

青海祁漫塔格卡尔却卡铜多金属矿区花岗闪长岩 锆石 SHRIMP U-Pb 测年及其地质意义

王 松¹ 丰成友¹ 李世金² 江军华¹ 李东生² 苏生顺²

(1.中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037;2.青海省地质调查院,青海 西宁 810012)

摘要:笔者在对青海祁漫塔格地区卡尔却卡铜多金属矿床进行典型解剖基础之上,开展了区内与矽卡岩型铁铜铅锌多金属矿化具有密切成因联系的花岗闪长岩的岩石地球化学和锆石 SHRIMP U-Pb 精细定年研究。结果表明:花岗闪长岩为高钾钙碱性系列,轻稀土富集,轻重稀土分异明显,具弱的负铕异常($\delta \text{Eu}=0.61\sim 0.91$);微量元素以富集大离子亲石元素 Rb、K、Th,亏损 Nb、Sr、Ti 为特征;获得 15 个锆石数据点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 (237 ± 2) Ma (MSWD=0.8),表明岩体形成于中三叠世,属印支期岩浆活动的产物。结合年代学、岩石地球化学和区域地质构造演化特征,笔者认为本区花岗闪长岩形成的构造环境为后碰撞演化阶段。

关键词:花岗闪长岩;锆石 SHRIMP U-Pb 测年;祁漫塔格;卡尔却卡;东昆仑造山带

中图分类号: P588.12⁺.2 **文章标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2009)01-0075-11

青海祁漫塔格地区位于柴达木盆地西缘、东昆仑西段,是青海省重要的铁、铜、铅、锌多金属成矿带。近年来,随着本区新一轮国土资源大调查的开展,找矿工作取得较大突破,不仅发现了新类型矿床^[1],而且还发现一系列新的矿床(点)。其中,位于青海、新疆两省区交界处的卡尔却卡铜多金属矿床即是典型代表之一(图 1)。该矿床由青海省地质调查院于 2003 年发现,成矿元素组合复杂,以 Cu-Pb-Zn 为主,并伴生有 Fe、Au、Ag 等,目前矿床规模已达中型,正在开展的矿产勘查工作显示其进一步的找矿潜力巨大。

由于该矿床发现较晚,相关的地质研究工作刚刚开始。笔者在野外调查时发现,区内强烈发育的矽卡岩多金属矿化与花岗闪长岩关系密切,那么,花岗闪长岩形成于什么时代?产出的构造环境和反映的地球动力学过程又是怎样?对包括祁漫塔格在内的青海东昆仑地区的花岗岩研究,前人已做了大量工作^[2-6],然而,与其相关的金属成矿作用未见报道。因此,笔者拟对卡尔却卡矿区与矽卡岩多金属成矿密切相关的花岗闪长岩开展系统的岩石地球化学和

锆石 SHRIMP U-Pb 定年研究,以准确厘定该区花岗闪长岩的形成时代,探讨其产出的地质构造环境以及与多金属成矿作用之间的关系,为进一步认识区域地质构造演化和找矿工作提供帮助。

1 矿区地质概况

卡尔却卡铜多金属矿区出露岩石以花岗质侵入岩为主(占基岩面积的 90%以上),其次为少量奥陶纪—志留纪滩间山群大理岩和基性火山岩,以剥蚀残留体形式零星分布于侵入岩体中(图 1)。第四系主要为河谷冲积砂、砾和粘土,分布于河谷和山前地区。

侵入岩主要有似斑状黑云母二长花岗岩和花岗闪长岩,此外,尚有一些闪长岩、闪长玢岩和花岗岩等呈小岩枝或岩脉产出,与花岗闪长岩时空关系密切,推测为同源岩浆演化的产物。另据钻孔资料,于矿区深部揭露出花岗闪长斑岩和黑云母花岗斑岩等小岩体,它们具铜等金属矿化。似斑状黑云母二长花岗岩呈岩基状产出,整体展布呈 NWW 向,与区域构造线基本一致,岩石为浅肉红色,中-粗粒似斑状

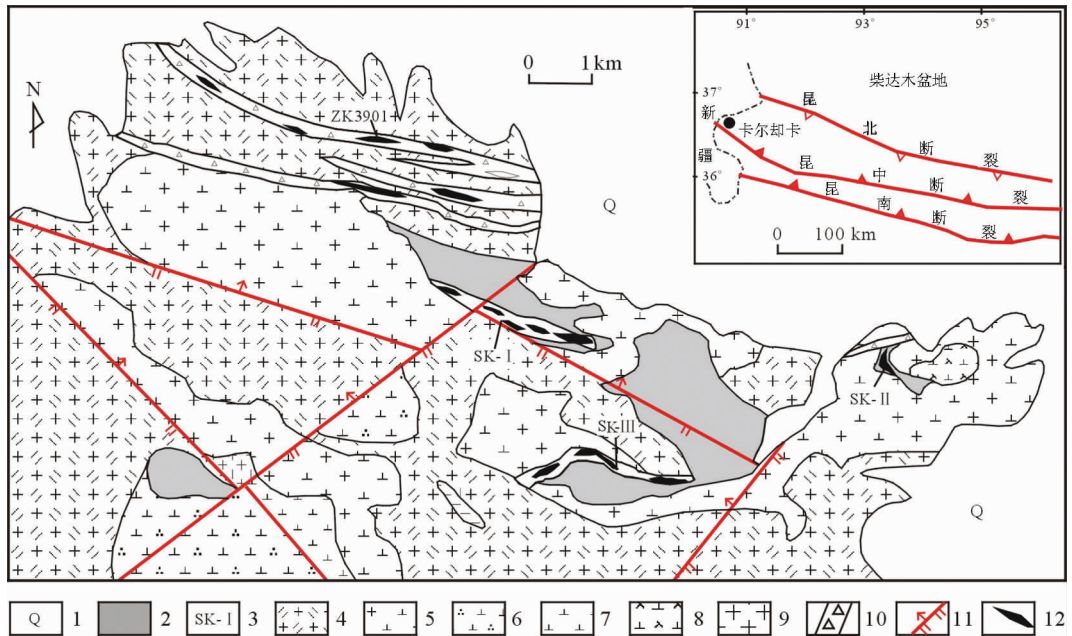


图 1 卡尔却卡铜多金属矿区地质简图^①

1—第四系;2—滩间山群;3—矽卡岩;4—似斑状二长花岗岩;5—花岗闪长岩;6—石英闪长岩;7—闪长岩;
8—闪长玢岩;9—花岗岩;10—破碎蚀变带;11—断层;12—矿体

Fig.1 Geological sketch map of the Kaerqueka copper-polymetallic ore district(after Li et al., 2008)

1-Quaternary;2-Tanjianshan Group;3-Skarn;4-Porphyrilitoid adamellite;5-Granodiorite;6-Quartz diorite;
7-Diorite;8-Diorite-porphyrite;9-Granite;10-Altered shatter zone;11-Fault;12-Ore body

结构,块状构造,局部片麻状构造。花岗闪长岩呈岩株状侵入于黑云母二长花岗岩中,形态为较规则长条状,受构造控制明显亦呈 NWW 向展布。岩石呈灰白色,中-细粒花岗结构,块状构造,多发育不规则形状的暗色微粒包体,主要矿物成分为石英(10%~20%)、斜长石(50%~60%)、钾长石(10%~20%)、黑云母(约为 5%)和角闪石(约为 5%)。该类岩体东端与奥陶纪—志留纪滩间山群火山—沉积岩系接触部位常常形成富含多金属矿化的矽卡岩带(图 1),其即为本次开展岩石地球化学研究和锆石 SHRIMP U-Pb 测年的重要对象。

矿区构造以断裂为主,褶皱构造不发育。断裂有 NWW 向和 NE 向 2 组,以前者为主。NWW 向断裂集中分布于野拉赛以西,挤压强烈,断裂破碎带一般宽 50~300 m,长度一般大于 10 km,是重要控岩和控矿构造。NE 向断裂分布于野拉赛,显示张性特征,构造带宽 50~350 m,长度大于 15 km,该组断裂切穿 NWW 向断裂和花岗岩类岩体。

矿区矿化类型主要有两种:① 岩体破碎蚀变带控制的细脉浸染状、热液脉状铜矿化。产于矿区西北

段的似斑状黑云母二长花岗岩中(图 1),地表共圈出 3 条破碎蚀变带和 10 条铜矿体。破碎蚀变带宽 40~150 m,走向延长几百米至 4 km。矿体中石英细脉发育,一般宽几厘米,最宽 1.3 m,具黄铜矿化、黄铁矿化,含铜最高达 7.57%。铜矿体中普遍伴生金,其含量在 $(0.1\sim 0.5)\times 10^{-6}$ 。矿石具碎裂结构、他形粒状变晶结构、填隙结构、浸蚀结构和稠密浸染状、脉状、网脉状构造。主要金属矿物为黄铜矿、黄铁矿,含少量黑钨矿、锡石、毒砂。根据钻孔(ZK3901)揭露,其深部有花岗闪长斑岩、黑云母花岗斑岩体侵入,斑岩体普遍发育黄铁矿化、绢云母化,铜品位在 $0.1\%\pm$ 的矿化厚度达 140 多米,具全岩矿化的特点。蚀变特征表现为自矿体中心向外的面型,中部为钾化和硅化,外侧为黄铁绢英岩化。因受风化作用影响,蚀变带普遍有褐铁矿化,铜矿化地段有孔雀石发育。上述矿化、蚀变等地质特征,结合流体包裹体岩相学、显微测温和激光拉曼探针成分分析结果^②,表明该类型矿化应为与高中温岩浆热液作用有关的斑岩型铜矿化。② 岩体与地层围岩接触带的矽卡岩型多金属矿化。矿区内共圈出 3 处多金属矿化矽卡岩带,均产

于花岗闪长岩与滩间山群的接触部位。但不同矿化矽卡岩带产出的金属成矿元素组合不一,SK-I号矽卡岩带以铜-锌-铁为主,已圈出地表铜矿体7条、深部铜-锌-铁多金属矿体15条;SK-II号矽卡岩带主要为铅-锌组合,并伴生金和银,共圈出5条铅-锌-银矿体和3条低品位金矿体;SK-III号矽卡岩带主要为铜-钼,并伴生金和银,已圈出铜-钼矿体3条,矿石品位较高,其中的块状辉钼矿矿石和块状铜矿石最高品位分别达26%和59%。不同地段的成矿元素组合变化较大,很可能是由于被交代的围岩岩性不同所致,因而,它们的金属成矿物质来源也就不一样。野外观察表明,SK-I号矽卡岩带被交代岩石主要为滩间山群大理岩和基性火山岩,铁、铜、锌等成矿元素主要来自火山岩,这与研究区北部柴达木盆地北缘的青龙滩含铜黄铁矿矿床的围岩岩性和元素组合相一致^[8];SK-II号矽卡岩带被交代岩石为滩间山群大理岩,铅-锌-银等成矿物质来源与柴达木盆地北缘的锡铁山铅-锌矿床类似,均来自大理岩^[9];而SK-III号矽卡岩带铜、钼矿化出现则与下盘直接为花岗岩体和开采深度较大有关。矽卡岩矿化矿物组成较为复杂,金属矿物有黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、黝铜矿、铜蓝、黄铁矿、磁铁矿、针铁矿、闪锌矿、方铅矿、硬锰矿、磁黄铁矿等,脉石矿物包括石英、钾长石、斜长石、绢云母等。矽卡岩化蚀变作用强烈,发育透辉石、绿泥石、绿帘石、阳起石、石榴子石、方解石等。

2 花岗闪长岩地球化学特征

2.1 样品采集及测试

样品均采自卡尔却卡矿区内花岗闪长岩体的不

同部位。为了保证样品分析数据的准确性,选择了8件新鲜样品进行了岩石主元素、微量元素和稀土元素分析。主元素分析在中国科学院地质与地球物理研究所岩矿分析室用XRF-1500荧光光谱仪进行,其中,FeO含量分析用化学容量法完成。微量元素分析在中国科学院地质与地球物理研究所ICP-MS实验室进行,利用酸溶法将样品溶液制备好后,在ICP-MS Element II等离子体质谱仪上测定微量元素的含量,所用标样为GSR-1、GSR-2和GSR-3,分析误差小于5%~10%。

2.2 主元素特征

卡尔却卡铜多金属矿区花岗闪长岩主量元素分析结果见表1。从中可见,8件样品SiO₂含量为59.87%~66.50%,平均为63.42%,为中酸性岩类。A/CNK为1.49~1.66,平均为1.55,属过铝质;KN/A为0.36~1.40,平均为0.39。全碱含量(Na₂O+K₂O)为6.05%~6.93%,平均含量为6.44%,里特曼指数为1.56~2.68,为钙碱性岩石。在判断岩石系列的SiO₂-(Na₂O+K₂O)相关图解上,所有数据点均落在亚碱性系列(图2-a);在AFM图解(图2-b)中指示该类岩石为钙碱性系列岩石;在SiO₂-K₂O图解中(图2-c),全部落在高钾系列中。由上述图解可以判定,卡尔却卡矿区花岗闪长岩为高钾钙碱性系列岩石。

2.3 稀土元素和微量元素特征

卡尔却卡铜多金属矿区花岗闪长岩稀土及微量元素分析结果见表2。从花岗闪长岩稀土元素球粒陨石标准化图中(图3-a)可以看出为轻稀土富集型,(La/Yb)_N为5.74~11.48,平均为8.82,稀土配分曲线表现为右倾式,轻稀土明显右倾,重稀土较为平直,具弱的负铕异常 δ Eu=0.61~0.91。微量元素原始

表1 卡尔却卡矿区花岗闪长岩岩石化学成分(10⁻²)

Table 1 Chemical composition of granodiorite in the Kaerqueka polymetallic deposit (10⁻²)

样品号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量	总量
KD002	63.47	0.67	16.05	1.28	3.52	0.10	2.48	4.37	3.43	2.89	0.16	0.65	99.07
KD003	63.54	0.67	16.52	1.67	2.87	0.09	2.24	4.46	3.70	2.83	0.15	0.57	99.31
KD004	63.08	0.69	16.50	1.47	3.20	0.09	2.31	4.75	3.67	2.62	0.16	0.55	99.09
KD005	63.80	0.66	16.54	1.41	2.96	0.10	2.15	4.25	3.47	2.96	0.15	0.63	99.07
KD029	61.04	0.71	17.94	1.77	3.37	0.10	1.74	4.71	4.27	2.66	0.18	0.55	99.04
KD037	59.87	0.78	18.47	1.41	3.94	0.10	1.88	5.11	4.23	2.49	0.19	0.57	99.05
KD039	66.08	0.50	15.62	1.37	2.62	0.13	1.65	3.59	3.20	3.05	0.12	1.18	99.11
CZK1401	66.50	0.51	15.60	0.10	3.37	0.10	1.57	3.36	3.02	3.03	0.11	1.73	99.00

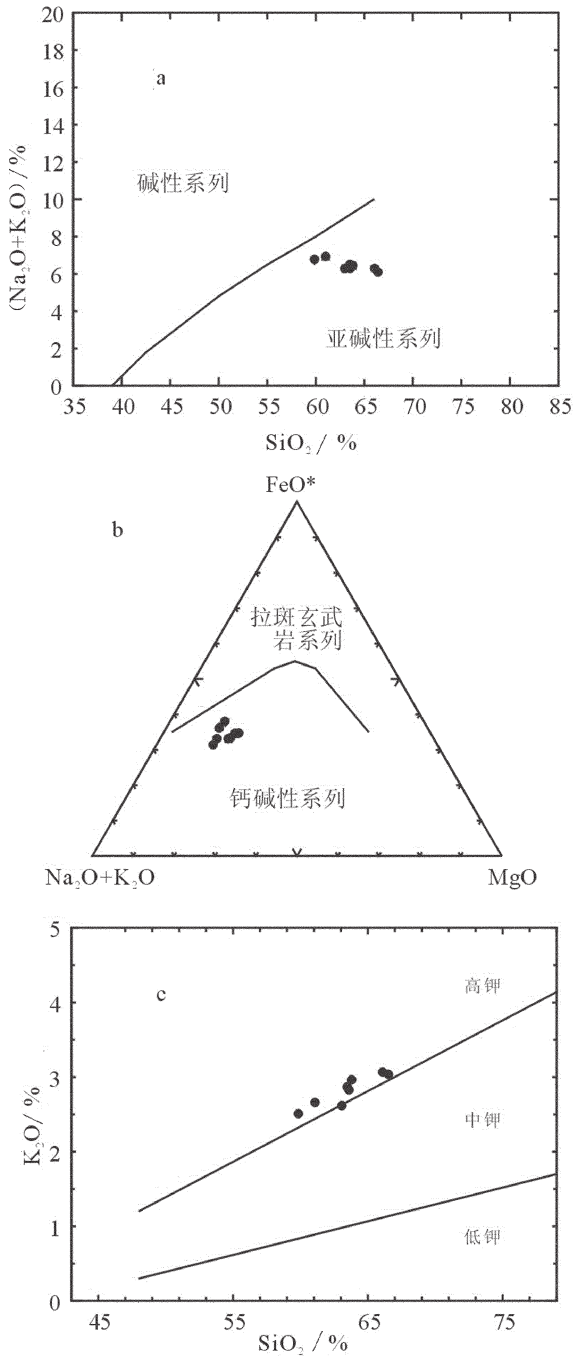


图 2 卡尔却卡铜多金属矿区花岗闪长岩 SiO_2 - $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ (a)、AFM(b)和 K_2O - SiO_2 (c)图解^[10,11]
 Fig.2 SiO_2 - $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ (a) and AFM (b) and K_2O - SiO_2 (c) diagram of granodiorite in the Kaerqueka polymetallic deposit

地幔标准化蛛网图(图 3-b)可以看出,大离子亲石元素 Rb、Th、K 明显富集,而 Nb、Sr、Ti 明显亏损。研究表明,Eu 负异常与岩浆演化过程中斜长石的分异有关,Ti 亏损可能是演化分异过程中富 Ti 矿物

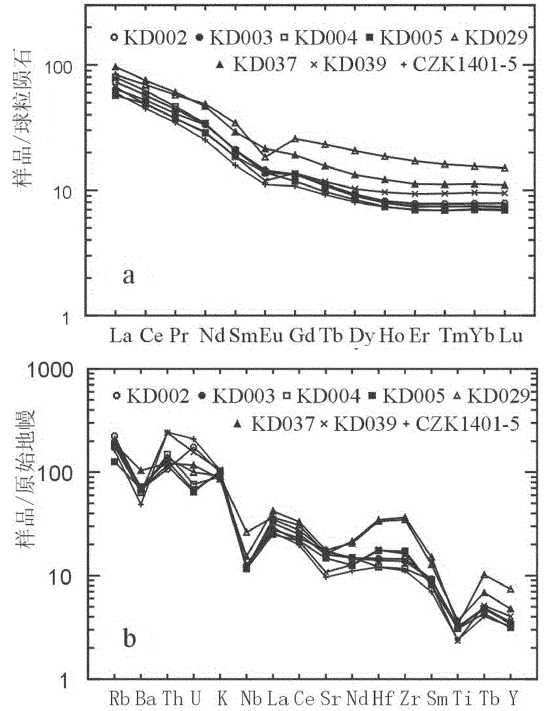


图 3 卡尔却卡铜多金属矿区花岗闪长岩稀土元素分布模式图(a)和微量元素蛛网图 (b)
 Fig.3 Chondrite-normalized REE distribution pattern (a) and trace element spider diagram (b) of granodiorite in the Kaerqueka polymetallic deposit

分异结晶,而 Nb 负异常可能是混染了大陆壳物质或花岗质岩石^[12];Sr 负异常有两种可能:一种是源区长石类矿物的分离,另一种为源区本身 Sr 含量就较低,结合本区花岗闪长岩特点,Sr 负异常应为第二种情况。

3 花岗闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年

3.1 样品采集及分析测试方法

测年样品采于新鲜的花岗闪长岩(编号 KD002),岩石呈灰白色,中-细粒花岗结构,块状构造,主要矿物成分为石英(10%~20%)、斜长石(50%~60%)、钾长石(10%~20%)、黑云母(约为 5%)和角闪石(约为 5%)。

将花岗闪长岩样品破碎至 200 目,洗去粉尘,经淘洗除去轻矿物,保留重矿物,再用永久磁铁除去磁铁矿等强磁性矿物,经重液分选除去比重小于锆石的矿物。最后在双目显微镜下手工精选出锆石晶体。

将挑选好的待测锆石颗粒与标准锆石(TEM,

表 2 卡尔却卡花岗闪长岩稀土、微量元素分析结果(10⁻⁶)
**Table 2 REE and trace element composition of granodiorite in
 the Kaerqueka polymetallic deposit(10⁻⁶)**

样品号	KD002	KD003	KD004	KD005	KD029	KD037	KD039	CZK1401-5
La	22.759	19.801	24.777	17.754	25.905	29.919	20.666	18.588
Ce	46.195	42.396	50.289	39.611	56.237	60.645	39.268	36.202
Pr	5.425	4.990	5.674	4.578	7.040	7.383	4.556	4.222
Nd	20.235	19.971	20.469	17.182	29.258	28.020	17.439	15.127
Sm	4.110	4.088	4.028	3.617	6.708	5.696	3.625	3.086
Eu	1.008	1.064	1.029	1.016	1.349	1.574	0.876	0.814
Gd	3.502	3.470	3.472	3.056	6.664	4.947	3.543	2.787
Tb	0.529	0.514	0.523	0.462	1.100	0.740	0.555	0.436
Dy	2.980	2.885	2.920	2.698	6.660	4.268	3.301	2.584
Ho	0.586	0.568	0.571	0.530	1.337	0.871	0.693	0.529
Er	1.636	1.576	1.548	1.460	3.591	2.355	1.960	1.474
Tm	0.252	0.240	0.241	0.224	0.522	0.359	0.305	0.223
Yb	1.638	1.565	1.548	1.457	3.240	2.341	1.998	1.484
Lu	0.253	0.239	0.236	0.223	0.484	0.353	0.305	0.226
LREE	99.732	92.31	106.266	83.758	126.497	133.237	86.43	78.039
HREE	11.376	11.056	11.059	10.11	23.598	16.234	12.66	9.743
Σ REE	111.108	103.366	117.325	93.868	150.095	149.471	99.09	87.782
(La/Yb) _N	9.97	9.08	11.48	8.74	5.74	9.17	7.42	8.98
δ Eu	0.79	0.84	0.82	0.91	0.61	0.89	0.74	0.83
Li	28.562	29.265	35.908	24.698	25.694	25.446	13.943	20.242
Be	1.845	1.720	1.766	1.647	2.162	1.877	1.834	1.997
Sc	9.314	9.308	8.930	6.674	10.410	10.559	7.420	6.891
V	80.613	80.201	78.367	77.467	64.243	65.445	61.529	59.792
Cr	22.290	20.270	24.282	17.353	12.513	12.439	14.244	11.846
Co	12.462	12.500	12.151	10.956	9.530	10.186	10.099	7.084
Ni	13.627	13.086	12.233	10.886	5.859	7.812	10.373	7.514
Cu	7.509	7.653	7.519	17.656	5.351	5.769	7.510	4.895
Zn	71.490	62.157	51.415	74.062	71.000	81.500	119.761	56.580
Ga	19.525	20.073	19.533	19.541	23.289	22.480	17.639	18.036
Rb	141.771	126.002	114.394	80.511	120.074	120.630	114.941	104.070
Sr	338.138	369.005	359.828	311.837	342.002	371.301	228.255	203.119
Y	16.127	15.750	15.504	14.346	33.672	21.707	18.305	14.756
Zr	162.512	153.238	130.848	193.467	408.823	388.002	182.553	125.044
Nb	8.865	8.730	8.460	8.313	18.758	10.922	8.762	9.042
Cs	8.925	4.929	4.705	4.202	3.077	5.365	4.674	6.299
Ba	478.226	505.048	446.281	482.043	494.346	723.297	449.742	340.998
Hf	4.515	4.356	3.745	5.398	10.670	10.364	5.485	3.759
Ta	1.096	0.876	0.838	0.719	0.871	0.718	0.947	0.914
Tl	0.823	0.714	0.659	0.630	0.570	0.734	0.986	0.896
Pb	16.923	16.690	15.833	14.609	14.330	12.610	31.613	64.009
Bi	0.310	0.170	0.134	0.075	0.040	0.051	0.138	0.190
Th	8.964	10.759	12.509	9.708	11.574	10.254	20.262	20.404
U	3.671	1.408	1.604	1.355	2.091	2.461	3.271	4.395

其年龄为 417 Ma)一起粘贴,制成环氧树脂样品靶,打磨抛光并使其露出中心部位,然后进行反射光、透射光和阴极发光显微照相。高清晰阴极发光照相和锆石 U-Th-Pb 分析及定年均在北京离子探针中心完成。测定过程中,选择晶体干净、内部结构完整,无裂纹,无包裹体及杂质、晶形以柱状为主的锆石,测定时避开锆石中重结晶、重吸收和残留部分,选择岩浆结晶成因部分(环带明显)(图 4),以获得较准确的岩浆结晶年龄。具体测试条件及流程据宋彪等^[13]。数据处理、年龄计算采用 Ludwig 博士编写的 SQUID 1.0 及 ISOPLOT 程序,测试数据采用 ²⁰⁴Pb 进行普通铅校正。单个测试点的误差均为 1σ, ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄的加权平均值误差为 95%置信度。因所测定样品为年轻锆石,故采用 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄。

3.2 测试结果

花岗闪长岩(KD002)16 个点的 U、Th、Pb 分析结果见表 3。这些锆石分析点的普通铅含量较低, ²⁰⁶Pb_c 含量介于 0~1.94‰。U、Th 含量分别为 176×10⁻⁶~374×10⁻⁶ 和 95×10⁻⁶~201×10⁻⁶, 除第一个点 ²³²Th/²³⁸U 值较大(0.76), ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄(252.1 Ma)也较其他数据点较大外,其余 15 个点的 ²³²Th/²³⁸U 值较为

集中,为 0.51~0.60,得到的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄也基本一致,为 231.5~241.9 Ma,在谐和曲线上具有较好的一致性(图 5),15 个点 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值为(237±2) Ma(MSWD=0.8),代表了该花岗闪长岩的结晶年龄。

4 讨论

4.1 花岗闪长岩形成时代及其成矿作用

东昆仑祁漫塔格地区是一个显著的侵入岩浆构造带,这里除产有加里东期^[14]和华力西期^[15]花岗岩类岩体外,近些年来,还厘定出一批印支期花岗岩类岩体。如约格鲁花岗岩闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(242±6 Ma)^[16];卡尔却卡矿区外围花岗闪长岩的全岩 K-Ar 年龄分别为(219±10)Ma 和(220±11)Ma^①;野马泉地区景忍中细粒正长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为(204.1±2.6)Ma^[17];乌兰乌珠尔含矿花岗斑岩锆石 U-Pb 年龄为(215±4.5)Ma^[1];鸭子沟含矿钾长花岗斑岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为(224±1.6)Ma^[18]。本次笔者测得卡尔却卡铜多金属矿区与矽卡岩型铁铜铅锌多金属矿化具有密切成因联系的花岗闪长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为

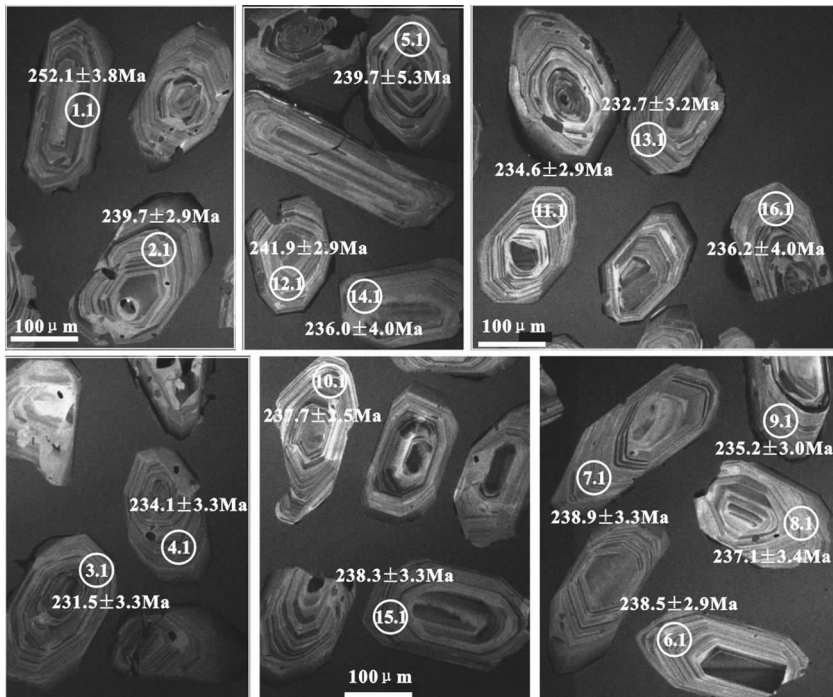


图 4 卡尔却卡铜多金属矿区 KD002 花岗闪长岩中锆石 CL 图像
Fig.4 CL images of zircon from granodiorite in the Kaerqueka copper-polymetallic deposit

表3 卡尔却卡铜多金属矿区花岗闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 分析结果
Table 3 SHRIMP U-Pb isotopic analyses of zircons from granodiorite
in the Kaerqueka polymetallic deposit

点号	$^{206}\text{Pb}_c/\%$	$\text{U}/10^{-6}$	$\text{Th}/10^{-6}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/10^{-6}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$ 及误差	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ 及误差	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ 及误差	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma
1.1	0.53	215	158	0.76	7.42	0.0510±0.073	0.280±0.075	0.03989±0.015	252.1±3.8
2.1	0.00	338	166	0.51	11.0	0.0520±0.038	0.271±0.040	0.03788±0.012	239.7±2.9
3.1	—	260	136	0.54	8.15	0.0570±0.059	0.288±0.061	0.03657±0.014	231.5±3.3
4.1	0.70	293	154	0.54	9.37	0.0532±0.062	0.271±0.063	0.03698±0.014	234.1±3.3
5.1	1.94	210	104	0.51	6.96	0.0529±0.084	0.276±0.087	0.03789±0.023	239.7±5.3
6.1	0.78	302	156	0.53	9.86	0.0483±0.075	0.251±0.076	0.03769±0.012	238.5±2.9
7.1	1.48	272	142	0.54	8.97	0.0478±0.130	0.249±0.130	0.03776±0.014	238.9±3.3
8.1	0.00	257	138	0.56	8.27	0.0557±0.040	0.288±0.042	0.03747±0.015	237.1±3.4
9.1	0.00	238	124	0.54	7.60	0.0548±0.058	0.281±0.060	0.03717±0.013	235.2±3.0
10.1	0.00	374	190	0.53	12.1	0.0532±0.033	0.276±0.035	0.03756±0.011	237.7±2.5
11.1	0.44	363	201	0.57	11.6	0.0509±0.063	0.260±0.064	0.03706±0.013	234.6±2.9
12.1	0.00	297	150	0.52	9.75	0.0529±0.037	0.279±0.039	0.03824±0.012	241.9±2.9
13.1	1.09	258	131	0.52	8.22	0.0473±0.095	0.240±0.096	0.03676±0.014	232.7±3.2
14.1	1.52	176	95	0.56	5.73	0.0509±0.120	0.262±0.120	0.03729±0.017	236.0±4.0
15.1	1.58	233	115	0.51	7.67	0.0470±0.094	0.244±0.095	0.03766±0.014	238.3±3.3
16.1	1.23	207	120	0.60	6.70	0.0476±0.120	0.245±0.120	0.03732±0.017	236.2±4.0

注:表内误差为 1σ , $^{206}\text{Pb}_c$ 和 $^{206}\text{Pb}^*$ 分别表示普通铅和放射性成因铅。

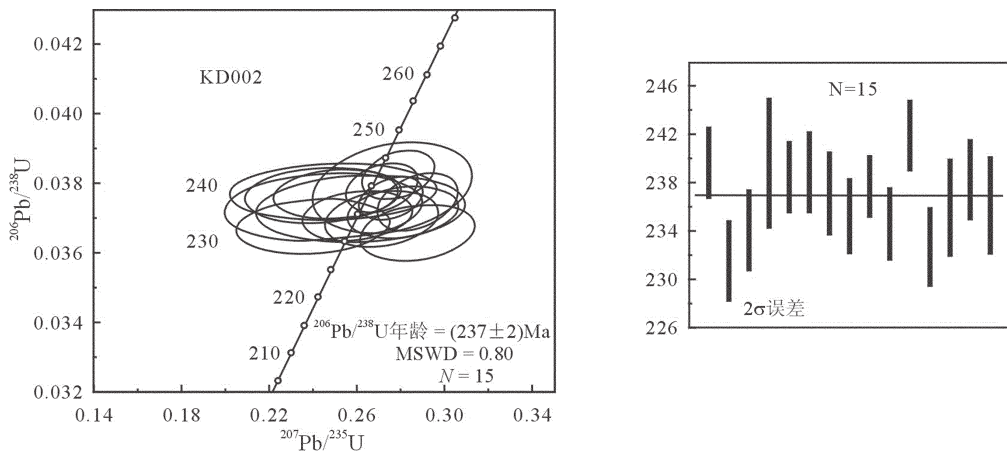


图5 花岗闪长岩(KD002)锆石 SHRIMP U-Pb 谐和图及加权平均年龄值
Fig.5 Zircon SHRIMP U-Pb concordia plot and value of weighted mean age
for granodiorite in the Kaerqueka polymetallic deposit

(237 ± 2) Ma ($N=15$, $MSWD=0.8$), 不仅表明本区印支期曾发生强烈的花岗岩浆侵入活动, 而且还产生强烈的多金属成矿作用。同时, 也进一步印证了印支期为东昆仑地区的主要活动带^[19], 以及东昆仑造山带晚古生代—早中生代构造旋回与区内金属成矿作用密切相关的认识^[20,21]。

4.2 形成构造环境及其地球动力学意义

前人研究表明, 东昆仑地区在晚古生代—早中生代是一个连续的构造演化过程。早古生代形成的昆中洋盆闭合之后, 东昆仑地区成为复杂的活动大陆边缘。受到来自巴颜喀拉—阿尼玛卿洋俯冲的影响, 从石炭纪开始陆续有与洋壳俯冲作用有关的火

山喷发和岩浆侵入,这一过程一直持续到二叠纪末—三叠纪初。巴颜喀拉—阿尼玛卿洋闭合以后,挤压应力场的持续作用促使陆内造山作用的发生,岩石圈急剧增厚,整个区域上升成陆^[2]。

岩石地球化学特征研究表明,卡尔却卡矿区花岗闪长岩为钙碱性系列岩石,且富钾,具有陆壳的特征。大离子亲石元素 Rb、Th、K 明显富集,高场强元素亏损;轻、重稀土分异明显,轻稀土元素明显富集;呈现轻微—中等程度的负铕异常。这些地球化学特征均常见于弧火山岩^[23,24]。此外,岩体还具有富铝、高钾、亏损 Ni、Ti 等元素的特征,而这些特征常见于大陆造山带后碰撞花岗岩^[25]。在花岗岩 Y-Nb 图解中,绝大部分都落在火山弧花岗岩或同碰撞花岗岩中(图 6-a);在 Y+Nb-Rb 图解中,所有点均落在火山弧花岗岩中(图 6-b);在 R1-R2 图解中,所有点落在板块碰撞前和碰撞后抬升的区域(图 6-c)。

花岗岩类岩石类型的多样性往往反映的是岩浆源区性质和岩浆演化的综合结果,但现有的判别花岗岩类构造环境的微量元素图解不能够有效地将俯冲、同碰撞和后碰撞花岗岩类区分开来^[26],简单地运用微量元素构造图解判别构造环境可能得到的结果不够准确,故结合当时的大地构造演化及地质年代制约很有必要。而在 260~230 Ma,东昆仑正好处在大洋板块大规模俯冲碰撞阶段^[29],此次得到的卡尔却卡花岗闪长岩形成时代 (237±2)Ma 正好处在该阶段晚期,这与板块碰撞前和碰撞后抬升的构造背景(图 6-c)相吻合,而造山期后的隆起阶段就相当于后碰撞阶段^[30]。综上所述,高钾钙碱性岩类和碰撞后抬升的构造背景,可认为花岗闪长岩形成于后碰撞构造阶段,标志着主碰撞期已经结束,并在 237 Ma 期间进入由挤压向后碰撞造山转变的阶段。后碰撞阶段地壳增厚使下地壳物质部分熔融,“相对松弛”的应力背景使下地壳发生拆沉,在矿区花岗闪长岩中出现的暗色包体可能源于幔源物质底侵^[19,29],而研究发现在中三叠可能确实发现过底侵作用^[31]。下地壳物质熔融形成了大量的花岗质岩浆,同时有地幔物质的混染。岩浆在侵入过程中与含碳酸盐地层围岩进行了物质交代,形成了矽卡岩型矿床。

5 结 论

(1) 岩石地球化学研究表明:卡尔却卡铜多金属矿区花岗闪长岩为高钾钙碱性系列岩石。轻稀土富

集,轻重稀土分异明显,具弱的负铕异常 ($\delta Eu=0.61\sim 0.91$)。微量元素以富集大离子亲石元素 Rb、K、Th,亏损 Nb、Sr、Ti 为特征,形成构造环境为后碰撞演化阶段。

(2) 卡尔却卡矿区与矽卡岩型铁铜铅锌多金属

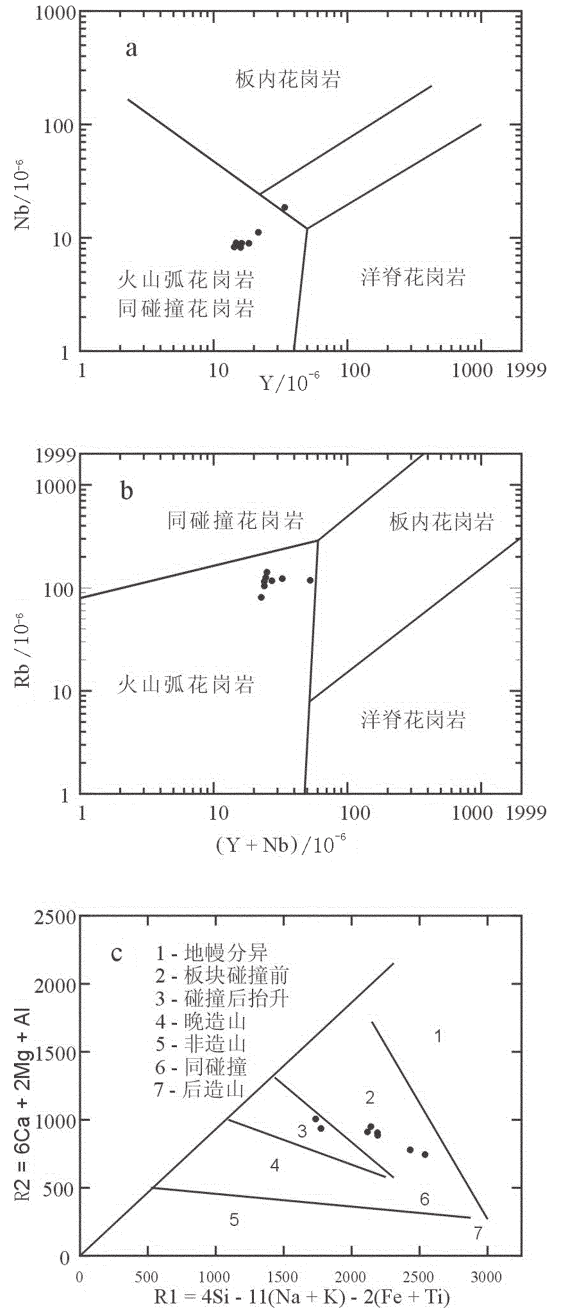


图 6 卡尔却卡矿区花岗闪长岩构造环境判别图^[26,27]
 Fig.6 Discrimination diagram showing geotectonic environment of granodiorite in the Kaerqueka polymetallic deposit

矿化具有密切成因联系的花岗闪长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 $(237 \pm 2)\text{Ma}$ ($N=15$, $\text{MSWD}=0.8$), 形成于中三叠世, 为印支期岩浆活动的产物。结合区域资料, 表明本区于印支(晚)期发生了强烈的与中酸性岩浆侵入活动有关的金属成矿作用, 在今后矿产勘查中应引起重视。

致谢: 锆石阴极发光照相和 SHRIMP U-Pb 年龄测定得到了北京离子探针中心的陶华老师、张维博士和杨淳老师的热心帮助与指导, 在此深表谢意!

参考文献 (Reference):

- [1] 余宏全, 张德全, 景向阳, 等. 青海省乌兰乌拉珠尔斑岩铜矿床地质特征与成因[J]. 中国地质, 2007, 34(2):306-312.
She Hongquan, Zhang Dequan, Jing Xiangyang, et al. Characteristics and metallogenesis of Wulanwuzhuer porphyry copper deposit in Qinghai Province[J]. Geology in China, 2007, 34(2):306-312 (in Chinese with English abstract).
- [2] 古凤宝, 吴向农, 姜常义. 东昆仑华力西期-印支期花岗岩组合及构造环境[J]. 青海地质, 1996, 5(1):18-26.
Gu Fengbao, Wu Xiangnong, Jiang Changyi. The Variscan - Indosinian granitoid association and its tectonic Setting in eastern Kunlun mountain[J]. Qinghai geol, 1996, 5(1):18-26 (in Chinese with English abstract).
- [3] 罗照华, 柯珊, 曹永清, 等. 东昆仑印支晚期幔源岩浆活动[J]. 地质通报, 2002, 21(6):292-297.
Luo Zhaohua, Ke Shan, Cao Yongqing, et al. Late Indosinian mantle -derived magmatism in the East Kunlun [J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21 (6):292-297 (in Chinese with English abstract).
- [4] 袁万明, 莫宣学, 喻学惠, 等. 东昆仑印支期区域构造背景的花岗岩记录[J]. 地质论评, 2000, 46(2):203-211.
Yuan Wanming, Mo Xuanxue, Yu Xuehui, et al. The record of Indosinian tectonic setting from the granitoid of Eastern Kunlun mountains[J]. Geological Review, 2000, 46(2):203-211.
- [5] 陈丹玲, 刘良, 车自成, 等. 祁漫塔格印支期铝质 A 型花岗岩的确定及初步研究[J]. 地球化学, 2001, 30(6):540-546.
Chen Danling, Liu Liang, Che Zicheng, et al. Determination and preliminary study of Indosinian aluminous A-type granites in the Qimantage area, southeastern Xinjiang[J]. Geochimica, 2001, 30(6): 540-546(in Chinese with English abstract).
- [6] 谌宏伟, 罗照华, 莫宣学, 等. 东昆仑造山带三叠纪岩浆混合成因花岗岩的岩浆底侵作用机制[J]. 中国地质, 2005, 32(3):385-395.
Chen Hongwei, Luo Zhaohua, Mo Xuanxue, et al. Underplating mechanism of Triassic granite of magma mixing origin in the East Kunlun orogenic belt [J]. Geology in China, 2005, 32 (3):385-395 (in Chinese with English abstract).
- [7] 李世金, 孙丰月, 王力, 等. 青海东昆仑卡尔却卡多金属矿区斑岩型铜矿的流体包裹体研究[J]. 矿床地质, 2008, 27(3):399-406.
Li Shijin, Sun Fengyue, Wang Li, et al. Fluid inclusion studies of porphyry copper mineralization in the Kaerqueka polymetallic ore district, Eastern Kunlun Mountain, Qinghai Province [J]. Mineral Deposits, 2008, 27(3):399-406 (in Chinese with English abstract).
- [8] 张德全, 党兴彦, 李大新, 等. 柴北缘地区的两类块状硫化物矿床-II. 青龙滩式 VHMS 型 Cu-S 矿床 [J]. 矿床地质, 2005, 24(6):575-583.
Zhang Dequan, Dang Xingyan, Li Daxin, et al. Two types of massive sulfide deposits along northern margin of Qaidam basin, Qinghai Province: II. Qinglongtan-style VHMS Cu-S deposits[J]. Mineral Deposits, 2005, 24 (6):575-583 (in Chinese with English abstract).
- [9] 张德全, 王富春, 李大新, 等. 柴北缘地区的两类块状硫化物矿床-I. 锡铁山式 SEDEX 型铅锌矿床[J]. 矿床地质, 2005, 24(5):471-480.
Zhang Dequan, Wang Fuchun, Li Daxin, et al. Two types of massive sulfide deposits on northern margin of Qaidam basin, Qinghai Province: I. Xitieshan style SEDEX Lead-Zinc deposits[J]. Mineral Deposits, 2005, 24 (5):471-480 (in Chinese with English abstract).
- [10] Irvine I N, Baragar W R A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks [J]. Canad. J. Earth Sci., 1971, 8: 523-548.
- [11] Le Maitre R W, Bateman P, Dudek A, et al. A classification of igneous rocks and glossary of terms [M]. Blackwell Scientific Publication, Oxford, 1989:193.
- [12] 李昌年. 火成岩微量元素岩石学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992:1-95.
Li Changnian. Trace Element Geochemistry of Igneous Rocks[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1992:1-95 (in Chinese).
- [13] 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评, 2002, 48(增刊):26-30.
Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, et al. Mount making and procedure of the SHRIMP dating [J]. Geological Review, 2002, 48(supp.):26-30 (in Chinese with English abstract).
- [14] 谌宏伟, 罗照华, 莫宣学, 等. 东昆仑喀雅克登塔格杂岩体的 SHRIMP 年龄及其地质意义 [J]. 岩石矿物学杂志, 2006, 25(1): 25-32.
Chen Hongwei, Luo Zhaohua, Mo Xuanxue, et al. SHRIMP ages of Kayakedengtage complex in the East Kunlun Mountains and their geological implication [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2006, 25(1):25-32 (in Chinese with English abstract).
- [15] 李光明, 沈远超, 刘铁兵. 东昆仑祁漫塔格地区华力西期花岗岩地质地球化学特征[J]. 地质与勘探, 2001, 37(1):73-78.
Li Guangming, Shen Yuanchao, Liu Tiebing. Geological and geochemical characteristics of Variscan granite in the Qimantage region, Eastern Kunlun [J]. Geology and Prospecting, 2001, 37(1): 73-78 (in Chinese with English abstract).
- [16] 刘成东, 莫宣学, 罗照华, 等. 东昆仑壳-幔岩浆混合作用: 来自

- 锆石 SHRIMP 年代学的证据[J]. 科学通报, 2004, 49(6):592-602.
- Liu Chengdong, Mo Xuanxue, Luo Zhaohua, et al. Crust-mantle magma mixing in East Kunlun: evidence from zircon SHRIMP chronology[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(6):592-602 (in Chinese with English abstract).
- [17] 刘云华, 莫宣学, 张雪亭, 等. 东昆仑野马泉地区矽卡岩矿床地球化学特征及其成因意义[J]. 华南地质与矿产, 2006, 3:31-36.
- Liu Yunhua, Mo Xuanxue, Zhang Xueting, et al. The geochemical characteristics and the meaning of skarn-type deposits in Yemaquan area, Eastern Kunlun[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2006, 3:31-36 (in Chinese with English abstract).
- [18] 李世金, 孙丰月, 丰成友, 等. 青海东昆仑仑子沟多金属矿的成矿年代学研究. 地质学报, 2008, 82(7):949-955
- Li Shijin, Sun Fengyue, Feng Chengyou, et al. Geochronological study on Yazigou polymetallic deposit in eastern Kunlun, Qinghai Province [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82 (7):949-955 (in Chinese with English abstract).
- [19] 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵, 等. 昆仑开合构造[M]. 北京:地质出版社, 1992:1-224
- Jiang Chunfa, Yang Jinsui, Feng Bingui, et al. Opening-closing Tectonics of Kunlun Mountains[M]. Beijing:Geological Publishing House, 1992:1-224 (in Chinese with English abstract).
- [20] 张德全, 丰成友, 李大新, 等. 柴北缘-东昆仑地区的造山型金矿床[J]. 矿床地质, 2001, 20(2):137-146.
- Zhang Dequan, Feng Chengyou, Li Daxin, et al. Orogenic gold deposits in the North Qaidam and East Kunlun orogen, West China[J]. Mineral Deposits, 2001, 20(2):137-146 (in Chinese with English abstract).
- [21] 丰成友, 张德全, 王富春, 等. 青海东昆仑复合造山过程及典型造山型金矿地质特征[J]. 地球学报, 2004, 25(4):415-422
- Feng Chengyou, Zhang Dequan, Wang Fuchun, et al. Multiple orogenic process and geological characteristics of the major orogenic gold deposits [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2004, 25(4): 415-422 (in Chinese with English abstract).
- [22] 罗照华, 邓晋福, 曹永清, 等. 青海省东昆仑地区晚古生代-早中生代火山活动与区域构造演化[J]. 现代地质, 1999, 13(1):51-55.
- Luo Zhaohua, Deng Jinfu, Cao Yongqing, et al. On late Paleozoic-early Mesozoic volcanism and regional tectonic evolution of Eastern Kunlun, Qinghai Province [J]. Geoscience, 1999, 13(1):51-55(in Chinese with English abstract).
- [23] Hess P C. Origin of Igneous Rocks [M]. Harvard University Press, 1989, Cambridge, Massachusetts. London, England.
- [24] Johnson K E, Harmon R S, Richardson J M, et al. Isotope and trace element geochemistry of Augustine Volcano, Alaska: Implications for magmatic evolution[J]. Journal of Petrology, 1996, 37:95-115.
- [25] 张成立, 刘良, 张国伟, 等. 北秦岭新元古代后碰撞花岗岩的确定及其构造意义[J]. 地学前缘, 2004, 11(9):33-42.
- Zhang Chengli, Liu Liang, Zhang Guowei, et al. Determination of Neoproterozoic post-collisional granites in the north Qinling Mountains and its tectonic significance [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(9):33-42 (in Chinese with English abstract).
- [26] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. Journal of Petrology, 1984, 25:956-983.
- [27] Batchelor R A, Bowden P. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters [J]. Chemical Geology, 1985, 48(14): 43-55.
- [28] 韩宝福. 后碰撞花岗岩类的多样性及其构造环境判别的复杂性[J]. 地学前缘, 2007, 14(3):64-72.
- Han Baofu. Diverse post-collisional granitoids and their tectonic setting discrimination[J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(3):64-72 (in Chinese with English abstract).
- [29] 郭正府, 邓晋福, 许志琴, 等. 青藏东昆仑晚古生代末-中生代中酸性火成岩与陆内造山过程[J]. 现代地质, 1998, 12 (3):344-352.
- Guo Zhengfu, Deng Jinfu, Xu Zhiqin, et al. The intermediate-silic magmatic rocks and orogenic process from Late Paleozoic to Mesozoic in Eastern Kunlun, Tibet [J]. Geosciences, 1998, 12(3): 344-352(in Chinese with English abstract).
- [30] Pitcher W S. Granites and yet more granites forty years on [J]. Geologische Rundschau, 1987, 76:51-79.
- [31] 刘成东, 周肃, 莫宣学, 等. 东昆仑造山带后碰撞花岗岩岩石地球化学和 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年代学约束 [J]. 华东地质学院学报, 2003, 26(4):301-305.
- Liu Chengdong, Zhou Su, Mo Xuanxue, et al. Constraints of Petrochemistry and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ aging of post-collision granites in Eastern Kunlun Orogenic Belt [J]. Journal of East China Geological Institute, 2003, 26(4):301-305 (in Chinese with English abstract).

Zircon SHRIMP U–Pb dating of granodiorite in the Kaerqueka polymetallic ore deposit, Qimantage Mountain, Qinghai Province, and its geological implications

WANG Song¹, FENG Cheng–You¹, LI Shi–jin²,

JIANG Jun–hua¹, LI Dong–sheng², SU Sheng–shun²

(1. *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;*

2. *Qinghai Geological Survey, Xining 810012, Qinghai, China*)

Abstract: Based on a detailed analysis of the Kaerqueka polymetallic ore deposit in Qimantage area of Qinghai Province, the authors consider that the granodiorite is closely related to the Fe–Cu–Pb–Zn skarn polymetallic mineralization. A petrological–geochemical study and SHRIMP zircon U–Pb dating of the granodiorite show that the granodiorite is composed of intermediate–acid rocks of the high–potash calc–alkaline series. The rocks are characterized by obvious fractionation of REE, enrichment of LREE, δ Eu values of 0.61~0.91 that indicate a weak negative Eu anomaly, high LILE (such as Rb, Th, K) and depletion of Nb, Sr, Ti. 15 data points from SHRIMP zircon U–Pb dating show that the age is (237 ± 2) Ma (MSWD=0.8), suggesting that the granodiorite was formed in Middle Triassic. Based on a combined study of geochronology, petrological geochemistry and evolutionary characteristics of regional structures, the authors hold that the granodiorite was formed at the post–collisional development stage in the continental orogen.

Key words: granodiorite; zircon SHRIMP U–Pb dating; Qimantage; Kaerqueka; East Kunlun orogenic belt

About the first author: WANG Song, male, born in 1982, master candidate, engages in the study of deposit geochemistry; E–mail: wangsong11022@163.com.