

孔会磊, 李金超, 黄军, 等. 东昆仑小圆山铁多金属矿区斜长花岗斑岩锆石 U-Pb 测年、岩石地球化学及找矿意义[J]. 中国地质, 2015, 42(3): 521-532.

Kong Huilei, Lli Jinchao, Huang Jun, et al. Zircon U-Pb dating and geochemical characteristics of the plagiogranite porphyry from the Xiaoyuanshan iron-polymetallic ore district in East Kunlun Mountains[J]. Geology in China, 2015, 42(3): 521-532(in Chinese with English abstract).

东昆仑小圆山铁多金属矿区斜长花岗斑岩 锆石 U-Pb 测年、岩石地球化学及找矿意义

孔会磊¹ 李金超¹ 黄 军² 贾群子¹ 栗亚芝¹ 南卡俄吾¹

(1. 西安地质矿产研究所, 国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 陕西 西安 710054;

2. 青海省核工业地质局, 青海 西宁 810008)

摘要: 东昆仑祁漫塔格地区是青海省重要的矽卡岩型铁多金属成矿带, 小圆山矽卡岩型铁多金属矿位于青海祁漫塔格东段, 其成矿作用与斜长花岗斑岩关系密切, 矿体产于斜长花岗斑岩的外接触带。利用 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年技术, 获得斜长花岗斑岩加权平均年龄为 $(216.9 \pm 1.9) \text{Ma}$ ($n=16$, $\text{MSWD}=2.9$), 厘定其形成时代为晚三叠世。岩石地球化学研究表明, 斜长花岗斑岩为过铝质高钾钙碱性系列岩石。岩石明显富集大离子亲石元素 (Rb、K)、LREE 和活泼的不相容元素 (如 U、Th), 相对亏损高场强元素 (如 Nb、Ta、P、Ti), 显示了轻稀土元素强烈富集的右倾式稀土配分型式, 呈明显负 Eu 异常。综合青海祁漫塔格地区已有年代学资料和区域地质构造演化特征, 认为小圆山斜长花岗斑岩可能形成于后碰撞构造阶段, 为区域东昆仑造山带晚古生代—早中生代构造旋回的产物。

关键词: 地球化学; 锆石 LA-MC-ICP-MS U-Pb 测年; 斜长花岗斑岩; 小圆山; 东昆仑

中图分类号: P588.12; P618.31 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2015)03-0521-12

Zircon U-Pb dating and geochemical characteristics of the plagiogranite porphyry from the Xiaoyuanshan iron-polymetallic ore district in East Kunlun Mountains

KONG Hui-lei¹, LI Jin-chao¹, HUANG Jun², JIA Qun-zi¹, LI Ya-zhi¹, Namkha Norbu¹

(1. Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, MLR, Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Qinghai Geological Bureau of Nuclear Industry, Xining 810008, Qinghai, China)

Abstract: Qimantag in East Kunlun Mountains is an important skarn-type iron-polymetallic metallogenic belt in Qinghai Province, and the Xiaoyuanshan iron-polymetallic ore district is located in the eastern Qimantag, Qinghai. The mineralization has close relationship with plagiogranite porphyry, and the orebody occurs in the outer contact zone of plagiogranite porphyry. LA-MC-ICP-

收稿日期: 2015-02-14; 改回日期: 2015-02-27

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目“青海省地质调查综合研究”(1212010918044)和“柴达木周缘及邻区成矿带地质矿产综合调查”(12120113029000)联合资助。

作者简介: 孔会磊, 男, 1985年生, 硕士, 工程师, 主要从事区域成矿及成矿规律研究; E-mail: konghuilei2008@126.com。

MS zircon U-Pb dating shows that the weighted mean age of plagiogranite porphyry is 216.9 ± 1.9 Ma ($n=16$, MSWD=2.9), suggesting Late Triassic. Detailed petrogeochemical studies show that the plagiogranite porphyry belongs to the peraluminous high-K calc-alkaline series. This suite of rocks are enriched in LILE (such as Rb, K), LREE and more mobile incompatible elements (such as U, Th) and relatively depleted in HFSE (such as Nb, Ta, Ti, P). The plagiogranite porphyry is rich in LREE and poor in HREE, with obviously negative Eu anomalies. Based on a combined study of geochronology and evolutionary characteristics of regional structures, the authors consider that the plagiogranite porphyry was formed at the post-collisional development stage of the orogen, corresponding to the late stage of the Late Paleozoic-Early Mesozoic tectonic event in eastern Kunlun orogenic belt.

Key words: geochemistry; zircon LA-MC-ICP-MS U-Pb dating; plagiogranite porphyry; Xiaoyuanshan; East Kunlun Mountains

About the first author: KONG Hui-lei, male, born in 1985, engineer, master, mainly engages in the study of regional metallogeny and metallogenic regularity; E-mail: konghuilei2008@126.com.

地处东昆仑造山带西段的青海祁漫塔格地区是一个著名的侵入岩浆构造带,这里除加里东期^[1]和华力西期^[2]花岗岩类侵入体外,近年厘定出一大批印支期花岗岩类侵入体,并发现了一系列与之有关的矽卡岩型铁铜多金属矿床^[3],如卡而却卡^[4]、虎头崖^[5]、野马泉^[6]、肯德可克^[7]、尕林格^[8]、四角羊^[9]、它温查汉^[10]、哈西亚图^[11]等,目前已成为中国西部最重要和最有找矿潜力的矽卡岩铁多金属成矿带^[12]。

小圆山矽卡岩型铁多金属矿位于青海祁漫塔格东段,大地构造位置上处于东昆北构造带,是新发现的矽卡岩型铁多金属矿床,未开展任何研究工作,对其地质特征与形成机制认识的不足制约了区域找矿新突破。笔者在野外调查时发现,矿区内强烈发育的矽卡岩多金属矿化与矿区深部的斜长花岗斑岩关系密切,然而对其岩石成因、形成时代、构造环境以及反映的地球动力学过程缺乏研究。因此,笔者拟对小圆山矿区与矽卡岩铁多金属成矿密切相关的斜长花岗斑岩开展系统的岩石地球化学和锆石 LA-MC-ICP-MS U-Pb 定年研究,以准确厘定该区斜长花岗斑岩的形成时代,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 地质背景

东昆仑造山带位于青藏高原东北部,柴达木陆块南缘^[13],是青藏高原内可与冈底斯带相媲美的一条巨型构造岩浆岩带^[14],是中国中央造山带的重要组成部分。其内发育东昆北、东昆中和东昆南3条区域性深断裂及北巴颜喀拉断裂,自北向南将其划分为东昆北、东昆中、东昆南3个构造带^[15-16],再往南即为阿尼玛卿和北巴颜喀拉构造带(图1-a)。该带

是一个具有复杂演化历史的多旋回复合造山带,具有多岛洋、软碰撞和多旋回造山的特征^[17-18]。祁漫塔格地区处于东昆仑造山带的西段。区内出露地层主要有古元古界金水口群白沙河组、长城系小庙群和蓟县系狼牙山组变质岩及碳酸盐岩;寒武-奥陶系滩间山群含碳酸盐岩火山-沉积岩系;上泥盆统牦牛山组海陆交互相碎屑岩、碳酸盐岩及中酸性火山岩;石炭系大干沟组生物碎屑灰岩、复成分砾岩夹硅质岩,缙敖苏组近源滨浅海相碎屑岩-碳酸盐岩;上三叠统鄂拉山组陆相火山碎屑岩夹火山熔岩及不稳定碎屑岩。区内构造活动强烈,褶皱以轴向NW向的复式背向斜构造为主,NW向、NW向和近EW向断裂组成了主体构造骨架,不同级别和序次的断裂构造的交汇聚合部位,往往是成岩成矿的有利部位^[9]。岩浆侵入活动广泛而强烈,时代包括加里东期、华力西期、印支期和燕山期,以华力西期和印支期为主。岩体多呈岩株状、岩基状出现,在空间上呈不规则状、透镜状、长条状沿NW-SE向区域性断裂分布,构成醒目的NW向侵入岩浆构造带。

小圆山矿区出露的地层为寒武-奥陶系滩间山群(ϵOT)砂岩、砾岩、碳酸盐岩和上泥盆统牦牛山组(D_3m)火山岩、下石炭统石拐子组(C_1s)和大干沟组(C_1dg)及第四系(图1-b)。区内由于第四系覆盖较广构造出露较少,在区内出露有北东向、北西向、北南向、北北东向断层。矿区岩浆岩以侵入岩为主,主要分布于矿区东部和西部。岩性为三叠纪侵入岩:灰白色石英闪长岩、灰白色闪长岩、肉红色二长花岗岩、浅肉红色石英正长岩、花岗闪长岩、灰-灰绿色闪长岩;侏罗纪侵入岩:浅肉红色中细粒钾长花岗岩、浅肉红色石英正长岩;辉长岩等,分布

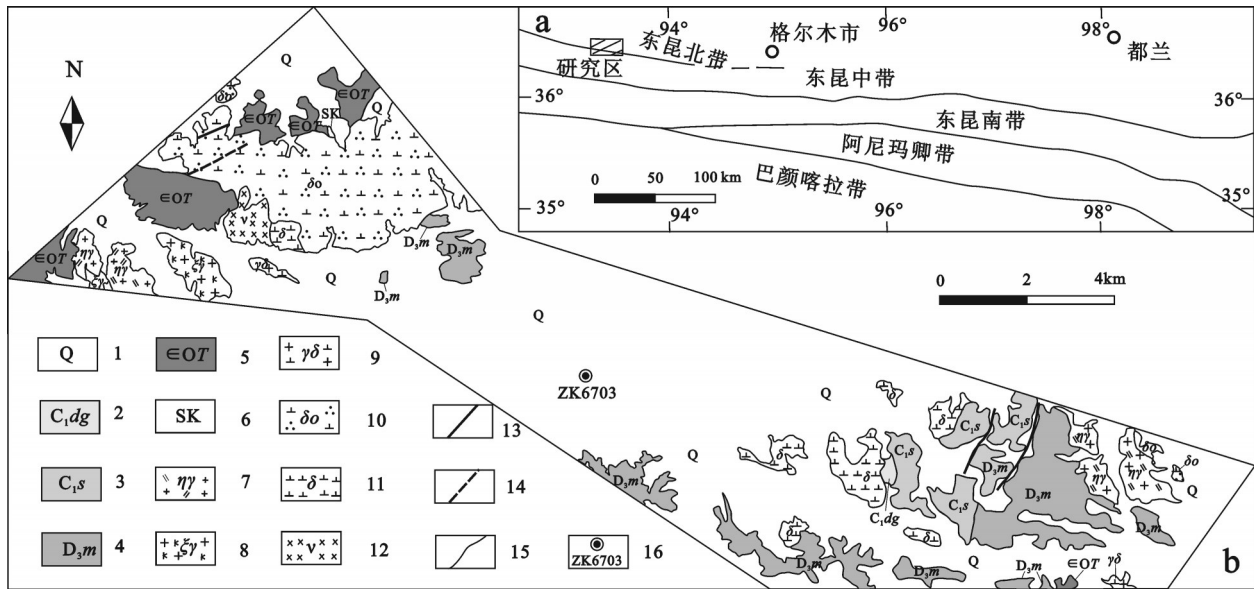


图1 小圆山铁多金属矿区地质简图

1—第四系风成砂土、冲积物等;2—下石炭统大干沟组青灰色结晶灰岩;3—下石炭统石拐子组灰紫色砂岩夹砾岩、安山岩、紫色复成分砾岩、青灰色结晶灰岩夹少量大理岩;4—上泥盆统托牛山组灰绿色变砂岩、灰绿色—灰紫色复成分砾岩、深灰色砂卡岩夹角岩、灰紫色安山岩、青灰色玄武岩;5—寒武—奥陶系滩间山群细粒砂岩、砾岩、变砂岩、黑云斜长片麻岩、深灰色蚀变玄武岩、灰白色大理岩;6—砂卡岩;7—浅肉红色中粗粒二长花岗岩;8—钾长花岗岩;9—灰色中细粒花岗闪长岩;10—石英闪长岩;11—灰色细粒闪长岩;12—辉长岩;13—实测断层;14—推测性质不明断层;15—地质界线;16—钻孔位置及编号

Fig.1 Sketch geological map of the Xiaoyuanshan iron-polymetallic ore district

1-Quaternary aeolian sandy soil, alluvium, etc.; 2-Lower Carboniferous Dagangou Formation: cinereous crystalline limestone; 3- Lower Carboniferous Shiguazi Formation: gray purple sandstone intercalated with conglomerate, andesite, purple polymictic conglomerates, cinereous crystalline limestone intercalated with marble; 4-Upper Devonian Maoniushan Formation: celadon altered sandstone, celadon-gray purple polymictic conglomerates, dark gray skarn with hornstone, gray purple andesite, cinereous basalt; 5-Cambrian-Ordovician Tanjianshan Group: fine-grained sandstone, conglomerate, altered sandstone, biotite plagioclase gneiss, dark gray altered basalt, gray marble; 6-Skarn; 7-Shallow flesh red medium-coarse monzogranite; 8-Moyite; 9-Gray fine-medium grained granodiorite; 10-Quartz diorite; 11-Gray fine-grained diorite; 12-Gabbro; 13-Measured fault; 14-Inferred unknown fault; 15-Geological boundary; 16-Drill hole and its serial number

范围广。区内喷出岩分布于寒武—奥陶系滩间山群、上泥盆统托牛山组中,岩性为蚀变玄武岩、安山岩、流纹质凝灰熔岩、流纹岩等。岩脉主要为花岗岩脉和石英脉。矿体位于高磁异常正负异常交替部位,靠近正异常一侧,产于滩间山群、石拐子组与中酸性侵入岩的外接触带,属砂卡岩型矿床;越靠近接触带,矿体厚度越大、品位越富、矿石类型越复杂;砂卡岩带常见有碳酸盐化、硅化、绿帘石化、绿泥石化等蚀变,磁铁矿化、黄铁矿化较为常见,偶见黄铜矿化;矿体的围岩主要有绿帘石石榴子石透辉石砂卡岩、绿帘石透辉石砂卡岩、透辉石砂卡岩、斜长花岗斑岩、花岗闪长岩、钾长花岗岩等。

2 样品和测试方法

本文年龄及地球化学样品均采自小圆山铁多

金属矿区中部的ZK6703钻孔221.37~237.80 m,岩性为斜长花岗斑岩,其下部为透辉石砂卡岩及黄铜矿化磁铁矿石,上部为黄铜矿化透辉石砂卡岩及铅锌矿石,与多金属成矿关系密切(图2)。岩石颜色为浅肉红色,块状构造,斑状结构。岩石中斑晶矿物成分为石英、斜长石与白云母(图3-a),斑晶含量约占40%。石英矿物晶体呈熔蚀状(港湾状、穿孔状、不规则状等),粒径大小不等,为0.5~4 mm。斜长石斑晶形态多呈板状,粒径大小为1~3.5 mm。白云母斑晶呈板状,其中常含铁质,可能是由黑云母转变而来。斑晶矿物晶体也常呈聚斑出现。基质主要由斜长石与石英组成,二者常呈小球粒状嵌晶包含结构(图3-b),石英为主晶,斜长石为客晶并包裹其中。岩石有轻度蚀变,可见碳酸盐化现象。

锆石的挑选在河北省廊坊区域地质调查研究

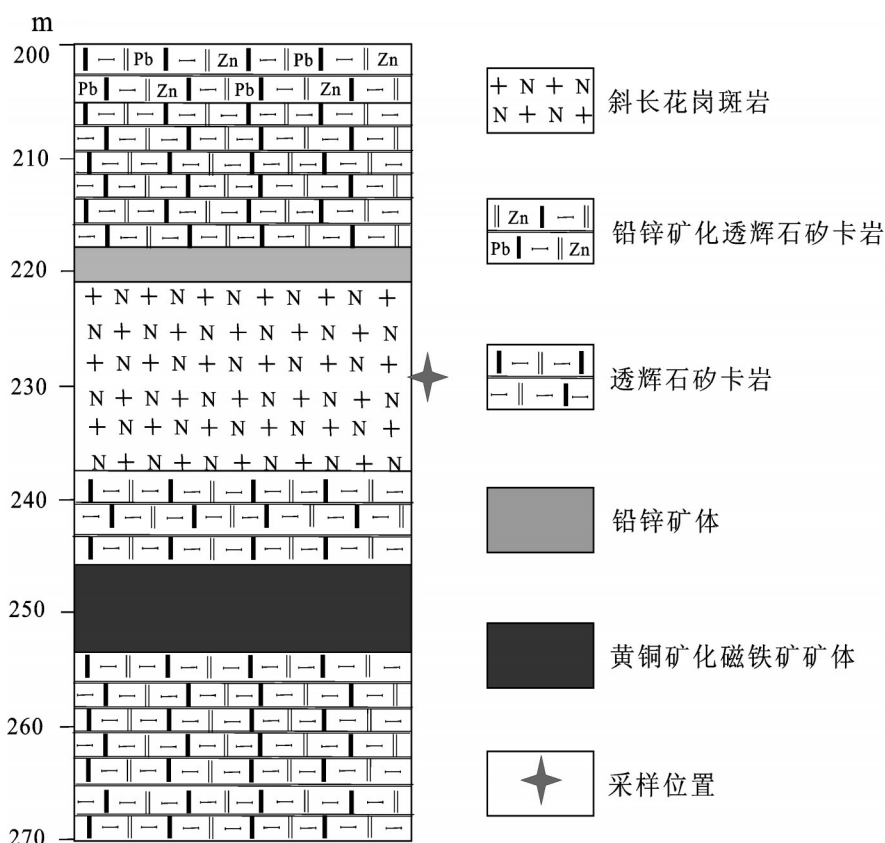


图2 小圆山铁多金属矿区 ZK6703 钻孔柱状图

Fig.2 Columnar section of drill hole ZK6703 in the Xiaoyuanshan iron-polymetallic ore district

所实验室利用标准重矿物分离技术分选完成。经过双目镜下仔细挑选表面平整光洁且具不同长宽比例、不同柱锥面特征、不同颜色的锆石颗粒,再将 这些锆石粘在双面胶上,用无色透明环氧树脂固定,待环氧树脂固化之后对其表面抛光至锆石中心。在原位分析之前,通过反射光和 CL 图像详细研究锆石的晶体形貌和内部结构特征,以选择同位素分析的最佳点。锆石制靶、反射光、阴极发光照相在西北大学大陆动力学国家重点实验室进行。

锆石微区 U-Pb 定年在中国地质调查局天津地质调查中心同位素实验室的激光烧蚀多接收器电感耦合等离子体质谱仪上(LA-MC-ICPMS)完成。仪器性能、分析方法、测试过程参考文献[19]的有关描述。激光束斑孔径为 35 μm ,频率 8~10 Hz,激光器能量密度 13~14 J/cm^3 。采用 TEMORA 作为外部锆石年龄标准,采用中国地质大学刘勇胜教授研发的 ICPMSDataCal 程序和 ISOPLOT 程序进行

数据处理,采用 ^{208}Pb 校正法进行普通 Pb 校正。利用 NIST612 玻璃标样作为外标计算锆石样品的 Pb、U 和 Th 含量。单个测点同位素年龄的误差为 1σ ,加权平均年龄具 95%的置信度。

主元素、稀土元素、微量元素分析在西安地质矿产研究所实验测试中心完成,其中主元素采用 X 荧光光谱(XRF)进行分析,分析精度优于 1%;稀土和微量元素利用 SX50 型电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)进行测定,分析精度优于 5%~10%。

3 测试结果

3.1 锆石 LA-MC-ICP-MS U-Pb 年代学

样品 13XYUPb02(斜长花岗斑岩)中锆石多为短柱状,长柱状次之,少数为浑圆粒状,长 100~300 μm ,长宽比为 1:1~3:1。多数锆石自形程度较好,发育岩浆震荡环带,具岩浆结晶锆石特征(图 4)。测试结果显示其 Th/U 比值为 0.20~0.78,平均值为

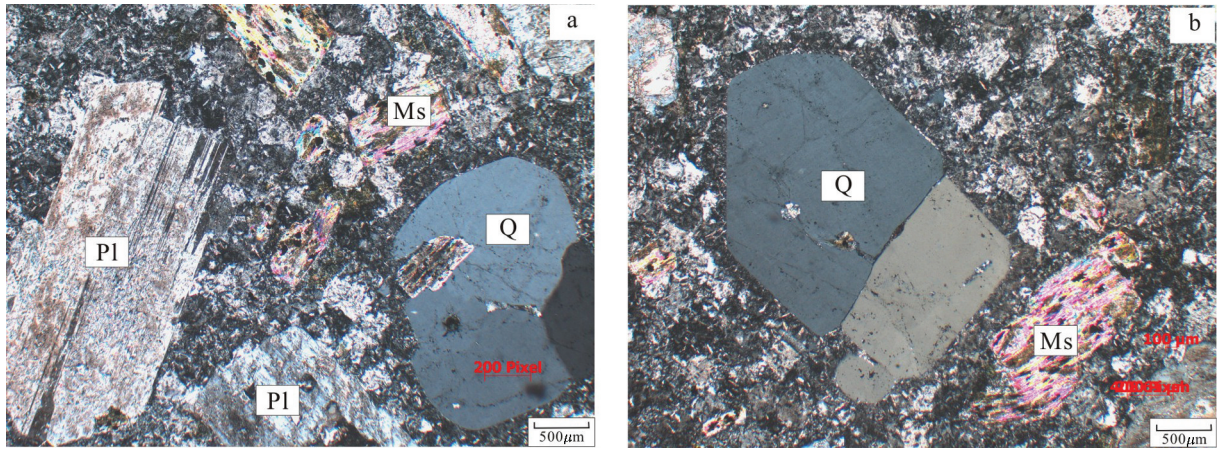


图3 小圆山斜长花岗斑岩的显微照片

a—斜长花岗斑岩中的石英、斜长石、白云母斑晶(正交偏光); b—斜长花岗斑岩中的石英、白云母斑晶及基质中斜长石与石英组成的小球粒状嵌晶包含结构(正交偏光); Q—石英; Pl—斜长石; Ms—白云母

Fig. 3 Microphotographs of the Xiaoyuanshan plagiogranite porphyry

a—Quartz, plagioclase, muscovite phenocrysts in plagiogranite porphyry (crossed nicols); b—Quartz, muscovite phenocrysts in plagiogranite porphyry and small granular poikilitic texture composed of quartz and plagioclase in matrix (crossed nicols).

Q—Quartz; Pl—Plagioclase; Ms—Muscovite

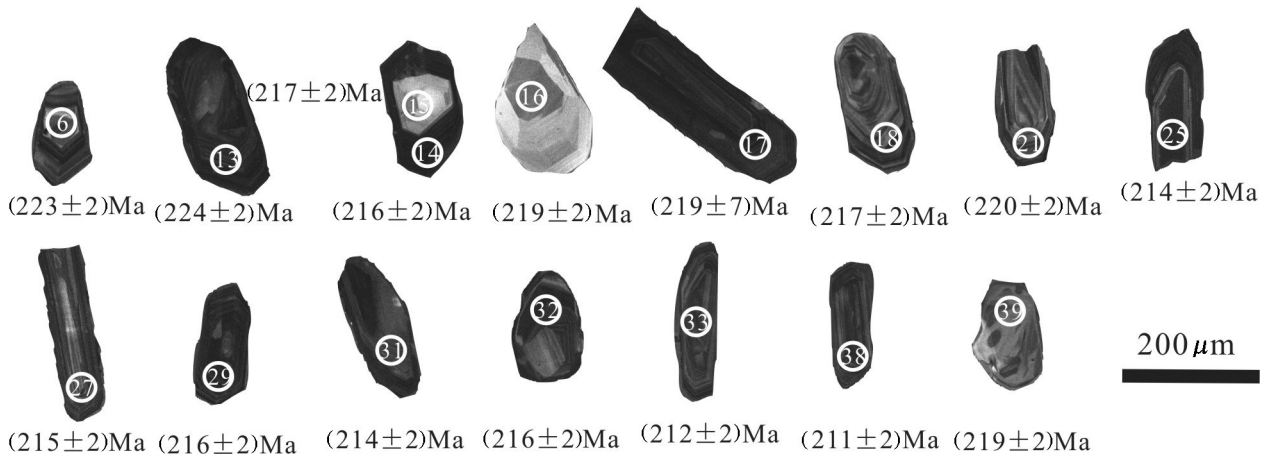


图4 小圆山斜长花岗斑岩锆石阴极发光照片(圈内数字代表U-Pb分析点,其他数字代表 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄)

Fig. 4 CL images of zircons from Xiaoyuanshan plagiogranite porphyry (numbers in the circles represent analytical spots of U-Pb, and the values represent ages of $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$)

0.43, 该样品所测定的锆石具岩浆成因性质。除了1~5、7~17、19、20、22~26、28、30、34~37号测点有明显的铅丢失,其余16个有效锆石点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄集中于211~224 Ma(表1),其加权平均值为 $(216.9 \pm 1.9)\text{Ma}$ (MSWD = 2.9);在 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 同位素年龄谐和图上,数据点基本位于谐和曲线上,具有很好的一致性(图5)。此年龄代表了小圆山斜长花岗斑岩的形成时代,相当于晚三叠世,属于印支晚期。

3.2 地球化学特征

3.2.1 主量元素

小圆山斜长花岗斑岩主量元素中(表2),样品的 SiO_2 含量变化范围为71.65%~72.57%,属于酸性岩石。在硅-碱图(图略)中,样品全部落入亚碱性花岗岩区域。 K_2O 含量为3.84%~4.30%,岩石的全碱($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$)含量为6.28%~7.23%,平均为6.80%。 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值为1.29~1.70,平均为1.48。在 SiO_2 - K_2O 图(图6-a)上,岩石主要落在高钾钙碱

表1 小圆山斜长花岗岩斑岩锆石 LA-MC-ICP-MS 测年结果
 Table 1 LA-MC-ICP-MS isotopic data of zircon from Xiaoyuanshan plagiogranite porphyry

样品编号	含量/ 10^{-6}		Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$			
	Pb*	U		比值	1 σ	比值	1 σ	年龄/Ma	1 σ	年龄/Ma	1 σ	年龄/Ma	1 σ		
6	16.6	129.1	0.27	0.0508	0.0008	0.2470	0.0040	0.0353	0.0003	231	34	224	4	223	2
13	34.0	288.6	0.29	0.0514	0.0007	0.2506	0.0035	0.0354	0.0003	258	29	227	3	224	2
14	20.1	120.6	0.20	0.0517	0.0013	0.2434	0.0065	0.0341	0.0003	272	60	221	6	216	2
15	3.0	21.6	0.24	0.0515	0.0033	0.2434	0.0156	0.0343	0.0004	262	146	221	14	217	2
16	4.4	88.8	0.78	0.0505	0.0025	0.2401	0.0118	0.0345	0.0003	218	112	219	11	219	2
17	27.8	257.4	0.32	0.0511	0.0007	0.2436	0.0036	0.0346	0.0003	247	30	221	3	219	2
18	22.2	218.5	0.33	0.0502	0.0007	0.2369	0.0035	0.0342	0.0003	206	31	216	3	217	2
21	11.5	118.7	0.36	0.0517	0.0015	0.2471	0.0074	0.0347	0.0003	272	66	224	7	220	2
25	29.3	324.4	0.37	0.0513	0.0007	0.2386	0.0036	0.0337	0.0003	256	31	217	3	214	2
27	35.8	699.1	0.70	0.0510	0.0007	0.2388	0.0034	0.0339	0.0003	242	30	217	3	215	2
29	113.4	1346.4	0.40	0.0513	0.0006	0.2407	0.0032	0.0340	0.0003	255	26	219	3	216	2
31	15.8	137.1	0.29	0.0507	0.0009	0.2365	0.0045	0.0338	0.0003	227	40	216	4	214	2
32	14.6	235.4	0.58	0.0514	0.0009	0.2415	0.0044	0.0341	0.0003	260	39	220	4	216	2
33	29.9	327.9	0.37	0.0508	0.0010	0.2345	0.0052	0.0335	0.0003	232	48	214	5	212	2
38	32.0	632.9	0.72	0.0517	0.0007	0.2371	0.0035	0.0333	0.0003	271	31	216	3	211	2
39	5.4	93.7	0.63	0.0514	0.0017	0.2447	0.0085	0.0345	0.0003	260	78	222	8	219	2

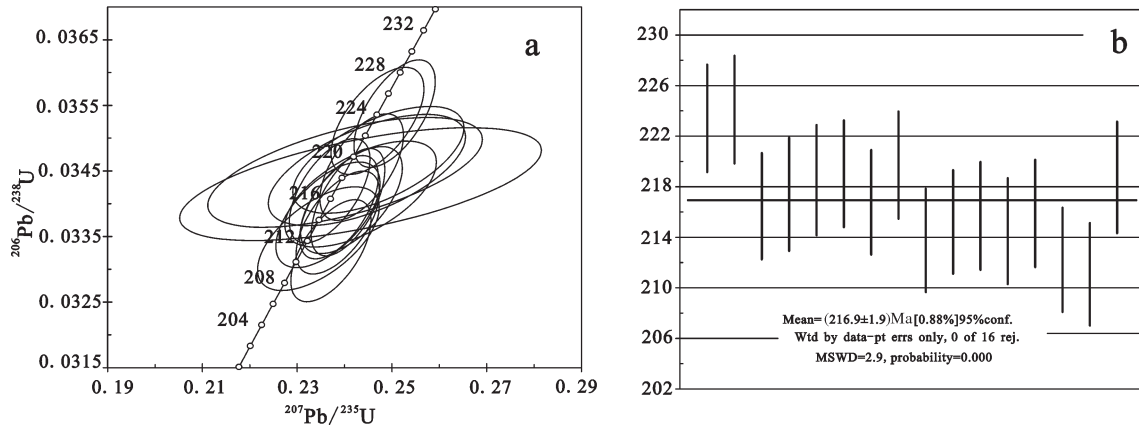


图5 小圆山斜长花岗斑岩锆石 U-Pb 年龄谐和图(a)和加权平均年龄(b)

Fig.5 Zircon U-Pb concordia diagram (a) and weighted mean ages diagram (b) of Xiaoyuanshan plagiogranite porphyry

性系列区。样品的 Al_2O_3 含量为 13.22%~14.25%，铅饱和指数 A/CNK 为 1.06~1.16，平均为 1.12，在 A/CNK-A/NK 图解(图 6-b)上，样品全部落入过铝质区域。

3.2.2 微量和稀土元素

原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 7-a)显示，斜长花岗斑岩微量元素配分模式近一致。相对于原始地幔，岩体明显富集大离子亲石元素(Rb、K)、活泼的不相容元素(如 U、Th)、轻稀土元素和 Pb，尤其是 Pb，达到原始地幔的 100~1000 倍，相对亏损高场强元素(如 Nb、Ta、P、Ti)，相对 Rb 和 Th 亏损 Ba、P 和 Ti 的亏损可能受到了磷灰石和钛铁矿分离结晶作用的影响。Rb/Sr=0.932~1.286，Nb/Ta 为 9.72~11.00。

稀土元素总量为 125.47×10^{-6} ~ 149.78×10^{-6} ，平均为 139.47×10^{-6} 。在稀土元素球粒陨石标准化配分模式图(图 7-b)上，各样品配分曲线几近一致，显示为同源岩浆演化特点，轻重稀土比值(LREE/HREE)为 11.95~13.09，平均为 12.42，二者明显分异， $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 为 14.04~16.41，平均 14.91，显示了轻稀土元素(LREE)强烈富集的右倾式稀土配分型式。 $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 为 4.70~5.00，平均 4.82， $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 为 1.73~1.99，平均 1.84，说明轻稀土之间分异较强而重稀土之间分异不明显，相对平坦。 δEu 为 0.56~0.63，平均 0.59，具有明显的 Eu 负异常，表明该区斜长花岗斑岩岩体可能经历过斜长石分离结晶作用，或者说源区有一定的斜长石残留。 δCe 变化范围不大，集中在 1.04~1.05，平均 1.04，可能反映了岩浆演化过程中氧化还原条件较为稳定。

4 讨论

4.1 岩浆源区和岩石成因

岩石显示明显的 Ta、Nb、Ti 具“TNT”负异常，Sun & McDonough 认为主要显示俯冲带幔源岩石的成分特点^[23]，Mckenzie 则指出岩浆受到地壳物质的混染，或者岩浆源区残留有富 Ta、Nb、Ti 的矿物(如金红石、钛铁矿等)也可造成“TNT”的亏损^[24]。Rb/Sr 比值(0.932~1.286)介于上地幔值(0.034)^[25]和地壳值(5.36~6.55)^[26]之间，Nb/Ta 比值(9.72~11.00)总体低于地幔平均值 17.5^[23]，显示壳幔混合的特点。

4.2 斜长花岗斑岩形成时代及其成矿作用

印支期是东昆仑地区构造岩浆活动表现非常强烈的时期^[15]，是祁漫塔格地区成矿强度最大、最具有经济意义的多金属成矿期，以形成与高钾钙碱性中酸性岩浆侵入活动有关的矽卡岩型、斑岩型铁铜铅锌银钼锡多金属矿床为特点^[27]。近年来，随着区域地质矿产调查以及相关研究工作不断深入，发现区域上与矽卡岩型铁、铜、铅锌多金属成矿有关的花岗岩时代多集中于印支期。如，卡而却卡铜铅锌矿床花岗闪长岩和似斑状二长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为 $(237 \pm 2) \text{Ma}$ ^[28] 和 $(227.3 \pm 1.8) \text{Ma}$ ^[27]；虎头崖铅锌多金属矿区与成矿密切相关的花岗闪长岩和二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄分别为 $(235.4 \pm 1.8) \text{Ma}$ 和 $(219.2 \pm 1.4) \text{Ma}$ ^[5]；野马泉地区景忍正长花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $(204.1 \pm 2.6) \text{Ma}$ ^[29]；尕林格大型矽卡岩型铁多金属矿床石英二长闪长岩、石英二长岩的 LA-ICP-MS 锆石

表2 小圆山斜长花岗斑岩主量元素(%)和微量元素含量(10^{-6})
Table 2 Content of major elements(%) and trace elements
(10^{-6}) of Xiaoyuanshan plagiogranite porphyry

分析项目	13Xb42-1	13Xb42-2	13Xb42-3	13Xb42-4	13Xb42-5
SiO ₂	71.65	72.57	72.27	72.46	72.02
TiO ₂	0.27	0.26	0.26	0.27	0.26
Al ₂ O ₃	14.25	13.62	13.70	13.64	13.22
Fe ₂ O ₃	<0.01	<0.01	<0.01	0.08	0.25
FeO	2.01	1.96	2.63	1.77	1.39
MnO	0.04	0.05	0.05	0.05	0.07
MgO	0.50	0.48	0.48	0.48	0.50
CaO	1.60	1.68	1.74	1.77	2.39
Na ₂ O	2.93	2.98	3.04	2.44	2.40
K ₂ O	4.30	3.84	4.04	4.16	3.88
P ₂ O ₅	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
LOI	2.58	2.68	2.68	2.88	3.55
H ₂ O ⁺	0.61	0.97	0.97	1.08	1.34
Total	100.20	100.19	100.96	100.07	100.00
Sc	3.02	3.18	3.08	3.02	3.00
V	14.00	13.80	13.20	13.90	13.50
Cr	3.21	3.84	2.93	4.06	2.42
Ni	1.39	1.86	1.34	2.17	1.53
Co	2.72	2.49	2.87	2.69	2.64
Rb	210.00	198.00	193.00	216.00	201.00
Ba	736.00	557.00	648.00	687.00	617.00
Th	16.80	16.10	14.30	16.00	16.40
U	4.63	4.70	5.34	6.08	5.26
Ta	1.02	1.05	1.08	1.00	1.04
Nb	10.60	11.40	10.50	11.00	10.70
Pb	27.80	28.70	29.00	25.00	29.20
Sr	198.00	190.00	207.00	168.00	174.00
Zr	145.00	138.00	135.00	148.00	132.00
Hf	4.84	4.71	4.33	4.54	4.43
Y	14.90	14.80	13.40	14.40	14.50
La	31.60	31.20	27.60	31.40	33.40
Ce	63.00	62.50	55.20	62.70	66.60
Pr	6.91	6.91	6.19	6.85	7.32
Nd	24.80	24.30	22.30	23.60	26.70
Sm	4.08	4.29	3.79	4.19	4.41
Eu	0.74	0.75	0.70	0.69	0.72
Gd	3.30	3.47	3.07	3.23	3.51
Tb	0.48	0.51	0.46	0.48	0.50
Dy	2.81	2.79	2.51	2.62	2.78
Ho	0.54	0.53	0.48	0.50	0.52
Er	1.53	1.49	1.36	1.40	1.43
Tm	0.24	0.22	0.21	0.22	0.21
Yb	1.58	1.50	1.41	1.52	1.46
Lu	0.21	0.21	0.19	0.23	0.22
Σ REE	141.82	140.67	125.47	139.63	149.78
LREE/HREE	12.27	12.12	11.95	12.69	13.09
(La/Yb) _N	14.35	14.92	14.04	14.82	16.41
δ Eu	0.62	0.59	0.63	0.57	0.56
δ Ce	1.05	1.04	1.04	1.05	1.04
(La/Sm) _N	5.00	4.70	4.70	4.84	4.89
(Gd/Yb) _N	1.73	1.91	1.80	1.76	1.99

U-Pb 年龄分别为(228.3±0.5)Ma 和(234.4±0.6)Ma^[30];肯德可克二长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为(229.5±0.5)Ma^[31];哈西亚图矽卡岩型铁多金属矿石英闪长岩的锆石 U-Pb 年龄为(246.8±1.8)Ma^[32];那陵郭勒河以东与铁矿有关的花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为(214.2±1.3)~(225.2±1.2)Ma^[33]。

本文获得了小圆山矿区与矽卡岩型铁多金属矿有关斜长花岗斑岩 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为(216.9±1.9)Ma,形成时代为晚三叠世,属印支晚期岩浆活动的产物。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。进一步证明区域上与矽卡岩型铁铜多金属成矿密切相关的花岗岩集中形成于印支期,为区域东昆仑造山带晚古生代一早中生代构造旋回的产物。印支期岩浆和流体为祁漫塔格地区矽卡岩型多金属矿提供了主要成矿物质。矽卡岩型铁铜多金属矿化与印支期高钾钙碱性中酸性侵入岩关系密切,常产于中酸性岩体与含碳酸盐岩地层的接触带及外接触带部位,在今后的找矿工作中应引起重视。

4.3 形成构造环境及其地球动力学意义

已有研究表明,碰撞造山的后碰撞阶段,壳幔相互作用明显增强,发生强烈的幔源和壳源岩浆活动。由于后碰撞花岗岩类的源区主要受控于早期洋/陆壳俯冲阶段形成的地壳物质,致使它们在地球化学特征上常表现为类似岛弧火山岩富集大离子亲石元素和轻稀土元素、亏损高场强元素和 Nb、Ta 等特点。而小圆山斜长花岗斑岩明显富集大离子亲石元素(Rb、K)、活泼的不相容元素(如 U、Th)、轻稀土元素和 Pb,相对亏损高场强元素(如 Nb、Ta、P、Ti),均反映其具岛弧火山岩特征。该类岩石在花岗岩的 Y-Nb 判别图解中,所有样品均落在火山岛弧与同碰撞花岗岩区域(图 8-a),而在花岗岩的(Y+Nb)-Rb 判别图解中均落在火山岛弧区域内(图 8-b)。

简单地运用微量元素构造图解判别构造环境可能是片面的,故结合当时的大地构造演化制约很有必要。区域上已有研究表明,包括青海祁漫塔格在内的东昆仑地区在晚古生代由于拉张出现阿尼玛卿二叠纪小洋盆,属于古特提斯洋的一部分。华力西晚期—印支早期,洋盆依次向北俯冲、消减,在东昆仑南侧形成三叠纪前陆堆积,在其北侧的微板

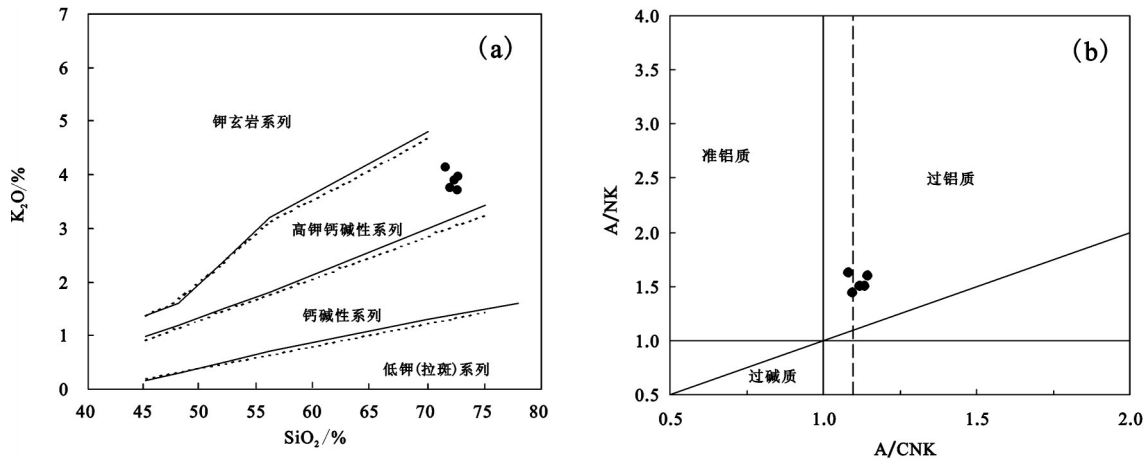


图6 小圆山斜长花岗斑岩的SiO₂-K₂O图解(a)^[20-21]及A/CNK-A/NK图解(b)^[22]
 Fig.6 SiO₂-K₂O (a) and A/CNK-A/NK (b) plots for the Xiaoyuanshan plagiogranite porphyry

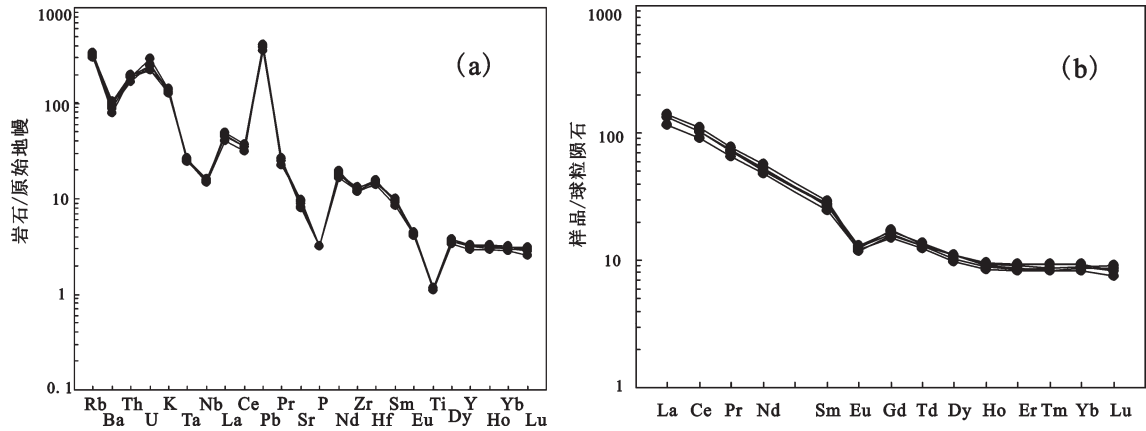


图7 小圆山斜长花岗斑岩的微量元素原始地幔标准化蛛网图(a)及稀土元素球粒陨石标准化配分曲线图(b)
 (标准化数值据文献[23])
 Fig. 7 Primitive mantle-normalized trace element patterns (a) and chondrite-normalized REE patterns (b)
 for the Xiaoyuanshan plagiogranite porphyry

块南缘,则有华力西-印支期花岗岩的大面积侵入,成为古特提斯北部的活动陆缘。之后,随着古特提斯陆缘的不断增生,巴颜喀拉-阿尼玛卿洋向北俯冲,从石炭纪开始陆续有与洋壳俯冲有关的火山喷发和岩浆侵入活动,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,促使陆内造山作用,整个区域上升成陆^[17]。

已有研究表明,东昆仑是一个具有复杂演化历史的多旋回复合造山带^[16,18,35]。一般认为东昆仑地区晚古生代-早中生代构造岩浆旋回可划分为3个阶段:(1)洋脊(昆南洋)形成与扩张阶段(309~260

Ma);(2)大洋板块大规模俯冲碰撞阶段(260~230 Ma);(3)陆内造山阶段(230~190 Ma)^[36]。结合本次最新获得小圆山斜长花岗斑岩形成时代(216.9±1.9 Ma),恰处在大规模俯冲碰撞后的陆内造山阶段,即形成于后碰撞构造阶段。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。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岩地层进行了接触交代作用,形成了矽卡岩型矿床。

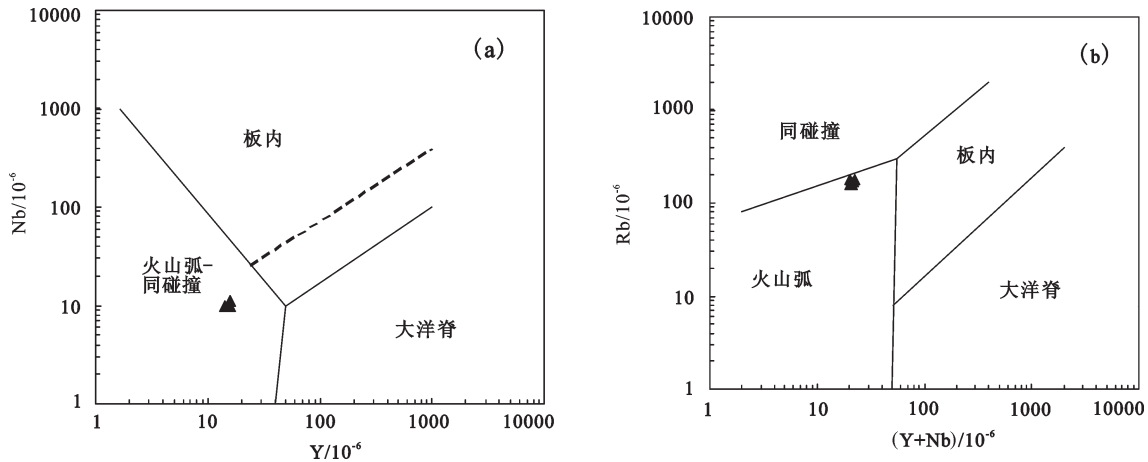


图8 小圆山斜长花岗斑岩构造环境判别图解

(a)Y-Nb判别图;(b)(Y+Nb)-Rb判别图^[34]

Fig.8 Tectonic discrimination diagram for Xiaoyuanshan plagiogranite porphyry

(a) Y-Nb discrimination diagram; (b) (Y+Nb)-Rb discrimination diagram^[34]

5 结 论

(1)岩石地球化学特征表明,小圆山矽卡岩型铁多金属矿区斜长花岗斑岩为过铝质高钾钙碱性系列岩石。岩石富集大离子亲石元素(Rb、K)、活泼的不相容元素(如U、Th)、轻稀土元素和Pb,明显亏损高场强元素(如Nb、Ta、P、Ti),显示轻稀土强烈富集的右倾式稀土配分型式,呈明显负Eu异常。

(2)综合青海祁漫塔格地区已有年代学资料和区域地质构造演化特征,认为小圆山斜长花岗斑岩形成于后碰撞构造阶段,Rb/Sr、Nb/Ta等特征反映出岩石具壳幔混合岩浆的特点。

(3)本文首次获得小圆山矽卡岩型铁多金属矿区与成矿关系密切的斜长花岗斑岩LA-MC-ICP-MS锆石U-Pb年龄为(216.9±1.9)Ma,形成时代为晚三叠世,属印支晚期,为区域东昆仑造山带晚古生代—早中生代构造旋回的产物。

(4)印支期高钾钙碱性中酸性侵入岩与东昆仑祁漫塔格地区矽卡岩型多金属矿具有密切的时空和成因关系,多金属成矿作用意义重大,在今后找矿工作中应予以重视。

参考文献(References):

[1] 湛宏伟, 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 implications[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2006, 25(1): 25-32(in Chinese with English abstract).

[2] 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 Qimantagregion, Eastern Kunlun[J]. Geology and Prospecting, 2001, 37(1): 73-78(in Chinese with English abstract).

[3] 丰成友, 李东生, 吴正寿, 等. 东昆仑祁漫塔格成矿带矿床类型、时空分布及多金属成矿作用[J]. 西北地质, 2010, 43(4): 10-17.

Feng Chengyou, Li Dongsheng, Wu Zhengshou, et al. Major types, time-space distribution and metallogenesis of polymetallic deposits in the Qimantag metallogenic belt, eastern Kunlun area[J]. Northwestern Geology, 2010, 43 (4): 10-17 (in Chinese with English abstract).

[4] 李东生, 张占玉, 苏生顺, 等. 青海卡尔却卡铜钼矿床地质特征及成因探讨[J]. 西北地质, 2010, 43(4): 239-244.

Li Dongsheng, Zhang Zhanyu, Su Shengshun, et al. Geological characteristics and genesis of the Kaerqueka copper molybdenum deposit in Qinghai Province[J]. Northwestern Geology, 2010, 43 (4): 239-244(in Chinese with English abstract).

[5] 丰成友, 王雪萍, 舒晓峰, 等. 青海祁漫塔格虎头崖铅锌金属矿区年代学研究及地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41 (6): 1806-1817.

Feng Chengyou, Wang Xueping, Shu Xiaofeng, et al. Isotopic chronology of Hutouya skarn-type lead-zinc polymetallic ore district in the Qimantage area, Qinghai Province, and its geological significance[J]. Journal of Jilin University(Earth

- Science Edition), 2011, 41 (6): 1806–1817(in Chinese with English abstract).
- [6] 张爱奎, 莫宣学, 刘光莲, 等. 野马泉矿床特征及找矿潜力分析[J]. 矿产与地质, 2010, 24(2): 97–106.
Zhang Aikui, Mo Xuanxue, Liu Guanglian, et al. Analysis of the feature and prospecting potential of Yemaquan deposit[J]. Mineral Resources and Geology, 2010, 24(2): 97–106(in Chinese with English abstract).
- [7] 伊有昌, 焦革军, 张芬英. 青海东昆仑肯德可克铁钴多金属矿床特征[J]. 地质与勘探, 2006, 42(3): 30–35.
Yi Youchang, Jiao Gejun, Zhang Fenyong. Characteristics of Kendekeke Fe–Co multi–metal deposit in east Kunlun, Qinghai Province[J]. Geology and Prospecting, 2006, 42 (3): 30–35(in Chinese with English abstract).
- [8] 陈世顺, 付永侠, 保广英, 等. 青海省东昆仑西段杂林格铁多金属矿床特征及成因[J]. 矿产与地质, 2009, 23(6): 542–546.
Chen Shishun, Fu Yongxia, Bao Guangying, et al. Characteristics and genesis of the Galinge polymetallic Fe deposit in west segment of east Kunlun Mountain, Qinghai Province[J]. Mineral Resources and Geology, 2009, 23 (6): 542–546(in Chinese with English abstract).
- [9] 李洪普, 宋忠宝, 田向东, 等. 东昆仑四角羊铅锌多金属矿床成矿地质特征及找矿意义[J]. 西北地质, 2010, 43(4): 179–187.
Li Hongpu, Song Zhongbao, Tian Xiangdong, et al. The mineralization characteristics and prospecting of Sijiaoyang Pb–Zn polymetallic deposit in eastern Kunlun in Qinghai[J]. Northwestern Geology, 2010, 43 (4): 179–187(in Chinese with English abstract).
- [10] 曹德智, 王军, 杨伟毅, 等. 东昆仑它温查汉铁多金属矿床控矿因素、找矿前景及方向分析[J]. 西北地质, 2012, 45(1): 56–62.
Cao Dezhi, Wang Jun, Yang Weiyi, et al. The ore–controlling factors, metallogenic condition and prospecting in west part of Tawenchahan polymetallic ore district, East Kunlun Mountains, Qinghai Province[J]. Northwestern Geology, 2012, 45 (1): 56–62(in Chinese with English abstract).
- [11] 黎存林, 代岩, 王雪萍, 等. 青海省格尔木市哈西亚图地区铁多金属矿床的发现及意义[J]. 西北地质, 2012, 45 (1): 222–228.
Li Cunlin, Dai Yan, Wang Xueping, et al. Discovery and significance of the iron–polymetallic deposits in Haxiyatu areas of Golmud city in Qinghai[J]. Northwestern Geology, 2012, 45 (1): 222–228(in Chinese with English abstract).
- [12] 赵一鸣, 丰成友, 李大新, 等. 青海西部祁漫塔格地区主要矽卡岩铁多金属矿床成矿地质背景和矿化蚀变特征[J]. 矿床地质, 2013, 32(1): 1–19.
Zhao Yiming, Feng Chengyou, Li Daxin, et al. Metallogenic setting and mineralization–alteration characteristics of major skarn Fe–polymetallic deposits in Qimantag area, western Qinghai Province[J]. Mineral Deposits, 2013, 32(1): 1–19 (in Chinese with English abstract).
- [13] 王鸿祯, 杨森南, 刘本培. 中国及邻区构造古地理和生物古地理[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990: 1–17.
Wang Hongzhen, Yang Sennan, Liu Benpei. Tectonopalaogeography and Palaeobiogeography of China and Adjacent Regions[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1990: 1–17(in Chinese with English abstract).
- [14] 莫宣学, 罗照华, 邓晋福, 等. 东昆仑造山带花岗岩及地壳生长[J]. 高校地质学报, 2007, 13(3): 403–414.
Mo Xuanxue, Luo Zhaohua, Deng Jinfu, et al. Granitoids and crustal growth in the East–Kunlun Orogenic Belt[J]. Geological Journal of China Universities, 2007, 13(3): 403–414(in Chinese with English abstract).
- [15] 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: 183–217.
Jiang Chunfa, Yang Jingsui, Feng Binggui, et al. Opening–closing Tectonics of Kunlun Mountains[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992: 183–217(in Chinese with English abstract).
- [16] 姜春发, 王宗起, 李锦轶. 中央造山带开合构造[M]. 北京: 地质出版社, 2000: 1–154.
Jiang Chunfa, Wang Zongqi, Li Jinyi. Opening–closing Tectonics of the Central Orogenic Belt[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000: 1–54(in Chinese with English abstract).
- [17] 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): 51–56.
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): 51–56(in Chinese with English abstract).
- [18] 殷鸿福, 张克信. 东昆仑造山带的一些特点[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1997, 22(4): 339–342.
Yin Hongfu and Zhang Kexin. Characteristics of the eastern Kunlun orogenic belt[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 1997, 22(4): 339–342(in Chinese with English abstract).
- [19] 李怀坤, 耿建珍, 郝爽, 等. 用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪(LA–MC–ICPMS)测定锆石 U–Pb 同位素年龄的研究[J]. 矿物学报, 2009, 29(增刊): 600–601.
Li Huaikui, Geng Jianzhen, Hao Shuang, et al. Study on zircon U–Pb dating by LA–MC–ICPMS[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2009, 29(Supp.): 600–601 (in Chinese).
- [20] Peccerillo R, Taylor S R. Geochemistry of eocene calc–alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1976, 58: 63–81.
- [21] Middlemost E A K. Magmas and Magmatic Rocks [M]. London: Longman, 1985.
- [22] Mania P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. Geological Society of America Bulletin, 1989, 101: 635–643.
- [23] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of

- oceanic basalt: Implications for mantle composition and process[C]//Saunders A D, Norry M J (eds.). *Magmatism in the Ocean Basins*. Spc. Publ. Geol. Soc. Lond., 1989, 42: 313-345.
- [24] Mckenzie D P. Some remarks on the movement of small melt fractions in the mantle[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1989, 95: 53-72.
- [25] Taylor S R, McLennan S M. The geochemical evolution of the continental crust[J]. *Reviews of Geophysics*, 1995, 33(2): 241-165.
- [26] Rudnick L R, Fountain M D. Nature and composition of the continental crust: A lower crustal perspective[J]. *Reviews of Geophysics*, 1995, 33: 267-309.
- [27] 丰成友, 王松, 李国臣, 等. 青海祁漫塔格中晚三叠世花岗岩: 年代学、地球化学及成矿意义[J]. *岩石学报*, 2012, 28(2): 665-678.
- Feng Chengyou, Wang Song, Li Guochen, et al. Middle to Late Triassic granitoids in the Qimantage area, Qinghai Province, China: Chronology, geochemistry and metallogenic significances[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(2): 665-678 (in Chinese with English abstract).
- [28] 王松, 丰成友, 李世金, 等. 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[J]. *中国地质*, 2009, 36(1): 74-84.
- Wang Song, Feng Chengyou, Li Shijin, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of granodiorite in the Kaerqueka polymetallic ore deposit, Qimantag Mountain, Qinghai Province, and its geological implications[J]. *Geology in China*, 2009, 36(1): 74-84 (in Chinese with English abstract).
- [29] 刘云华, 莫宣学, 喻学惠, 等. 东昆仑野马地区景忍花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2006, 22(10): 2457-2463.
- Liu Yunhua, Mo Xuanxue, Yu Xuehui, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the Jingren granite, Yemaquan region of the East Kunlun and its geological significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(10): 2457-2463 (in Chinese with English abstract).
- [30] 高永宝, 李文渊, 马晓光, 等. 东昆仑尕斯林格铁矿床成因年代学及 Hf 同位素制约[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2012, 48(2): 36-47.
- Gao Yongbao, Li Wenyuan, Ma Xiaoguang, et al. Genesis, geochronology and Hf isotopic compositions of magmatic rocks in Galinge iron deposit, eastern Kunlun[J]. *Journal of Lanzhou University(Natural Sciences)*, 2012, 48(2): 36-47 (in Chinese with English abstract).
- [31] 肖晔, 丰成友, 刘建楠, 等. 青海肯德可克铁多金属矿区年代学及硫同位素特征[J]. *矿床地质*, 2013, 32(1): 177-186.
- Xiao Ye, Feng Chengyou, Liu Jiannan, et al. LA-MC-ICP-MS zircon U-Pb dating and sulfur isotope characteristics of Kendekeke Fe-polymetallic deposit, Qinghai Province[J]. *Mineral Deposits*, 2013, 32(1): 177-186 (in Chinese with English abstract).
- [32] 南卡俄吾, 贾群子, 李文渊, 等. 青海东昆仑哈西亚图铁多金属矿区石英闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和岩石地球化学特征[J]. *地质通报*, 2014, 33(6): 841-849.
- Namkha Norbu, Jia Qunzi, Li Wenyuan, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and geochemical characteristics of quartz diorite from the Haxiyatu iron-polymetallic ore district in Eastern Kunlun[J]. *Geological Bulletin of China*, 2014, 33(6): 841-849 (in Chinese with English abstract).
- [33] 常有英, 李建放, 张军, 等. 青海那陵郭勒河东晚三叠世侵入岩形成环境及年代学研究[J]. *西北地质*, 2009, 42(1): 57-65.
- Chang Youying, Li Jianfang, Zhang Jun, et al. Study of environment and chronology of Late Triassic intrusive rocks in east Nalinggele river of Qinghai[J]. *Northeastern Geology*, 2009, 42(1): 57-65 (in Chinese with English abstract).
- [34] Pearce J A. Source and settings of granitic rocks[J]. *Episodes*, 1996, 19: 120-125.
- [35] 王秉璋, 罗照华, 李怀毅, 等. 东昆仑祁漫塔格走廊域晚古生代—早中生代侵入岩岩石组合及时空格架[J]. *中国地质*, 2009, 36(4): 769-782.
- Wang Bingzhang, Luo Zhaohua, Li Huaiyi, et al. Petrotectonic assemblages and temporal-spatial framework of the Late Paleozoic-Early Mesozoic intrusions in the Qimantage Corridor of the East Kunlun belt[J]. *Geology in China*, 2009, 36(4): 769-782 (in Chinese with English abstract).
- [36] 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. Late Paleozoic-Mesozoic intracontinental orogenic process and intermediate-acidic igneous rocks from the Eastern Kunlun Mountains of Northwestern China[J]. *Geoscience*, 1998, 12(3): 344-352 (in Chinese with English abstract).