

新疆叶城县库喀阿孜铅-锌-(铜-钨)多金属矿区 中酸性侵入岩元素地球化学和年代学初步研究

汪玉会^{1,2}, 冷成彪¹, 张兴春¹

1. 中国科学院 地球化学研究所, 矿床地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002; 2. 中国科学院大学, 北京 100039

摘要:本文对库喀阿孜铅-锌-(铜-钨)多金属矿床中距矿体不远处出露的二长岩、花岗闪长岩岩体进行了地球化学研究, 以便于了解该多金属矿床的形成背景。研究表明, 这些侵入岩主要为一套准铝质、钙碱性系列中酸性岩石, 具有较低的铝饱和指数($A/CNK=0.91\sim 1.05$), 明显富集 LILE 和具有低的 HFSE/LILE 比值, 具有弱到中等的负铕异常($\delta Eu=0.53\sim 0.97$); 二长岩岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 461.5 ± 3.3 Ma。初步认为, 这些中酸性岩体为加里东期中期侵位的 I 型陆缘弧花岗岩, 与区内铅-锌-(铜-钨)多金属矿化无明显关系。

关键词:中酸性侵入岩; 元素地球化学; U-Pb 年龄; 库喀阿孜; 叶城

中图分类号: P597 文献标识码: A 文章编号: 1007-2802(2013)06-0736-10

A Preliminary Study on Elemental Geochemistry and Geochronology of Intermediate-Acidic Intrusive Rocks from the Kukaazi Pb-Zn-(Cu-W) Polymetallic Deposit, Yecheng County, Xinjiang

WANG Yu-hui^{1,2}, LENG Cheng-biao¹, ZHANG Xing-chun¹

1. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Abstract: In order to understand the ore-forming background of the Kukaazi Pb-Zn-(Cu-W) polymetallic deposit in the west Kunlun area, a primary geochemical study had been performed on the intrusive monzonite and granodiorite rocks near the polymetallic deposit. It is shown that they are metaluminous calc-alkaline granotoids, with relative low A/CNK values ($0.91\sim 1.05$), obviously enriched in LILE, low HFSE/LILE ratio, weak to medium Eu negative anomalies (δEu values vary from 0.53 to 0.97). The LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the monzonite is 461.5 ± 3.3 Ma. Therefore, we believed that these intermediate-acidic intrusives, which emplaced in the middle Caledonian period, belong to I-type continental marginal arc granitoids, and have no obvious relationship with Pb-Zn-(Cu-W) mineralization.

Key words: intermediate-acidic intrusive rocks; elemental geochemistry; U-Pb dating; Kukaazi; Yecheng

多年来,有关西昆仑地区的大地构造格局、构造和岩浆演化已有研究^[1~12]。而对于西昆仑造山带构造单元的划分则有不同认识, Tapponnier 等^[1~5]将西昆仑分为北地体和南地体,两者边界为早古生代库地-奥依塔格缝合带;孙海田等^[10]则分为北昆仑晚古生代陆缘裂谷带、西昆仑中间地块及

显生宙岩浆弧带和上其汗早古生代岛弧带。前人通过^[11,12]对西昆仑始特提斯造山带之西昆南地体^[1~5]或昆仑中间地块及显生宙岩浆弧带^[10]的研究,获得了该地区一些岩体的形成年龄,如新藏公路 128 km 处侵入于枕状玄武岩中角闪二长岩的角闪石 K-Ar 年龄为 513 Ma^[11],侵入于库地枕状玄武

收稿日期: 2012-11-23 收到, 2013-01-25 改回

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41272114); 新疆临钢资源投资股份有限公司研究基金

第一作者简介: 汪玉会(1988-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 矿床地球化学, E-mail: 526993136@qq.com.

通讯作者简介: 张兴春(1964-), 男, 博士, 研究员, E-mail: zhangxingchun@vip.gyig.ac.cn.

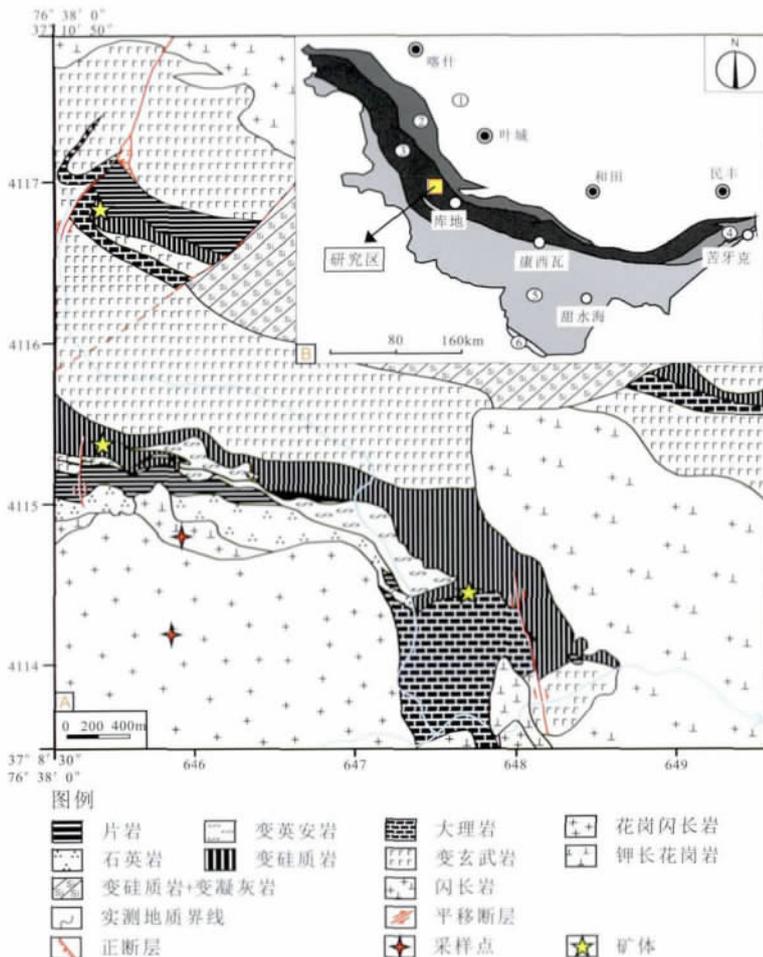
岩北侧闪长岩的角闪石和黑云母的 Ar-Ar 等时线年龄分别为 ~474 Ma 和 ~460 Ma, 花岗闪长岩的锆石 U-Pb 年龄为 458 Ma^[12]。

库喀阿孜铅-锌-(铜-钨)多金属矿床位于新疆叶城县西合休乡境内, 是新疆鑫晶矿业技术有限公司新发现的、具中型远景资源量的块状硫化物矿床。铅-锌-(铜-钨)多金属矿体主要以透镜状、似层状发育在灰白色条纹状大理岩与变硅质岩之间、白色粗晶大理岩中, 或灰白色变硅质岩中, 以铅锌矿化为主, 伴生有铜、钨、银、镉、铋、铁等多金属矿化。矿区分为东、南、北三个矿段, 目前工程控制的矿体包括 10 个工业矿体和 3 个低品位矿体。南矿段矿体以铅锌矿化为主, 伴有磁铁矿化, 铅锌矿体厚度一般为 5~10 m, 最厚可达 14 m, 目前已控制长度约 80 m, 矿体形态变化较大, 铅锌矿石中 Pb 的平均

品位为 13.57%, Zn 为 9.94%; 北矿段矿体以铜、锌矿化为主, 伴生有铅、钨、铋等矿化, 样品中 Cu 含量多数大于 0.3%; 其中, 钨矿化以 2~8 mm 的颗粒状白钨矿为特征, 样品中 WO₃ 最高含量可达 0.92%, 平均 WO₃ 品位大于 0.2% 的矿体厚度超 6 m; 此外, 样品中的 Ag、Cd、Bi 等也达到了综合利用价值。矿区内及其外围发育有二长岩、花岗闪长岩岩体。目前虽尚未观察到这些岩体与矿区铅-锌-(铜-钨)多金属矿体有直接的接触关系, 但考虑到矿体与二长岩、花岗闪长岩岩体之间在地表上只相距几百米至上千米, 矿体附近局部见有浸染状黄铁矿化的英安斑岩岩脉, 本矿区北矿段铜锌矿体中的白钨矿化是否与长英质岩浆有关, 以及缺少对该矿区的成矿背景的研究工作等原因, 本文开展了对矿区附近出露的二长岩、花岗闪长岩岩体的岩石地球化学和对二长岩的年代学等的初步研究, 试图探讨这些中-酸性侵入岩的形成机制, 加深对该地区岩浆作用和构造演化的认识, 以便为今后对这些中-酸性侵入岩对本矿区的铅-锌-(铜-钨)多金属矿体成矿作用的影响进行深入探讨打下基础。

1 地质概况及岩石学特征

研究区位于塔里木盆地西南缘的西昆仑造山带, 该造山带被认为是特提斯体系北缘的始特提斯造山带^[13]。对于西昆仑造山带构造单元的划分, 前人有不同观点^[1~5, 10, 14]。Tapponnier 等^[1~5]将西昆仑造山带分为西昆仑北地体和西昆仑南地体, 两者之间的边界为早古生代库地-奥依塔格缝合带; 孙海田等^[10]将其分为北昆仑晚古生代陆缘裂谷带, 西昆仑中间地块及显生宙岩浆弧带和上其汗早古生代岛弧带; 许志琴等^[14]认为西昆仑造山带可划分为 3 个构造单元: 西昆仑北地体、西昆仑南地体、甜水海-喀喇昆仑地体。如前所述, 库喀阿孜铅-锌-(铜-钨)多金属矿床在大地构造上位于西昆仑中间地块及显生宙岩浆弧带^[10](图 1), 或西昆仑南地体^[1~5, 14]。其北缘以柯岗断裂带(库地北断裂)为界, 南缘以康西瓦超岩石圈大断裂为界。该造山带自新元古代晚期以来, 经历了多期的构造、岩浆及成矿作用^[13], 从元古代到燕山期都有岩浆活动, 出露主要为钾长花岗岩、花岗闪长岩、其



①-塔里木地块(华北板块); ②-北昆仑晚古生代陆缘裂谷带; ③-西昆仑中间地块及显生宙岩浆弧带; ④-上其汗早古生代岛弧带; ⑤-羌塘地块(华南板块); ⑥-冈底斯地块(印度板块)之空喀山口中生代陆缘盆地带

图 1 叶城县库喀阿孜一带区域地质简图(A)

及其大地构造位置(B)(A 据文献^[15]修订, B 据文献^[10]简化)

Fig. 1 A simplified geological map of the Kukaazi area (A) and its tectonic location (B)

次为黑云母花岗岩、二云母花岗岩、二长岩、玄武岩,另外也见少量超基性岩出露。岩体广泛侵入元古代变质岩地层中,出露宽度数百米至数十千米不等。

根据区域地质资料,研究区所在的布隆-西合休一带属于西昆仑中间地块及显生宙岩浆弧带^[10]。新疆鑫晶矿业技术有限公司 2011 年的资料显示,研究区出露的地层为前寒武纪地层(中元古界长城系?),以变玄武岩、变硅质岩夹变凝灰岩、绿泥石化石英片岩、石英岩/石英角斑岩,变硅质岩、大理岩等为主,局部含变凝灰角砾岩;出露的岩浆岩主要为中酸性侵入岩(占研究区总面积的 65%),包括二长岩、花岗闪长岩和钾长花岗岩等,其出露宽度数百米到数千千米不等(图 1),与变质岩呈侵入接触关系。

本文研究的 10 件样品均采自于新疆叶城县库喀阿孜铅-锌-(铜-钨)多金属矿床矿体附近的二长岩、花岗闪长岩岩体,样品均比较新鲜。二长岩呈灰-灰黑色,局部具肉红色,岩石的主要矿物组成包括斜长石(40%~50%)、钾长石(25%~30%)、石英(5%~10%)、角闪石(15%~20%),次要矿物为黑云母,副矿物主要有磁铁矿、磷灰石、榍石。具自形-他形结构(图 2A、B),块状构造。其中斜长石主要为中长石,斜长石晶体表面局部可见由高岭土化而成的泥质,部分黑云母或黑云母晶体的局部已

绿泥石化,钾长石呈肉红色颗粒较粗大(10~20 mm)的斑晶。花岗闪长岩则呈灰色-灰白色,具半自形-他形结构(图 2C、D),块状构造。主要组成矿物为石英(20%~28%)、斜长石(50%~55%)、钾长石(8%~12%)、角闪石(10%~15%)、黑云母(5%~8%),副矿物主要有锆石、磷灰石等。

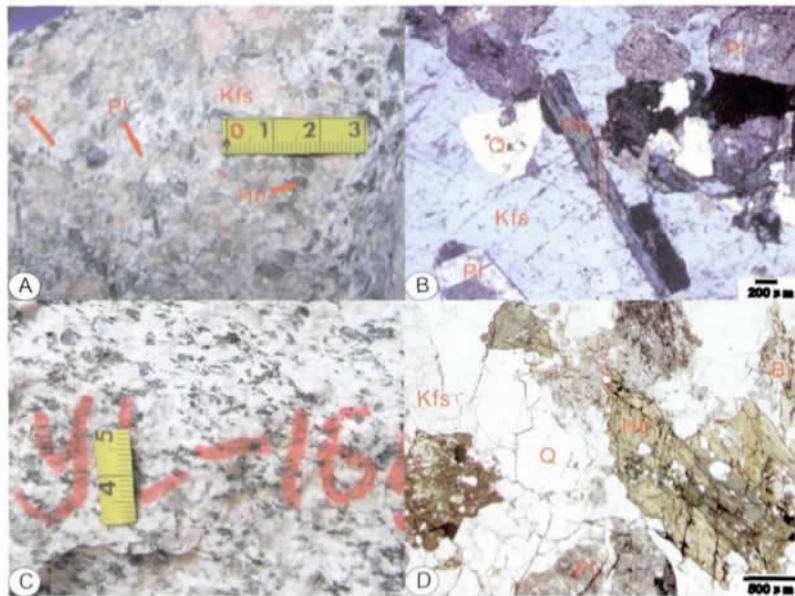
2 分析方法

2.1 主量与微量元素

本文所用库喀阿孜侵入岩主量元素数据在澳实矿物实验室采用 ME-XRF06 方法分析。微量及稀土元素在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室 ICP-MS 实验室完成,采用电感耦合等离子质谱法,分析误差低于 5%。

2.2 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学

本文用于年龄测定的锆石是利用常规重矿物分离技术从采自库喀阿孜铅-锌-(铜-钨)多金属矿区新鲜二长岩岩体露头的样品中分选而来的。制靶前先对锆石进行筛选,锆石制靶和阴极发光(CL)照像在北京锆年领航科技有限公司完成。在进行锆石原位定年分析之前,首先通过显微照片和 CL 图像检查锆石的晶型、内部结构和生长环带等,然后挑选最佳位置进行 U-Pb 同位素分析。锆石 U-Pb 定年测试在中国科学院地球化学研究所矿床地



A-二长岩标本照片;B-二长岩的显微照片(正交偏光);C-花岗闪长岩标本照片;D-花岗闪长岩的显微照片(单偏光);Kfs-钾长石;Pl-斜长石;Hb-角闪石;Q-石英;Bi-黑云母

图 2 叶城县库喀阿孜铅-锌-(铜-钨)多金属矿区二长岩、花岗闪长岩手标本及镜下照片

Fig. 2 Micro-photos and photos of monzonite and granodiorite samples from the Kukaazi Pb-Zn-(Cu-W) polymetallic deposit, Yecheng

球化学国家重点实验室 LA-ICP-MS 实验室完成。193nm ArF 准分子激光剥蚀系统由德国哥廷根 Lamda Physik 公司制造,型号为 GeoLasPro。电感耦合等离子体质谱由日本东京安捷伦公司制造,型号为 Agilent 7700x。准分子激光发生器产生的深紫外光束经匀化光路聚焦于锆石表面,能量密度为 10 J/cm²,束斑直径为 32 μm,频率为 5 Hz,测试过程中以标准锆石 91500 为外标,校正仪器质量歧视与元素分馏;以标准锆石 GJ-1 与 Plešovice 为盲样,监控 U-Pb 定年数据质量;以 NIST SRM 610 为外标,以 Si 为内标标定锆石中的 Pb 元素含量,以 Zr 为内标标定锆石中其余微量元素含量。具体测试方法参见文献[16]。原始的测试数据经过 ICPMS-DataCal 软件离线处理完成。年龄计算及谐和图的绘制采用 Isoplot 程序^[17]。

3 元素地球化学特征

3.1 主量元素

样品主量元素分析结果列于表 1,烧失量(LOI)小于 2%。从表 1 可见,二长岩、花岗闪长岩样品的岩石化学组成变化不大,其 SiO₂ 含量为 61.15%~66.99%,平均 63.88%;TiO₂ 含量为 0.45%~0.68%,平均 0.55%;Al₂O₃ 含量为 14.45%~17.99%,平均 15.62%;TFe₂O₃ 含量为 3.73%~6.35%,平均 4.83%;MgO 含量为 1.42%~2.92%,平均 2.07%;CaO 含量相对较高,为 2.79%~5.00%,平均 4.26%;全碱(Na₂O+K₂O)含量为 5.59%~7.86%,平均 6.66%;样品的 K₂O 含量均大于 Na₂O,K₂O/Na₂O 为 1.56~1.91,平均 1.77;TFe₂O₃/MgO 值为 2.15~3.25,均大于 2。在 Na₂O+K₂O-SiO₂(TAS)图解(图 3)上,所有花岗闪长岩样品都投影于花岗闪长岩区域内,这与其野外命名相一致。野外定名为“二长岩”的样品在图 3A 中有两个样品恰好落入二长岩区域,一个入二长岩与闪长岩的边界上,另外两个也靠近二长岩区域;但在图 3B 中,所有二长岩样品都投入闪长岩区域内,这与其野外命名不太一致,考虑到二长岩是根据主要矿物组合命名的,且其在 TAS 图解(图 3B)上也投影于非常靠近二长岩边界的闪长岩区域,故本文继续采用野外命名的“二长岩”这个名称。另外,在 ACNK-ANK 图解(图 4A)上,绝大多数样品

落入准铝质区域,只有个别样品落入弱过铝质区域,ACNK 值小于 1.1,且岩石基本上由石英、数量不等的斜长石和钾长石、角闪石和黑云母所组成,不含白云母,显然不是 S 型花岗岩,而是 I 型花岗岩^[18,19]。

3.2 微量及稀土元素

在稀土元素组成方面(表 2),库喀阿孜铅-锌(铜-钨)多金属矿区侵入岩样品具有基本一致的稀土元素含量及球粒陨石标准化稀土元素配分模式(图 5),均明显富集 LREE。样品的 ΣREE 含量为 (142.24~291.75)×10⁻⁶,其中,LREE 含量为 (123.47~273.44)×10⁻⁶,HREE 含量为 (16.62~19.88)×10⁻⁶,LREE/HREE 值为 6.58~14.93,(La/Yb)_N 值为 6.00~22.75,表明轻重稀土元素的分馏程度不高。具有弱到中等的负铕异常(δEu=0.53~0.97),说明源区存在斜长石的结晶。

库喀阿孜铅-锌(铜-钨)多金属矿区的二长岩、花岗闪长岩具有一致的微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 5),均相对富集大离子亲石元素(如 K、Rb、Th、U),而亏损高场强元素(如 Nb、Ta、Ti、P),具有正常的钙碱性大陆边缘弧花岗岩类特征^[24]。

与维氏值、中国花岗岩平均值^[25](表 2)相比,本区的二长岩、花岗闪长岩中的 W、Cu、Pb、Zn 等成矿元素的含量相差不大,并无明显富集。另外,目前在侵入岩体与变质岩之间的接触带(特别是花岗闪长岩与大理岩)还未发现有直接接触的矽卡岩、铅-

表 1 叶城县库喀阿孜铅-锌(铜-钨)多金属矿区侵入岩的主要元素分析结果及计算的一些参数

Table 1 Analytical results of major elements and calculated parameters of intrusive rocks from the

样品号	Kukaazi Pb-Zn-(Cu-W) polymetallic deposit, Yecheng										%
	Y1-YT-1	Y1-YT-2	yl-156	yl-157	yl-158	yl-159	yl-165	yl-166	yl-167	yl-168	
岩性	二长岩					花岗闪长岩					
SiO ₂	61.27	61.15	61.90	61.37	62.72	63.86	66.32	66.78	66.41	66.99	
TiO ₂	0.57	0.65	0.61	0.68	0.54	0.57	0.48	0.45	0.48	0.46	
Al ₂ O ₃	17.99	16.71	15.77	16.08	15.15	15.35	14.45	14.89	14.73	15.11	
TFe ₂ O ₃	4.62	5.82	5.60	6.35	5.17	5.18	4.09	3.73	3.91	3.81	
MnO	0.04	0.09	0.09	0.14	0.08	0.08	0.08	0.06	0.07	0.07	
MgO	1.42	2.36	2.58	2.92	2.35	2.41	1.78	1.58	1.70	1.64	
CaO	5.00	4.65	4.92	4.99	4.57	4.61	3.77	2.79	3.72	3.61	
Na ₂ O	2.90	3.07	2.31	2.13	2.05	2.09	2.41	2.41	2.38	2.39	
K ₂ O	3.65	3.54	3.84	4.38	4.45	4.60	4.41	4.79	4.07	4.70	
P ₂ O ₅	0.15	0.26	0.21	0.23	0.19	0.19	0.12	0.11	0.12	0.11	
LOI	1.63	1.38	1.17	0.64	1.29	0.87	1.15	1.83	1.16	1.17	
Total	99.49	99.93	99.15	100.05	98.71	99.95	99.16	99.54	98.84	100.20	
A/CNK	1.01	0.97	0.93	0.93	0.93	0.92	0.93	1.06	0.98	0.97	
ANK	2.08	1.89	1.98	1.96	1.88	1.83	1.67	1.65	1.79	1.68	
TFeO	4.16	5.24	5.04	5.72	4.65	4.66	3.68	3.36	3.52	3.43	
R ₁	2123	2033	2306	2154	2336	2323	2473	2431	2585	2439	
R ₂	984	962	988	1005	931	926	794	687	792	774	

注: R₁、R₂ 根据路远发(2004)^[26]编写的 GeoKit 中的 CIPW 程序计算所得;TFeO=0.9×TFe₂O₃

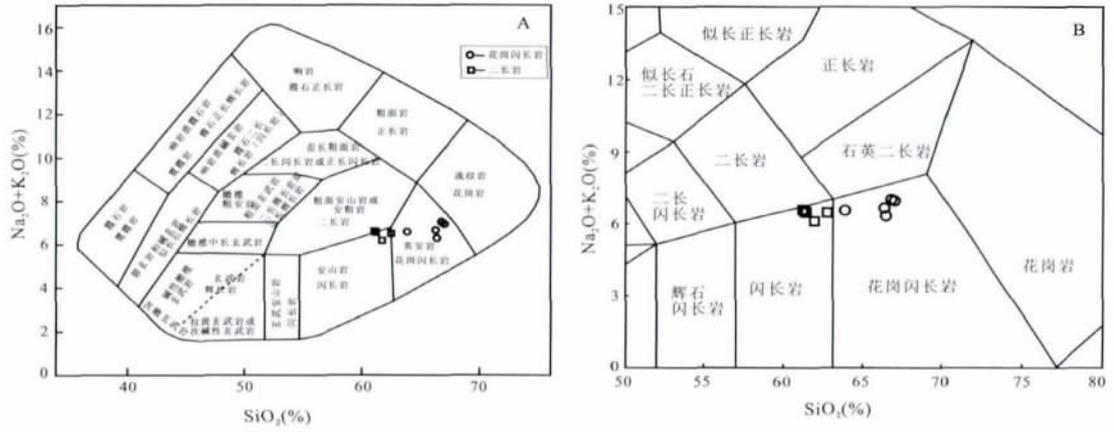


图 3 叶城县库喀阿孜铅-锌-(铜-钨)多金属矿区侵入岩的 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ (TAS)图解(底图据文献[20,21]修改,图例同图 3A)
 Fig. 3 The $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ (TAS) diagram of the intrusive rocks from the Kukaazi Pb-Zn-(Cu-W) polymetallic deposit, Yecheng (modified from ref. [20,21], legends in Fig. 3A)

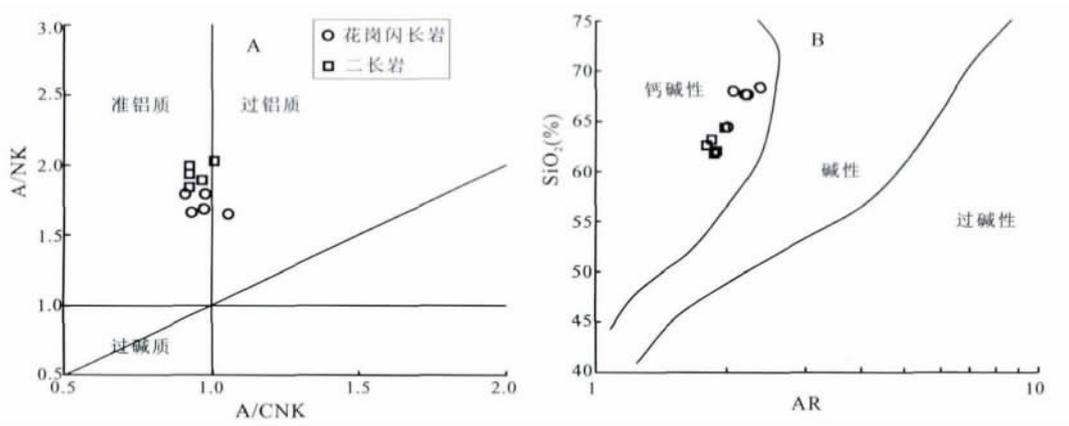
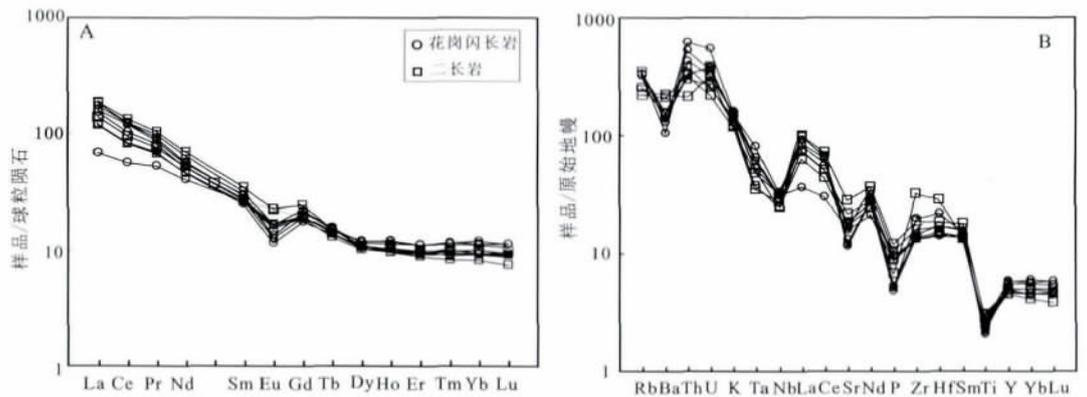


图 4 叶城县库喀阿孜铅-锌-(铜-钨)多金属矿区的二长岩、花岗闪长岩的 ACNK-ANK (A)图解和 AR-SiO₂ 图解(B)(据文献[22,23]修改)

Fig. 4 The ACNK-ANK diagram (A) and AR-SiO₂ diagram (B) of monzonite and granodiorite samples from the Kukaazi Pb-Zn-(Cu-W) polymetallic deposit, Yecheng (modified from ref. [22,23])



(球粒陨石数据来自文献[27];原始地幔数据来自文献[28])

图 5 叶城县库喀阿孜铅-锌-(铜-钨)多金属矿区侵入岩的稀土元素球粒陨石标准化配分曲线图 (A)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(B)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns (A) and primitive mantle-normalized trace element spider diagrams (B) of intrusive rocks from the Kukaazi Pb-Zn-(Cu-W) polymetallic deposit, Yecheng

表2 叶城县库喀阿孜铅-锌-(铜-钨)多金属矿区侵入岩的微量元素分析及计算的一些参数
 Table 2 Analytical results of trace elements and calculated parameters of intrusive rocks from the Kukaazi
 Pb-Zn-(Cu-W) polymetallic deposit, Yecheng ×10⁻⁶

样品号	维氏值(1962)	GSR-1	yl-YT-1	yl-YT-2	yl-156	yl-157	yl-158	yl-159	yl-165	yl-166	yl-168
岩性	花岗岩	中国花岗岩	二长岩				花岗闪长岩				
Li	40	119	16.0	15.0	16.0	23.6	10.9	8.62	15.4	16.2	16.0
Be	5.5	12.6	2.79	2.77	2.38	3.01	3.07	3.11	3.03	3.14	3.07
Sc	0.05	6.84	10.3	11.5	13.5	14.0	12.4	13.3	10.1	9.80	10.0
V	40	25	52.1	101	109	110	97.4	98.2	68.7	60.5	63.1
Cr	25	4.14	7.00	16.8	13.0	13.7	20.0	14.6	8.60	6.80	6.70
Co	5	3.07	84.1	98.3	93.4	94.9	83.8	92.8	102	67.0	57.6
Ni	8	2.49	5.39	8.39	6.60	6.33	5.51	7.37	3.85	3.13	4.34
Cu	20	3.53	14.5	15.8	21.7	31.3	7.69	8.34	6.31	4.21	7.74
Zn	60	26	73.9	98.4	72.1	99.9	62.3	83.6	54.0	49.8	49.6
Ga	20	18.9	18.3	18.8	15.6	16.2	15.1	15.1	14.4	14.2	14.8
Ge	—	2.14	1.26	1.34	1.44	1.22	1.43	1.43	1.50	1.43	1.48
As	1.5	1.99	37.7	37.7	36.4	36.2	37.7	35.4	37.0	36.0	36.5
Rb	200	469	154	142	164	224	217	213	208	217	224
Sr	300	109	463	603	391	357	373	341	248	281	259
Zr	200	165	366	214	152	184	156	151	226	156	167
Nb	20	39.3	20.0	22.8	17.8	18.1	17.8	22.3	23.0	21.1	23.9
Mo	1	3.14	2.25	1.33	1.14	0.580	1.26	1.07	0.789	0.713	0.978
Ag	0.05	0.0421	0.607	0.461	0.430	1.30	0.430	0.609	0.579	0.559	0.561
Cd	0.1	0.053	0.136	0.0861	0.104	0.443	0.203	0.356	0.106	0.123	0.151
In	—	—	0.0473	0.0568	0.0450	0.0531	0.0321	0.0438	0.0546	0.0424	0.0481
Sn	3	13.96	1.44	2.42	2.39	2.31	2.09	2.94	3.15	3.05	3.58
Sb	0.26	0.2	1.35	0.820	0.478	0.490	1.02	0.490	0.594	0.787	0.604
Cs	5	40.39	8.06	3.67	2.96	11.9	3.83	5.38	7.53	6.08	7.29
Ba	830	317	1574	1493	1095	1117	1085	984	742	920	915
Hf	1	5.82	8.98	5.80	4.54	5.29	4.76	4.41	6.85	4.75	5.39
Ta	3.5	8.15	1.45	2.00	1.56	1.56	2.15	2.52	2.23	2.70	3.35
W	1.5	9.06	2.00	1.00	*	*	*	*	*	*	*
Tl	—	2.12	1.26	0.689	0.784	1.32	1.07	1.05	1.04	1.14	1.17
Pb	20	29	32.4	27.3	18.6	190	36.2	76.6	24.8	25.2	29.9
Bi	0.01	0.49	0.438	0.0960	0.0823	0.557	0.387	0.208	0.136	0.306	0.185
Th	18	53.49	18.4	27.7	25.4	32.8	28.1	28.6	45.6	53.1	36.7
U	3.5	21.35	6.82	4.66	5.67	5.39	8.14	8.00	7.67	11.7	6.84
La	—	—	51.0	69.5	51.8	68.1	43.9	25.3	64.1	56.7	59.1
Ce	—	—	91.4	129	92.2	120	79.0	54.3	119	99.6	116
Pr	—	—	10.5	14.4	10.5	13.6	9.30	7.29	12.7	11.3	12.0
Nd	—	—	37.5	50.2	37.3	46.6	33.4	29.1	40.9	36.9	39.5
Sm	—	—	6.21	8.12	6.43	7.39	6.01	6.11	6.82	6.23	6.96
Eu	—	—	1.96	2.00	1.48	1.46	1.37	1.43	1.18	1.13	1.18
Gd	—	—	6.02	7.55	6.14	6.90	5.83	5.77	6.63	5.94	6.57
Tb	—	—	0.821	0.900	0.822	0.900	0.763	0.866	0.889	0.831	0.919
Dy	—	—	4.17	4.14	4.15	4.26	3.91	4.62	4.64	4.04	4.47
Ho	—	—	0.906	0.828	0.839	0.885	0.835	1.02	1.04	0.874	0.978
Er	—	—	2.52	2.23	2.41	2.41	2.32	2.78	2.82	2.40	2.81
Tm	—	—	0.363	0.299	0.344	0.325	0.332	0.417	0.419	0.355	0.405
Yb	—	—	2.54	2.07	2.31	2.30	2.29	2.85	3.00	2.50	2.78
Lu	—	—	0.378	0.290	0.352	0.343	0.339	0.436	0.437	0.362	0.409
Y	—	—	22.7	21.0	22.2	22.6	21.3	27.1	26.7	23.4	25.7
ΣREE	—	—	216.30	291.75	216.97	275.64	189.63	142.24	264.30	229.13	253.83
LREE	—	—	198.57	273.44	199.62	257.32	173.01	123.47	244.42	211.83	234.50
HREE	—	—	17.72	18.31	17.36	18.32	16.62	18.77	19.88	17.29	19.34
LREE/HREE	—	—	11.21	14.93	11.50	14.05	10.41	6.58	12.29	12.25	12.13
(La/Yb) _N	—	—	13.58	22.75	15.17	20.04	12.98	6.00	14.43	15.30	14.36
δEu	—	—	0.97	0.77	0.71	0.61	0.70	0.73	0.53	0.56	0.53

注:δEu= E_{uN}/(S_{mN}×G_{dN})^{1/2};N 为球粒陨石^[29]标准化值;—为未知或未引用;*为未测;维氏值(1962)即维诺格拉多夫花岗岩平均值;中国花岗岩数据引自文献[25]

锌-(铜-钨)多金属矿体或矿化,虽然含角闪石和黑云母的二长岩中斜长石和暗色矿物有弱的蚀变,但我们还是可以较肯定地认为本矿区产于大理岩或大理岩与硅质岩之间的铅-锌-(铜-钨)等多金属矿化与二长岩、花岗闪长岩侵入体无明显的关系。

4 二长岩的锆石 U-Pb 年龄

库喀阿孜含角闪石的二长岩样品(y1-YT-2)中锆石晶体呈无色长柱状,形态较完整,棱角较分明,少数呈断头晶出现。大多锆石晶体的 CL 图像显示出明显的韵律震荡环带,说明它们具岩浆结晶锆石

特征。锆石晶体长轴一般为 $100 \sim 270 \mu\text{m}$,单颗粒锆石长宽比为 $1.4 \sim 4.0$ (图 6)。该样品锆石 U-Pb 年龄测试结果见表 3。21 个 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 分析数据点的加权平均年龄为 $461.5 \pm 3.3 \text{ Ma}$ ($n=21$, $\text{MSWD}=2.1$)(图 7)。这代表了该二长岩的侵位时代,属加里东期中期。这与产于西昆仑地区库地枕状玄武岩北侧的闪长岩(角闪石和黑云母的 Ar-Ar 在 Rb-Yb+Nb 图线年龄分别为 $\sim 474 \text{ Ma}$ 和 $\sim 460 \text{ Ma}$ ^[12])和花岗闪长岩(锆石 U-Pb 年龄为 458 Ma ^[12])侵位时代基本一致。



图 6 叶城县库喀阿孜铅-锌-(铜-钨)多金属矿区二长岩中的锆石的阴极发光(CL)图像及测试位置

Fig. 6 Cathodoluminescence(CL)images and analyzing locations of zircon grains of monzonite from the Kukaazi Pb-Zn-(Cu-W) polymetallic deposit, Yecheng

表 3 叶城县库喀阿孜铅-锌-(铜-钨)多金属矿区二长岩中锆石的 LA-ICP-MS 方法 U-Pb 同位素定年

Table 3 The LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic dating of monzonite from the Kukaazi Pb-Zn-(Cu-W) polymetallic deposit, Yecheng

测点	同位素比值								年龄/Ma				Th/U
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	
YT-2-01	0.0562	0.0016	0.6017	0.0172	0.0771	0.001	0.0231	0.0007	461±65	478±11	479±6	462±14	0.56
YT-2-02	0.0565	0.0013	0.5861	0.0129	0.0744	0.0008	0.0228	0.0006	472±45	468±8	463±5	455±11	0.64
YT-2-03	0.0593	0.0021	0.5931	0.0208	0.0711	0.0012	0.0204	0.0008	589±76	473±13	443±7	407±16	0.75
YT-2-04	0.0559	0.0012	0.5871	0.0126	0.0753	0.0008	0.0243	0.0006	456±14	469±8	468±5	486±11	0.54
YT-2-06	0.0606	0.0016	0.6314	0.0165	0.0752	0.0008	0.0263	0.0007	633±57	497±10	467±5	525±13	0.44
YT-2-07	0.0575	0.0013	0.6064	0.0141	0.0761	0.0008	0.0251	0.0006	509±55	481±9	473±5	500±12	0.47
YT-2-08	0.0596	0.0017	0.6338	0.0188	0.0769	0.0011	0.0248	0.0007	587±63	498±12	477±7	495±14	0.63
YT-2-09	0.0555	0.0012	0.5663	0.0132	0.0735	0.0008	0.0231	0.0005	432±45	456±9	457±5	462±10	0.51
YT-2-10	0.0617	0.0013	0.5906	0.0129	0.069	0.0007	0.0209	0.0004	661±46	471±8	430±4	418±9	0.69
YT-2-11	0.0556	0.0014	0.5713	0.0144	0.0742	0.0008	0.0232	0.0005	439±53	459±9	462±5	464±11	0.78
YT-2-12	0.0544	0.0013	0.5592	0.0135	0.0739	0.0009	0.0228	0.0006	391±47	451±9	460±5	457±11	0.63
YT-2-13	0.0569	0.0013	0.584	0.0132	0.0738	0.0008	0.0224	0.0005	487±50	467±8	459±5	448±10	0.66
YT-2-14	0.0555	0.0013	0.5684	0.0129	0.0737	0.0007	0.0228	0.0005	435±47	457±8	459±4	455±11	0.51
YT-2-15	0.0531	0.0013	0.5181	0.0124	0.0702	0.0007	0.0204	0.0005	332±56	424±8	437±4	408±10	0.68
YT-2-16	0.0515	0.0012	0.5383	0.0128	0.0753	0.0008	0.0222	0.0006	261±56	437±8	468±5	444±11	0.52
YT-2-17	0.0516	0.0012	0.5216	0.0124	0.0725	0.0009	0.0221	0.0006	265±54	426±8	451±5	441±12	0.73
YT-2-18	0.0518	0.0012	0.5339	0.0119	0.074	0.0007	0.0222	0.0005	276±54	434±8	460±4	444±11	0.62
YT-2-19	0.0541	0.0012	0.5537	0.0122	0.0733	0.0007	0.0228	0.0005	376±55	447±8	456±4	456±11	0.52
YT-2-20	0.0524	0.0011	0.5407	0.0116	0.0737	0.0007	0.0232	0.0005	306±50	439±8	459±4	464±11	0.5
YT-2-21	0.0564	0.0014	0.5784	0.0143	0.0733	0.0008	0.0234	0.0006	478±54	463±9	456±5	467±11	0.78
YT-2-22	0.0533	0.0012	0.5563	0.0126	0.0743	0.0008	0.023	0.0005	343±45	449±8	462±5	461±10	0.6
YT-2-23	0.0529	0.0013	0.5555	0.0132	0.0749	0.0008	0.0238	0.0006	324±21	449±9	466±5	476±12	0.53
YT-2-24	0.0535	0.0012	0.546	0.0113	0.0731	0.0009	0.023	0.0005	350±84	442±7	455±5	459±11	0.51

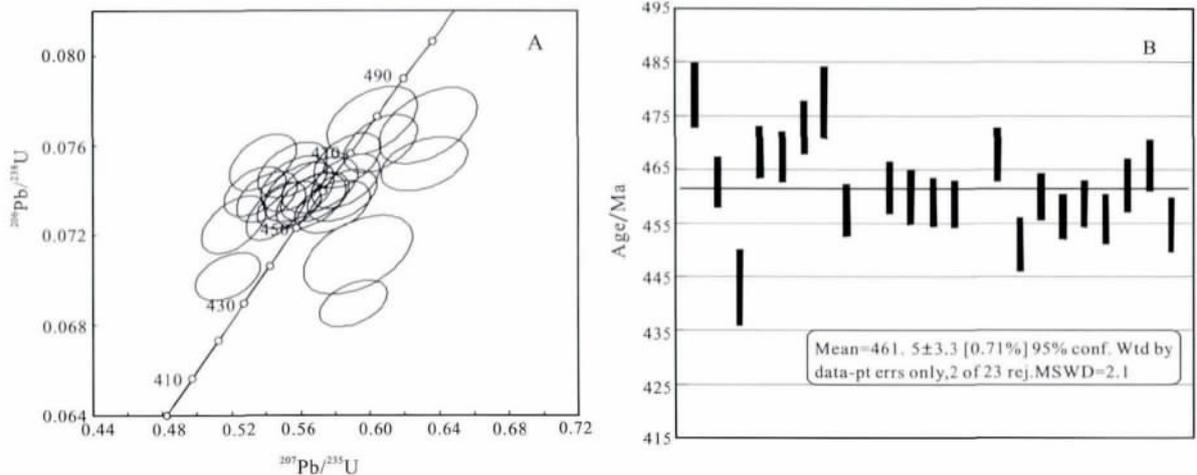


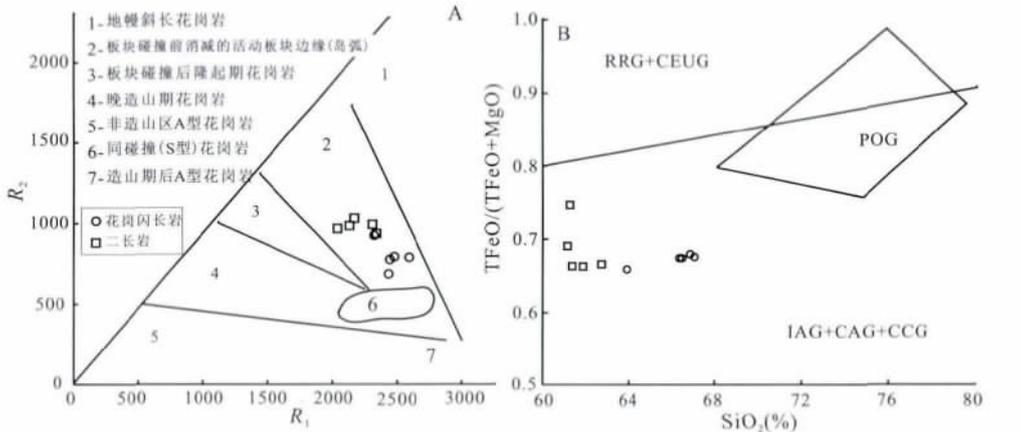
图7 库喀阿孜铅-锌-(铜-钨)多金属矿区二长岩的锆石 U-Pb 谐和年龄(A)和加权平均年龄(B)

Fig. 7 Diagrams showing U-Pb Concordia age (A) and weighted average age (B) of zircons from monzonite of the Kukaazi Pb-Zn-(Cu-W) polymetallic deposit

5 岩石成因探讨

新疆鑫晶矿业技术有限公司 2011 年资料显示, 库喀阿孜铅-锌-(铜-钨)多金属矿区的中-酸性侵入岩系侵入到前寒武纪变质基底中, 岩性以二长岩、花岗闪长岩为主, 属准铝质岩石(图 4A), ACNK 值小于 1.1, $K_2O/Na_2O > 1$, 且岩石基本上由斜长石和钾长石、石英、角闪石和黑云母所组成, 不含白云母, 显然不是 S 型花岗岩, 而是 I 型花岗岩^[18,19]。二长岩和花岗闪长岩具有基本一致的稀土元素和微量元素配分模式, 表明二者具有相同的源区。与 LILE 相比, 高场强元素(HFSE)相对亏损, 在微量元素蛛网图中显示出明显的与俯冲作用有关的 Nb

和 Ti 谷^[30]。Brown 等^[24]在划分与俯冲带有关的花岗岩类时指出, 火山弧的成熟度与岩石中微量元素的特征有关, 正常的钙碱性大陆边缘弧花岗岩类富集 LILE 和具有低的 HFSE/LILE 比值, 本文研究的上述花岗质岩石就具有这一特征。在 R1-R2 构造判别图(图 8A)中, 本研究区的二长岩、花岗闪长岩样品全部落入板块碰撞前消减的活动板块边缘(岛弧)范围, 表现为俯冲阶段岩浆作用的产物, 并明显具有向同碰撞花岗岩演化的趋势^[31,32]。在 Rb-Yb+Nb 图解上, 样品全部落入火山弧花岗岩范围; 在 $TFeO/[(TFeO) + (MgO)]-SiO_2$ 图解(图 8B)上, 样品落入岛弧花岗岩类+大陆弧花岗岩类+大陆碰撞花岗岩类区域; 在 Nb-Y 图解(图 9)上,

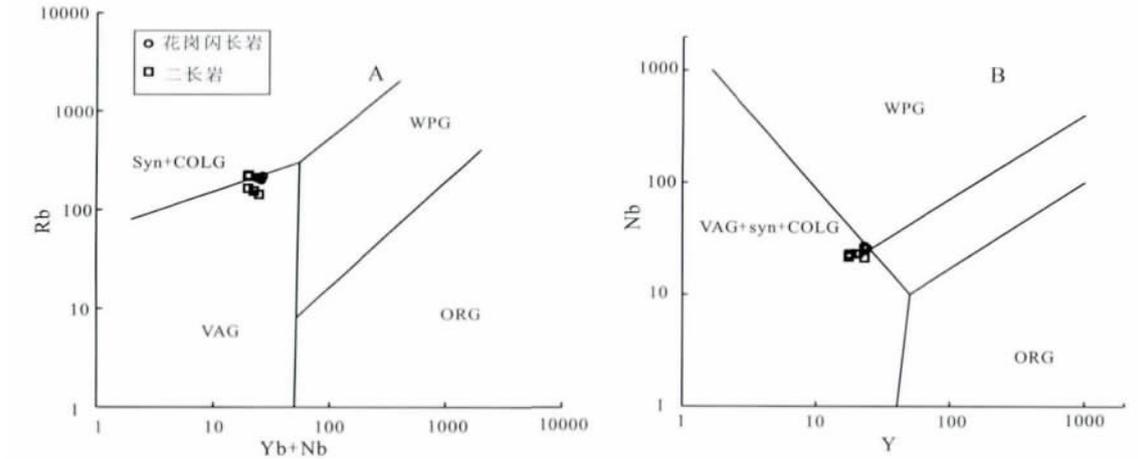


TFeO-全铁; IAG+CAG+CCG-岛弧花岗岩类+大陆弧花岗岩类+大陆碰撞花岗岩类; POG-后造山花岗岩; RRG+CEUG-裂谷花岗岩类+大陆造山后抬升阶段花岗岩类
图8 库喀阿孜铅-锌-(铜-钨)多金属矿区二长岩、花岗闪长岩的 R_1-R_2 图解(A)和 $TFeO/[(TFeO) + (MgO)]$ vs. SiO_2 图解(B)(据文献^[22,32]修改)

Fig. 8 R_1-R_2 diagram (A) and $TFeO/[(TFeO) + (MgO)]$ vs. SiO_2 diagram (B) of monzonite and granodiorite samples from the Kukaazi Pb-Zn-(Cu-W) polymetallic deposit (modified from ref. ^[22,32])

样品落入火山弧花岗岩+同碰撞花岗岩区。综上所述,库喀阿孜的中酸性侵入岩体不论在共生岩石组合、岩相学还是在地球化学等方面,具火山弧花岗岩的特点。此外,Jakes and White^[33]的研究表明,活动陆缘区的 SiO_2 为 56%~75%, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 为 5.81%, $(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3) / \text{MgO} > 2$, 而岛弧区相应的值为 50%~66%, 4.51% 和 < 2 。与其相

比,研究区岩石化学特征,即 SiO_2 为 61.15%~66.99%、 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 为 6.66%, $\text{TFe}_2\text{O}_3 / \text{MgO}$ 值为 2.15~3.25,均大于 2,更具有活动陆缘的特点。据此我们认为库喀阿孜中酸性侵入岩体属于 I 型陆缘弧花岗岩。这与库喀阿孜矿区所在的大地构造位置为孙海田等^[10]认为的“西昆仑中间地块及显生宙岩浆弧带”是一致的。



VAG-火山弧花岗岩;WPG-板内花岗岩;Syn-COLG-同碰撞花岗岩;ORG-洋脊花岗岩

图9 库喀阿孜铅-锌-(铜-钨)多金属矿区二长岩、花岗闪长岩的 Rb-Yb+Nb 图解 (A)和 Y-Nb 图解(B)(据文献[35]修改)

Fig. 9 The Rb-Yb+Nb diagram (A) and Y-Nb diagram (B) of monzonite and granodiorite samples from the Kukaazi Pb-Zn-(Cu-W) polymetallic deposit (modified from ref. [35])

另外,据前人^[11,12,30,34]对西昆仑地区加里东期花岗岩的研究,得出这些花岗岩的形成时代在 400~480 Ma 和 520~480 Ma 之间,此时乌依塔克-库地洋盆(洋盆南侧为西昆仑地块)正处于收缩阶段,洋壳向西昆仑地块之下消减,西昆仑北侧转变成活动陆缘,形成了西昆仑加里东期火山弧花岗岩类^[30]。因此,本研究区的二长岩岩体(461.5±3.3Ma)和花岗闪长岩是在该阶段侵位形成的。

6 结 论

(1)新疆叶城县库喀阿孜地区出露的二长岩和花岗闪长岩是一套主要由斜长石、钾长石、石英和角闪石组成的具钙碱性、准铝质(较低的铝饱和指数 $A/\text{CNK} = 0.91 \sim 1.05$)的中性-中酸性侵入岩。

(2)二长岩、花岗闪长岩具有基本一致的稀土元素配分模式和微量元素配分模式,表明二者具有相同的源区。它们富集 LILE 和具有低的 HFSE/LILE 比值,属正常的钙碱性大陆边缘弧花岗岩类,具有弱到中等的负铕异常($\delta\text{Eu} = 0.53 \sim 0.97$),显示其源区有斜长石结晶。它们与库喀阿孜地区的铅-锌-(铜-钨)等多金属矿化无明显联系。

(3)二长岩岩体的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 加权平均年龄为 $461.5 \pm 3.3\text{Ma}$,属加里东中期。

(4)二长岩、花岗闪长岩被认为属 I 型陆缘弧花岗岩,是在加里东中期乌依塔克-库地洋盆收缩,洋壳消减,西昆仑北侧转变成活动陆缘阶段侵位形成的。

致 谢:野外考察得到新疆临钢资源投资有限公司谢春彪、张学贵、张弘、张道华、粟永新、陈超等以及吉林地勘局第三地质调查所郑鹤龄高工等的帮助。分析测试过程得到矿床地球化学国家重点实验室胡静、张颖等老师和同学的帮助,在此一并致感谢。

参考文献 (References):

- [1] Tapponnier P, Peltzer G, Armijo R, Cobbold P. Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticine [J]. *Geology*, 1982, 10: 611-616.
- [2] Coward M P, Pies A C. Collision Tectonics. In *On the mechanics of the collision between India and Asia*[C]. Geological Society, London, Special Publications, 1986, 19: 115-157.
- [3] Peltzer G, Tapponnier P. Formation and evolution of strike-

- slip faults, rifts, and basins during the India-Asia collision: An experimental approach [J]. *J. Geoph. Res.*, 1988, 93 (12): 1508-1517.
- [4] Gaetani M, Garzanti E, Jadoul F, Nicora A, Tintori A, Pasi-ni M, Kanwar S A K. The north Karakorum side of the Cen-tral Asia geopuzzle [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1990, 102: 54-62.
- [5] Avouac J P, Tapponnier P. Kinematic model of active deforma-tion in central Asia [J]. *Geophy. Res. Lett.*, 1993, 20: 895-898.
- [6] 汪玉珍, 方锡廉. 西昆仑山、喀喇昆仑山花岗岩类时空分布规律的初步探讨[J]. *新疆地质*, 1987, 5 (1): 9-24.
- [7] 潘裕生. 昆仑山区构造区划初探[J]. *自然资源学报*, 1989, 4 (3): 196-203.
- [8] 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵, 朱志直, 赵明, 柴耀楚. 昆仑开合构造[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- [9] 贾群子, 李文明, 张东生, 高鹏, 陈贵民, 于浦生, 邬介人. 西昆仑块状硫化物矿床成矿条件和成矿预测[M]. 北京: 地质出版社, 2001.
- [10] 孙海田, 李纯杰, 吴海, 王宏君, 祈世军, 陈贵民, 刘振涛, 高鹏. 西昆仑金属成矿省概论[M]. 北京: 地质出版社, 2003.
- [11] 陈哲夫. 关于多旋回开合构造及区域成矿若干观点的认识 [J]. *新疆地质*, 1995, 13 (1): 1-12.
- [12] 许荣华, 张玉泉, 谢应雯, 陈福坤, N. Arnaud Ph. Vidal. 西昆仑山北部早古生代构造-岩浆带的发现[J]. *地质科学*, 1994, 29 (4): 313-327.
- [13] 许志琴, 李思田, 张建新, 杨经绥, 何碧竹, 李海兵, 林畅松, 蔡志慧. 塔里木地块与中亚特提斯构造体系的对接 [J]. *岩石学报*, 2011, 27 (01): 1-22.
- [14] 许志琴, 张建新, 徐慧芬, 王宗秀, 李海兵, 杨天南, 邱小平, 曾令森, 沈昆, 陈文. 中国主要大陆山链韧性剪切带动力学[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [15] 新疆鑫晶矿业技术有限公司 2011 年资料[R]. 2011.
- [16] 黄艳, 李亮, 漆亮. 锆石 U-Pb 定年中激光剥蚀方式对质量分馏的影响[J]. *矿物学报(增刊)*, 2009, (1): 599.
- [17] Ludwig K R. Isoplot 3.00: A Geochronological toolkit for microsoft excel [M]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2003: 4-70.
- [18] Debon F, Le Fort P, Sheppard S M, Sheppard, Sonet J. The four plutonic belts of the Transhimalaya-Himalaya: A chemical, mineralogical, isotopic, and chronological synthesis along a Tibet-Nepal section[J]. *J. Petrol.*, 1986, 27: 219-250.
- [19] Chappell B W, White A J R. Two contrasting granite types [J]. *Pacific Geol.*, 1974, 8: 173-174.
- [20] Cox K G, Bell J D, Parkhurst R J. The interpretation of igne-ous rocks [M]. London, George Allen and Unwin, 1979.
- [21] Middelmost E A K. Naming materials in the magma/igneous rock system [J]. *Earth Sci. Rev.*, 1994, 37: 215-224.
- [22] Maniar P D, Piccolli P M. Tectonic discrimination of granit-oid [J]. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 1989, 101: 635-643.
- [23] Wright J B. A simple alkalinity ratio and its application to queations of non-orogenic granite genesis [J]. *Geological Magazine*, 1969, 106(04): 370-384.
- [24] Brown G C, Thorpe R S, Webb P C. The geochemical char-acteristics of granitoids in contrasting arcs and comments on-magma sources [J]. *Geo. Soc.*, 1984, 141: 413-426.
- [25] 史长义, 鄢明才, 刘崇民, 迟清华, 胡树起, 顾铁新, 卜维, 鄢卫东. 中国花岗岩类化学元素丰度及特征[J]. *地球化学*, 2005, 34(5): 470-482.
- [26] 路远发. GeoKit: 一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包 [J]. *地球化学*, 2004, 33(5): 459-464.
- [27] Taylor S R, McLennan S M. The geochemical evolution of the continental crust [J]. *Reviews of Geophysics*, 1995, 33 (2): 241-265.
- [28] Sun S S, McDonough W E. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [A]. Saunders A D, Norry M J (eds.). *Mag-matism in Oceanic Basins*[C]. Geological Society London Special Publications, 1989, 42 (1): 313-345.
- [29] Boynton W V. Geochemistry of the rare earth elements; Me-teorite studies [A]. Henderson P. Rare earth elements geo-chemistry [M]. Elsevier, 1984: 63-114.
- [30] 姜耀辉, 芮行健, 贺菊瑞, 郭坤一, 杨万志. 西昆仑山加里东期花岗岩类构造的类型及其大地构造意义[J]. *岩石学报*, 1999, 15(1): 105-115.
- [31] 杜德道, 曲晓明, 王根厚. 西藏班公湖-怒江缝合带西段中特提斯洋盆的双向俯冲: 来自岛弧型花岗岩锆石 U-Pb 年龄和元素地球化学的证据 [J]. *岩石学报*, 2011, 27 (7): 1993-2002.
- [32] Betchelor R A, Bowden P. Petrogenetic interpretation of granit-oid rock series using multicationic parameters [J]. *Chem. Geol.*, 1985, 48: 43-55.
- [33] Jakes P, White A J R. Major and trace element abundance in volcanic rocks of orogenic areas [J]. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 1972, 83: 29-39.
- [34] 王元龙, 王中刚, 李向东, 黄智龙. 西昆仑加里东期花岗岩带的地质特征[J]. *矿物学报*, 1995, 15(4): 457-461.
- [35] Pearce J L A, Harris B W. Trace elements discrimination di-agrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *Petrology J. Part*, 1984, 4: 956-983.