志亮,李峰. 1996. 热水沉积岩成矿作用——以阿尔泰泥盆系火山沉积盆地为例. 北京:地质出版社. 95—99.
- Wu Zhiliang and Li Feng. 1996. Hydrothermal Sedimentary Mineralization——Case Study of Devonian Volcano-Sedimentary Basin of Altay, Xinjiang, China. Beijing: Geological Publishing House. 95—99.
- 吴志亮. 1992. 新疆阿尔泰山南缘早泥盆世火山—沉积建造及其穿时性. 昆明工学院学报, 17(6): 1—10.
- Wu Zhiliang. 1992. Lower Devonian volcanic-sedimentary formation of south Altai in Xinjiang Province and its diachronism. *Journal of Kunming Institute of Technology*, 17(6): 1—10.
- 于学元,梅厚钧,杨学昌,王俊达. 1993. 额尔齐斯火山岩及构造演化. 见:涂光炽主编. 新疆北部固体地球科学进展. 北京:科学出版社. 1—194.
- Yu Xueyuan, Mei Houjun, Yang Xuechang and Wang Junda. 1993. The volcanic and tectonic evolution of Erqis. In: Tu Guangchi (Ed.). *Progress of the Earth Science of the Northern Xinjiang*. Beijing: Science Press. 1—194.
- 张进红,王京彬,丁汝福. 1999. 新疆可可塔勒铅锌矿床海相火山岩交代作用研究. 地质与勘探, 35(5): 4—8.
- Zhang Jinhong, Wang Jingbin and Ding Rufu. 1999. Alkaline metasomatism of marine volcanic rocks of the Keketale Pb-Zn deposit, Xinjiang. *Geology and Prospecting*, 35(5): 4—8.

- 张进红,王京彬,丁汝福. 2000. 阿尔泰造山带康布铁堡组变质火山岩锆石特征和铀-铅年龄. *中国区域地质*, **19**(3): 281—287.
- Zhang Jinhong, Wang Jingbin and Ding Rufu. 2000. Characteristics and U-Pb ages of zircon in metavolcanics from the Kangbutiebao Formation in the Altay orogen, Xinjiang. *Regional Geology of China*, **19**(3): 281—287.
- Barrett T J and MacLean W H. 1999. Volcanic sequences lithogeochemistry, and hydrothermal alteration in some bimodal volcanic-associated massive sulfide systems. *Reviews in Economic Geology*, **8**: 101—131.
- Ben Othman D, White W M and Patchett J. 1989. The geochemistry of marine sediments, island arc magma genesis, and crust-mantle recycling. *Earth and Planetary Science Letters*, **94**(1—2): 1—21.
- Condie K C. 1986. Geochemistry and tectonic setting of Early Proterozoic supracrustal rocks in the southwestern United States. *The Journal of Geology*, **94**(6): 845—864.
- Defant M J and Drummond M S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature*, **347**: 662—665.
- Francalanci L, Taylor S R, McCulloch M T and Woodhead J D. 1993. Geochemical and isotopic variations in the calc-alkaline rocks of Aeolian arc, southern Tyrrhenian Sea, Italy: Constraints on magma genesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **113**(3): 300—313.
- Gibson I L, Kirkpatrick R J, Emmerman R, Schmincke H-U, Pritchard G, Oakley P J, Thorpe R S and Marriner G F. 1982. The trace element composition of the lavas and dykes from a 3 km vertical section through a lava pile of eastern Iceland. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, **87**(B8): 6523—6546.
- Li J Y, Xiao W J, Wang K Z, Sun G H and Gao L M. 2003. Neoproterozoic-Paleozoic tectonostratigraphy, magmatic activities and tectonic evolution of eastern Xinjiang, NW China. In: Mao Jingwen, Goldfarb R J, Seltman R, Wang Denghong, Xiao Wenjiao, Hart C (Eds.). *Tectonic Evolution and Metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan. Proceedings Volume of the International Symposium of the IGCP-473 Project in Ürümqi and Guidebook of the Field Excursion in Xinjiang, China: August 9—21, 2003, 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. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **95**(1): 44—54.
- Liu Y S, Hu Z C, Gao S, Günther D, Xu J, Gao C G and Chen H H. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard. *Chemical Geology*, **257**(1—2): 34—43.
- Ludwig K R. 2001. Users Manual for Isoplot/Ex (rev. 2. 49): A Geological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Centre Special Publication. 1—56.
- MacLean W H. 1990. Mass change calculations in altered rock series. *Mineralium Deposita*, **25**: 44—49.
- McDonough W F and Sun S S. 1995. The composition of the earth. *Chemical Geology*, **120**(3—4): 223—253.
- Riley T R, Leat P T, Pankhurst R J and Harris C. 2001. Origins of large volume rhyolitic volcanism in the Antarctic Peninsula and Patagonia by crustal melting. *Journal of Petrology*, **42**(6): 1043—1065.
- Rollinson H R. 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. New York: Longman Publishing Group. 174—206.
- Rubatto D. 2002. Zircon trace element geochemistry: Partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism. *Chemical Geology*, **184**(1—2): 123—138.
- Şengür A M C, Natal'in B A and Burtman V S. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia. *Nature*, **364**(22): 299—307.
- Sun M, Yuan C, Xiao W J, Long X P, Xia X P, Zhao G C, Lin S F, Wu F Y and Kröner A. 2008. Zircon U-Pb and Hf isotopic study of gneissic rocks from the Chinese Altai: Progressive accretionary history in the Early to Middle Palaeozoic. *Chemical Geology*, **247**(3—4): 352—383.
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, **42**: 313—345.
- Taylor S R and McLennan S M. 1985. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Blackwell: Oxford Press. 1—312.
- Thompson A B and Connolly J A D. 1995. Melting of the continental crust: Some thermal and petrological constraints on anatexis in continental collision zones and other tectonic settings. *Journal of Geophysical Research*, **100**(B8): 15565—15579.
- Wang T, Hong D W, Jahn B M, Tong Y, Wang Y B, Han B F and Wang X X. 2006. Timing, petrogenesis, and setting of

- Paleozoic synorogenic intrusions from the Altai Mountains, northwest China: Implications for the tectonic evolution of an accretionary orogen. *The Journal of Geology*, **114**(6): 735—751.
- Wilson M. 1989. Igneous Petrogenesis. London: Unwin Hyman Press. 295—323.
- Winchest J A and Floyd P A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, **20**: 325—343.
- Windley B F, Kröner A, Guo J H, Qu G S, Li Y Y and Zhang C. 2002. Neoproterozoic to Paleozoic geology of the Altai orogen, NW China: New zircon age data and tectonic evolution. *The Journal of Geology*, **110**(6): 719—737.
- Xiao W J, Windley B F, Badarch G, Sun S, Li J L, Qin K and Wang Z. 2004. Palaeozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altaids: Implications for the growth of central Asia. *Journal of the Geological Society*, **161**(3): 339—342.
- Xu J F, Castillo P R, Chen F R, Niu H C, Yu X Y and Zheng Z P. 2003. Geochemistry of late Paleozoic mafic igneous rocks from the Kuerti area, Xinjiang, northwest China: implications for backarc mantle evolution. *Chemical Geology*, **193**: 137—154.
- Yuan C, Sun M, Xiao W J, Li X H, Chen H L, Lin S F, Xi X P and Long X P. 2007. Accretionary orogenesis of the Chinese Altai: Insights from Paleozoic granitoids. *Chemical Geology*, **242**(1—2): 22—39.
- Zhu Y F, Zeng Y S and Gu L B. 2006. Geochemistry of the rare metal-bearing pegmatite No. 3 vein and related granites in the Keketuohai region, Altai Mountains, northwest China. *Journal of Asian Earth Sciences*, **27**(1): 61—77.

Geochronology and genesis of the meta-felsic volcanic rocks in the Kangbutiebao Formation from the Maizi Basin at the southern margin of the Altay, Xinjiang

Chai Fengmei¹ Yang Fuquan² Liu Feng² Geng Xinxia² Zhang Zhixin² Chen Bin¹

(1. Xinjiang Key Laboratory for Geodynamic Processes and Metallogenic Prognosis of the Central Asian Orogenic Belt, Xinjiang University, Ürümqi 830049; 2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

Abstract

LA-ICP-MS U-Pb zircon ages and geochemical data of whole rocks are reported for meta-rhyolites from the Kangbutiebao Formation in the Maizi Basin at the southern margin of Altay orogenic belt. The zircon U-Pb isotopic data constrain their magmatic emplacement at 410.5 ± 1.3 Ma and 400.4 ± 2.1 Ma, respectively. The results presented in this study indicate that meta-rhyolites are characterized by high concentrations in SiO_2 (72.15% to 81.26%), total alkali ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) (7.23% to 11.55%), and low concentrations in Al_2O_3 (10.56% to 14.87%), TiO_2 (0.16% to 0.27%), MgO (0.04% to 0.14%), CaO (0.04% to 2.42%) and TFe_2O_3 (0.11% to 1.64%). They display obvious negative anomaly of Ti, P, Sr, Ba, Nb and Ta, obvious enrichment of Th, U, Pb, Zr, Hf and LREE. Most samples show noticeable negative Eu anomalies ($\delta\text{Eu} = 0.48 \sim 0.91$). These features, together with the regional geology characteristics, indicate that these felsic volcanic rocks were generated by partial melting of lower crust in an active continental margin. The primitive magma was likely resulted from the underplating, and underwent fractional crystallization and minor wall-rocks assimilation during the ascending of magma.

Key Words Meta-felsic-volcanic rocks, Geochemistry, LA-ICP-MS Zircon U-Pb dating, Southern margin of the Altay

阿尔泰山南缘麦兹盆地康布铁堡组变质酸性火山岩年龄及岩石成因



作者: [柴凤梅](#), [杨富全](#), [刘锋](#), [耿新霞](#), [张志欣](#), [陈斌](#), [Chai Fengmei](#), [Yang Fuquan](#),
[Liu Feng](#), [Geng Xinxia](#), [Zhang Zhixin](#), [Chen Bin](#)

作者单位: [柴凤梅,陈斌,Chai Fengmei,Chen Bin\(新疆中亚造山带大陆动力学与成矿预测实验室 新疆乌鲁木齐830049\)](#), [杨富全,刘锋,耿新霞,张志欣,Yang Fuquan,Liu Feng,Geng Xinxia,Zhang Zhixin\(中国地质科学院矿产资源研究所 北京100037\)](#)

刊名: [地质科学](#)

英文刊名: [Chinese Journal of Geology](#)

年, 卷(期): 2012, 47 (1)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dzqx201201019.aspx