

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

南卡俄吾^{1,2}, 贾群子², 李文渊², 郭周平², 李金超², 孔会磊², 栗亚芝², 代岩³
Namkha Norbu^{1,2}, JIA Qun-zi², LI Wen-yuan², GUO Zhou-ping², LI Jin-chao²,
KONG Hui-lei², LI Ya-zhi², DAI Yan³

1. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054;

2. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054;

3. 青海省核工业地质局, 青海 西宁 810008

1. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. Xi'an Center of Geological Survey, CGS, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

3. Qinghai Geological Bureau of Nuclear Industry, Xi'ning 810008, Qinghai, China

摘要: 东昆仑地区是青海省重要的夕卡岩型铁多金属矿成矿带, 哈西亚图铁多金属矿是近年来首例在东昆仑金水口岩群中发现的与中酸性岩体有关的夕卡岩型矿床, 目前铁、金、锌矿已达中型。其成矿作用与矿区东北部石英闪长岩关系密切, 矿体产于石英闪长岩的外接触带。采用 LA-ICP-MS 同位素测定技术, 测得石英闪长岩锆石 U-Pb 年龄为 246.8 ± 1.8 Ma (MSWD=0.074), 形成于早三叠世, 表明东昆仑地区早三叠世存在夕卡岩成矿作用。地球化学研究表明, 石英闪长岩为高钾钙碱性系列, 具有安第斯型活动大陆边缘火成岩的构造属性。研究认为, 石英闪长岩是阿尼玛卿洋盆向北俯冲, 致使壳幔岩浆发生混合, 后经侵位、结晶分异形成的。

关键词: 石英闪长岩; LA-ICP-MS; 锆石 U-Pb 年龄; 哈西亚图; 东昆仑造山带

中图分类号: P618.31; P597+.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2014)06-0841-09

Nam K N B, Jia Q Z, Li W Y, Guo Z P, Li J C, Kong H L, Li Y Z, Dai Y. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and geochemical characteristics of quartz diorite from the Haxiyatu iron-polymetallic ore district in Eastern Kunlun. *Geological Bulletin of China*, 2014, 33(6):841-849

Abstract: Eastern Kunlun region is an important skarn-type iron-polymetallic metallogenic belt in Qinghai Province, and the Haxiyatu iron-polymetallic deposit is related to the intermediate intrusive body discovered in recent years in the area of Jinshui Kou rock group. The iron, gold and zinc reserves of the deposit have reached a medium-size deposit. The mineralization has a close relationship with quartz diorite in northeast mining area, and the orebody occurs in the outer contact zone of quartz diorite. LA-ICP-MS isotope dating of zircons from the quartz diorite yielded an age of 246.8 ± 1.8 Ma (MSWD=0.074), suggesting that the quartz diorite was formed before Early Triassic and that there existed skarn mineralization in Eastern Kunlun area in Early Triassic. Geochemical studies indicate that quartz diorite is of high-K calc-alkaline series and has the attribute of Andean type epicontinental igneous tectonics. It is thus held that the quartz diorite was formed after the northward subduction of Animating ocean basin which caused the mixing, emplacement and crystallization differentiation of the crust mantle magma.

Key words: quartz diorite; LA-ICP-MS; zircon U-Pb dating; Haxiyatu; East Kunlun orogenic belt

收稿日期: 2013-11-22; 修订日期: 2014-02-21

资助项目: 中国地质调查局项目(编号: 1212010918044、12120113029000)

作者简介: 南卡俄吾(1989-), 男, 藏族, 在读硕士生, 矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail: nkew1989@163.com

通讯作者: 贾群子(1962-), 男, 研究员, 从事矿床学和区域成矿规律研究。E-mail: xajqunzi@126.com

三叠纪时期东昆仑地区构造演化经历了大洋俯冲阶段(260~230Ma)和陆内造山阶段(230~190Ma),岩浆作用十分强烈,岩石类型多样,从中性到酸性均有发育^[1-3]。近年来,该地区与夕卡岩成矿有关的中酸性岩浆岩已成为研究热点,并且已厘定出一些与多金属成矿有关的中、晚三叠世花岗岩^[4-9]。昆中隆起带早三叠世岩石年代学研究较少,仅在东段加鲁河一带有报道^[10-11],对于岩浆活动更为频繁的西段,还未见相关研究成果。由于构造演化在时间和空间上都是连续的过程,因此,明确早三叠世岩浆岩活动特征对于了解整个昆中隆起带成岩与成矿作用至关重要。关于哈西亚图矿区石英闪长岩的形成时代缺乏具体研究,前人^[12]仅依据区域地质资料认为是华力西期岩浆活动的产物,缺少直接证据。本次研究在野外对哈西亚图矿床进行典型剖析的基础上,选取与成矿关系密切的石英闪长岩进行地球化学及年代学研究,旨在准确厘定该区石英闪长岩的形成时代,探讨其产出背景与多金属成矿作用之间的关系,为该矿床乃至区域成岩、成矿研究提供一定的依据。

1 地质背景

东昆仑造山带发育有3条近NW向的断裂带,前人^[13-14]将其从北到南划分为东昆北、昆中和昆南3个构造带(图1-a)。区内各时期地层均有出露,主要包括古元古界金水口群、中元古界狼牙山组、寒武纪—奥陶纪(?)滩间山群、上泥盆统牦牛山组、石炭系大干沟组和四羊角组、上三叠统鄂拉山组等。带内岩浆岩活动强烈,主要为华力西期和印支期,从现有资料来看印支期占主要地位,可将印支期岩浆活动分为3个期次:早期为闪长岩类,如哈西亚图石英闪长岩、阿斯哈闪长岩;中期以花岗闪长岩为主,如卡尔却卡花岗闪长岩、虎头崖花岗闪长岩^[3,5];晚期为二长花岗岩类,如那陵郭勒河东二长花岗岩、景忍—迎庆沟二长花岗岩^[5,15]。岩浆侵位活动总体表现出一定的相似性,与区域构造关系密切。

哈西亚图铁多金属矿区地处东昆中隆起带西段,位于格尔木市西120km处,是首例在东昆仑金水口岩群中所发现的具有一定规模的夕卡岩型矿床,目前铁、锌、金已达中型,成矿作用与矿区东北部石英闪长岩关系密切。由于第四系覆盖和工程揭露不足,初步认为矿区断裂以NW向为主(图1-

b),出露地层为金水口岩群上岩组,岩性主要为黑云斜长片麻岩、斜长片麻岩、长英质片岩和大理岩。总体产状南倾,倾角30~65°^[12]。岩浆岩产出类型较为单一,主要为出露于矿区C11异常东北的石英闪长岩和图幅以南的二长花岗岩,其中石英闪长岩与矿化关系密切,夕卡岩产于距岩体500m左右的外接触带,呈透镜状,似层状产出,倾向南,倾角35~60°。

2 样品和测试方法

所测样品均采自矿区C11号异常东北角的石英闪长岩体内,采样点坐标为E93°41'53.15"、N36°26'04.88",岩性为石英闪长岩,岩体长约3500m,宽约2000m,呈岩枝状产出,面积约7km²。岩石为细粒—中粒结构,块状构造,含大量暗色包体(图2-a),主要矿物为斜长石(55%~65%)、角闪石(10%~15%)、黑云母(约10%)和石英(5%~10%);副矿物为磷灰石、锆石和少量金属矿物。斜长石呈板状,自形—半自形,聚片双晶发育,长轴介于2~0.25mm之间。角闪石呈短柱状,多色性明显,Np绿色,Nm淡褐色,见简单双晶,粒径介于0.3~0.8mm之间。黑云母呈片状产出,见一组完全解理,多色性明显,Ng绿色,Nm褐色,绿泥石化明显,粒径介于0.5~1.5mm之间。石英呈他形颗粒,表面干净,无解理,粒径为0.3~1mm(图2-b)。

主量、微量和稀土元素测试分析在西安地质调查中心测试中心完成,分析仪器为SX-50型ICP-MS等离子体质谱仪。原岩破碎及锆石分选等前处理工作由河北省廊坊区域地质调查所实验室完成。

LA-ICP-MS锆石U-Th-Pb同位素测定在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。分析在Agilent型ICP-MS和德国Lambda Physik公司的ComPex 102 ArF准分子激光器(工作物质ArF,波长193nm),以及MicroLas公司的Geo-Las200M光学系统的联机上进行。激光剥蚀斑束直径为30μm,激光剥蚀样品的深度为20~40μm。实验中采用氦作为剥蚀物质的载气,用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质NIST SRM610进行仪器最佳化标准。采样方式为单点剥蚀,数据采集选用1个质量峰1点的跳峰方式,每完成5个测点加测标样1次。在所测锆石样品分析40个点之前、后各测1次NISTSRM610,锆石年龄计算

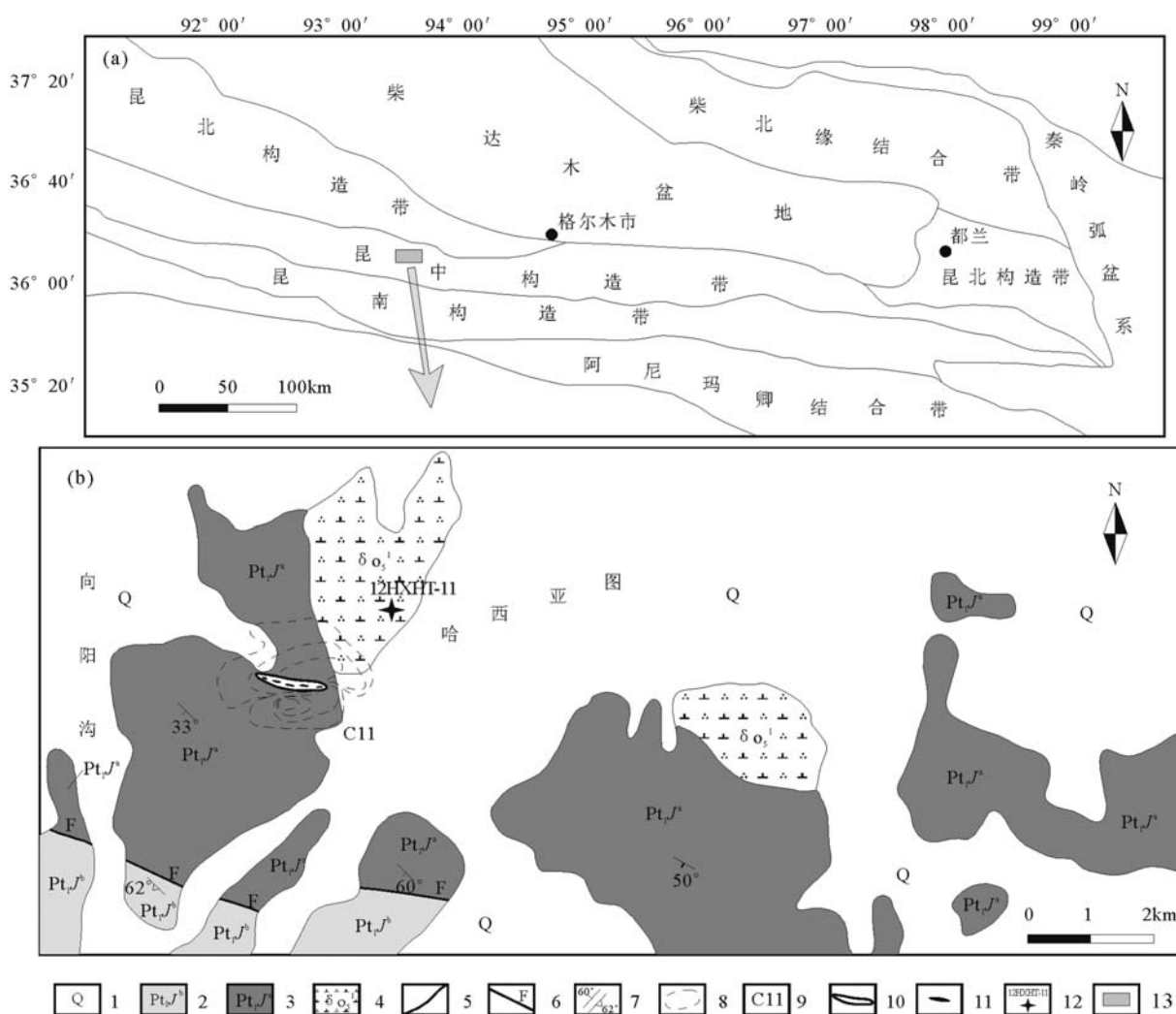


图1 哈西亚图铁多金属矿区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of the Haxiyatu iron-polymetallic ore district

- 1—第四系;2—混合岩、混合片麻岩夹斜长角岩、变粒岩、片岩及少量石英岩,上部含较多大理岩;
3—混合岩、混合片麻岩、片麻岩夹大理岩、斜长角闪岩、变粒岩及石英岩,上部以大理岩为主;
4—灰色石英闪长岩;5—地质界线;6—断层;7—产状;8—1:5万高磁异常等值线;9—异常代号;
10—地表矿化带;11—地表矿体露头;12—采样位置及样品编号;13—研究区位置

采用标准锆石 91500 作为外标,元素含量采用 NIST-SRM610 作为外标, ^{29}Si 作为内标元素进行校正,详细分析步骤和处理方法参考文献[16–19]。

3 测试结果

3.1 石英闪长岩 LA-ICP-MS 锆石定年

锆石 CL 图像(图 2-c)在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。从图 3 可以看出,锆石粒晶无色透明至浅黄色,以短柱状晶体为主,长柱状晶

体次之,长宽比为 2:1~4:1,粒径为 100~300 μm ,半自形—自形晶,部分振荡环带发育,Th 含量为 44×10^{-6} ~ 146×10^{-6} ,U 含量为 235×10^{-6} ~ 71×10^{-6} ,Th/U 值为 0.46~0.95,平均值为 0.6,均大于 0.5,显示了岩浆成因锆石的特征^[20],说明锆石的结晶年龄可以代表石英闪长岩的成岩年龄。

测得的 24 个石英闪长岩锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 250~245 Ma 之间(表 1),给出的年龄加权平均值为 $246.8 \pm 1.8 \text{ Ma}$ (MSWD=0.074,图 3), $246.8 \pm 1.8 \text{ Ma}$

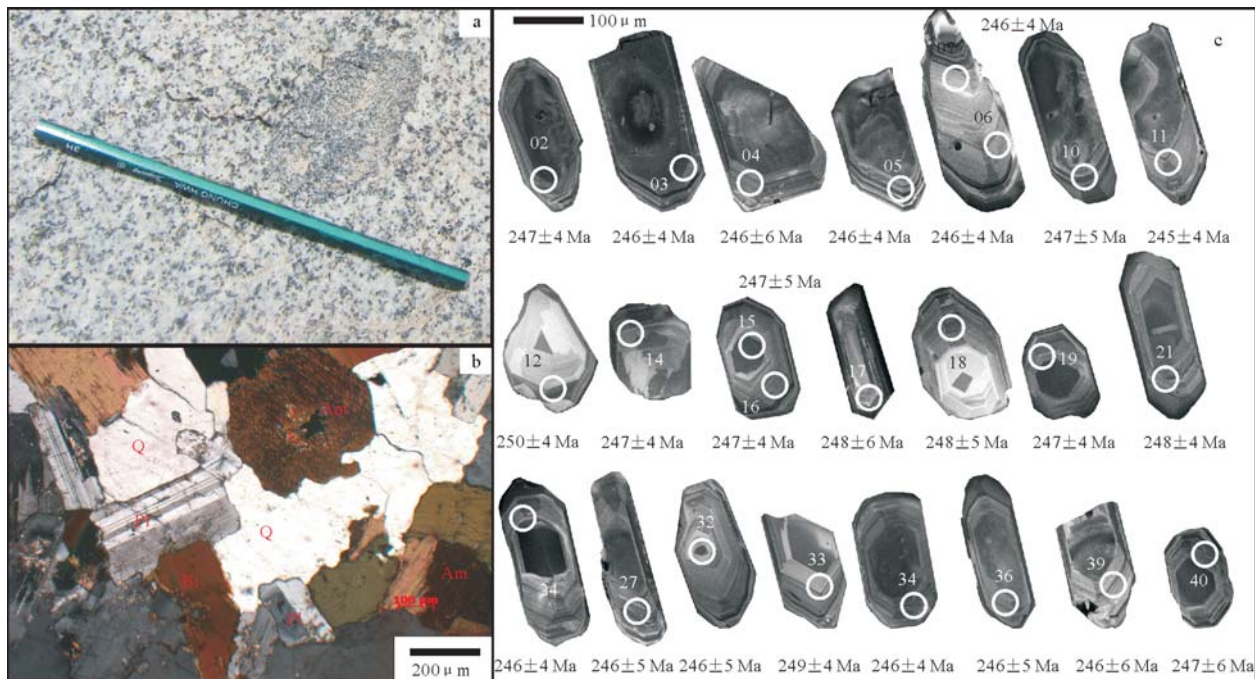


图2 哈西亚图石英闪长岩野外照片(a)、镜下照片(b)、CL图像和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄(c)

Fig. 2 Field and microscope photographs(a,b), CL images of zircons

and $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age(c) from Haxiyatu quartz diorite

Am—普通角闪石; Bi—黑云母; Pl—斜长石; Q—石英

应代表石英闪长岩的侵位年龄, 归属印支早期。

3.2 元素地球化学特征

石英闪长岩主量元素分析结果见表2。数据显示, 样品中 SiO_2 含量为62.2%~62.6%, 属中酸性岩类。 Al_2O_3 含量为16.6%~16.9%, 平均值为16.8%。在

A/CNK-A/NK图解(图4-a)中, 样品点均落入准铝质区域。 Fe_2O_3 含量为1.57%~1.71%, 平均值为1.58%。 FeO 含量为3.45%~3.76%, 平均值为3.66%。总体富CaO(5.00%~5.44%), ($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$)含量为5.63%~6.00%, 平均值为5.81%。在 SiO_2 - K_2O 图解

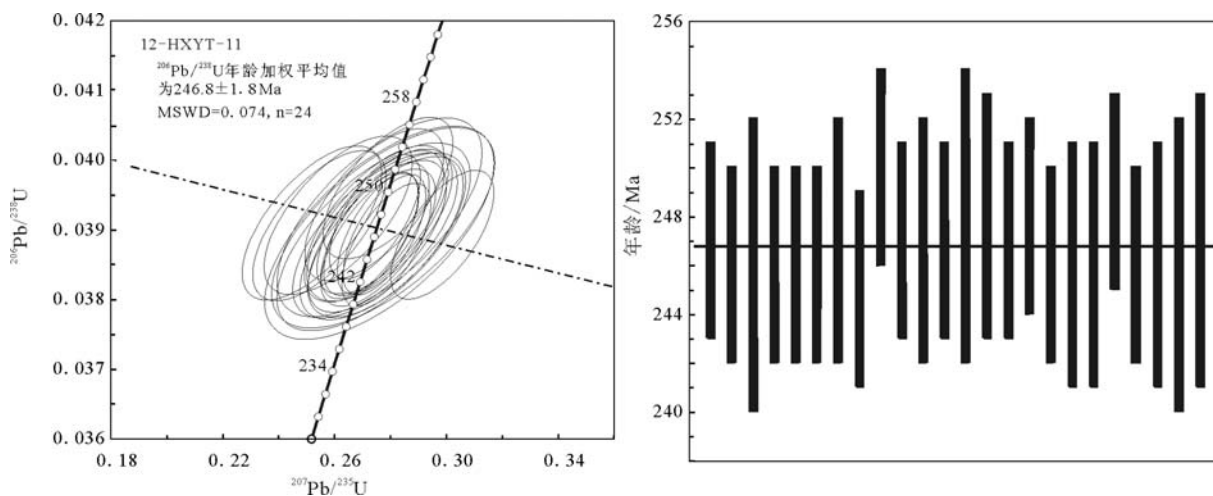


图3 哈西亚图石英闪长岩锆石U-Pb谐和图和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄图

Fig. 3 U-Pb concordia diagram and $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age plot of the zircon from Haxiyatu quartz diorite

表 1 哈西亚图石英闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 同位素测定结果

Table 1 U-Th-Pb isotope composition of zircon from Haxiyatu quartz diorite as measured by LA-ICP-MS technique

测点	Pb	U	Th	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	
	/10 ⁻⁶				比值	1σ	比值	1σ	年龄/Ma	1σ	年龄/Ma	1σ
02	8	162	93	0.57	0.03901	0.00063	0.27498	0.01	247	4	247	10
03	7	142	79	0.56	0.03893	0.00061	0.29853	0.01	246	4	265	10
04	5	107	63	0.60	0.03896	0.00101	0.27605	0.03	246	6	248	22
05	10	206	121	0.59	0.03895	0.00057	0.27542	0.01	246	4	247	8
06	8	160	87	0.55	0.03889	0.00065	0.27560	0.01	246	4	247	11
07	10	212	119	0.56	0.03893	0.00057	0.27785	0.01	246	4	249	8
10	11	235	138	0.59	0.03909	0.00074	0.27490	0.02	247	5	247	14
11	8	162	89	0.55	0.03879	0.00058	0.27848	0.01	245	4	249	8
12	4	73	43	0.61	0.03960	0.00067	0.27912	0.02	250	4	250	12
14	5	101	62	0.61	0.03906	0.00071	0.25454	0.02	247	4	230	13
15	4	74	57	0.77	0.03910	0.00073	0.25187	0.02	247	5	228	13
16	5	107	76	0.71	0.03911	0.00068	0.27640	0.01	247	4	248	12
17	6	137	73	0.54	0.03918	0.00094	0.27609	0.02	248	6	248	19
18	5	106	58	0.55	0.03921	0.00075	0.26127	0.02	248	5	236	14
19	4	71	62	0.87	0.03907	0.00072	0.27609	0.01	247	4	248	14
21	11	220	131	0.60	0.03919	0.00059	0.27444	0.01	248	4	246	9
24	10	223	111	0.50	0.03891	0.00072	0.27530	0.02	246	4	247	13
27	9	199	110	0.56	0.03890	0.00076	0.27823	0.02	246	5	249	15
32	4	83	61	0.74	0.03892	0.00078	0.27451	0.02	246	5	246	16
33	5	102	97	0.96	0.03936	0.00072	0.27420	0.02	249	4	246	13
34	10	192	145	0.76	0.03892	0.00060	0.27265	0.01	246	4	245	9
36	9	189	112	0.59	0.03891	0.00079	0.27720	0.02	246	5	248	16
39	8	167	95	0.57	0.03890	0.00089	0.27396	0.02	246	6	246	18
40	5	95	55	0.58	0.03903	0.00095	0.27737	0.03	247	6	249	21

(图 4-b)中,样品点均落入高钾钙碱性系列成分区,与 Barbarin^[21]花岗岩类分类对比,哈西亚图石英闪长岩符合 ACG 型(富角闪石钙碱质花岗岩类)特征,表现为富 CaO、K₂O、Na₂O 含量中等、CNK>A>NK<1、岩石中含有大量的暗色包体、分异过程为强烈分离结晶和岩浆混合作用。在原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 4-c)中,石英闪长岩富集大离子亲石元素 Rb、K 和活泼不相容元素 Th,相对亏损高场强元素 Ta、Nb、P、Ti 等。P 和 Ti 的亏损暗示,其可能受到磷灰石和钛铁矿的分离结晶作用的影响。Rb/Sr 值介于 0.28~0.37 之间,与地壳比值(5.36~6.55)相比明显偏低^[22],说明岩浆有幔源物质的混入。稀土元素总量为 141×10⁻⁶~170×10⁻⁶,平均值为 158×10⁻⁶,

总量较低。稀土元素标准配分曲线呈右倾(图 4-d),富集轻稀土元素,轻、重稀土元素分异明显,(La/Yb)_N值为 6.43~7.72,且各稀土元素配分曲线一致性很好,显示岩浆分异过程的一致性。 δ Eu 在 0.67~0.70 之间,呈微弱 Eu 负异常,表明石英闪长岩经历了斜长石的分离结晶作用,且源区可能有一定量的斜长石残留。

4 讨 论

4.1 石英闪长岩的形成时代及其成矿作用

东昆仑地区岩浆活动强烈,类型较齐全,从超基性岩、基性岩、中性岩到花岗岩类均有,活动时间长(包括加里东期、海西期和印支期)。从区域

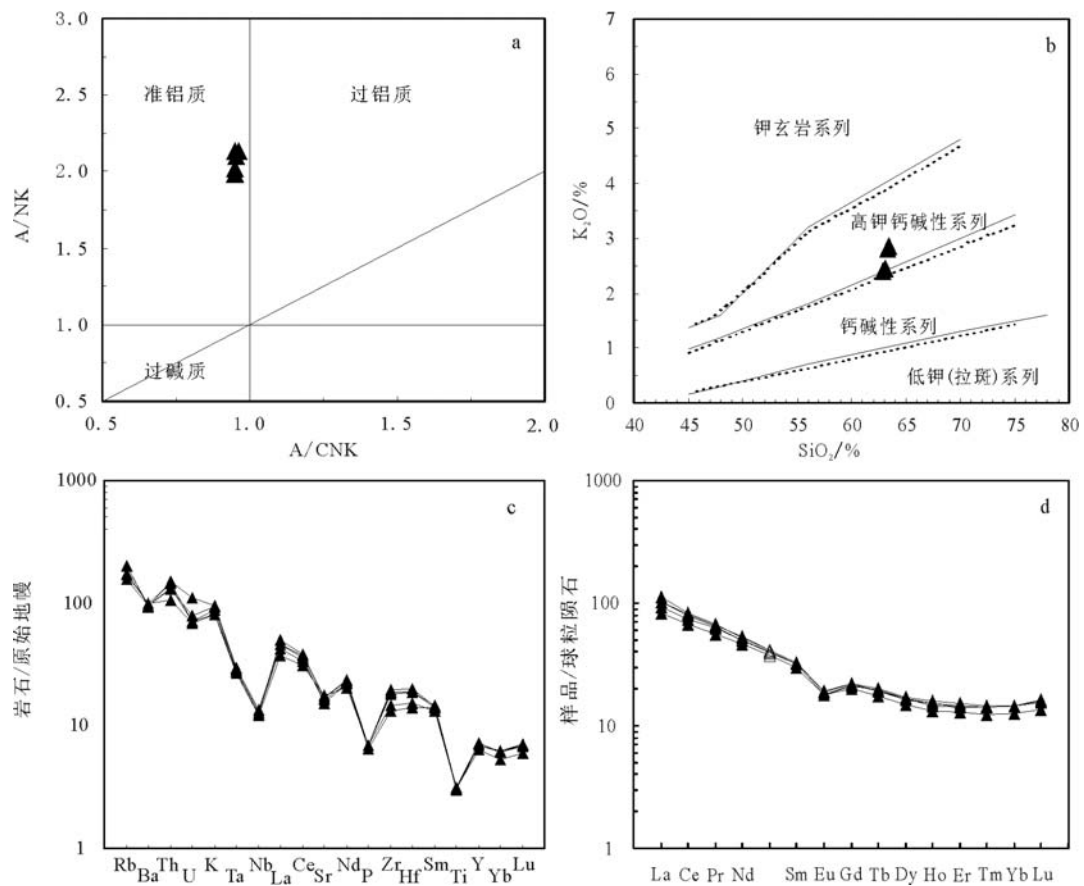
表2 哈西亚图铁多金属矿区石英闪长岩主量、微量和稀土元素含量
Table 2 Content of major elements, trace elements and REE of quartz diorite in the Haxiyatu iron-polymetallic ore district

编号	HXYT -11	HXYT -12	HXYT -13	HXYT -14	HXYT -15	编号	HXYT -11	HXYT- 12	HXYT -13	HXYT -14	HXYT -15
SiO ₂	62.2	62.6	62.2	62.6	62.4	La	34.6	29.1	31.9	31.9	25.9
Al ₂ O ₃	16.9	16.8	16.9	16.6	16.9	Ce	67.7	60.3	66.0	63.7	54.8
Fe ₂ O ₃	1.57	1.71	1.52	1.51	1.61	Pr	8.18	7.67	8.07	7.85	6.90
FeO	3.72	3.45	3.76	3.75	3.61	Nd	31.4	30.1	31.7	30.2	27.9
CaO	5.33	5.16	5.44	5.00	5.33	Sm	6.37	6.18	6.44	6.24	5.84
MgO	2.53	2.37	2.52	2.38	2.39	Eu	1.39	1.31	1.40	1.33	1.30
K ₂ O	2.61	2.79	2.38	2.83	2.42	Gd	5.71	5.50	5.76	5.58	5.26
Na ₂ O	3.15	3.21	3.25	3.20	3.24	Tb	0.91	0.92	0.94	0.90	0.82
TiO ₂	0.66	0.64	0.67	0.67	0.66	Dy	5.32	5.39	5.54	5.22	4.81
P ₂ O ₅	0.15	0.14	0.15	0.15	0.15	Ho	1.05	1.08	1.15	1.10	0.95
MnO	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	Er	3.01	3.00	3.16	3.02	2.70
LOI	1.02	0.91	1.03	1.12	0.99	Tm	0.46	0.46	0.47	0.46	0.40
H ₂ O ⁺	0.38	0.28	0.40	0.40	0.36	Yb	3.02	3.05	3.02	3.00	2.63
Rb	109	127	100	128	110	Lu	0.50	0.52	0.51	0.52	0.44
Ba	700	665	672	648	688	Y	31.3	31.8	32.7	31.4	28.7
Th	12.3	11.1	11.4	12.7	9.05	ΣREE	170	155	166	161	141
U	1.49	1.66	1.48	2.31	1.43	LREE	150	135	145	141	123
Ta	1.10	1.16	1.14	1.21	1.09	HREE	20.0	20.0	20.6	19.8	18.0
Nb	8.83	9.24	9.13	9.68	8.71	(La/Yb) _N	7.72	6.43	7.12	7.17	6.64
Sr	355	341	361	325	372	δEu	0.69	0.67	0.69	0.68	0.70
Zr	220	147	211	202	163	LREE/ HREE	7.49	6.76	7.08	7.13	6.81
Hf	6.17	4.32	5.84	5.80	4.68						

注:主量元素含量单位为%,微量元素单位为10⁻⁶

范围看,该地区岩浆岩具有较明显的成矿专属性,与铁多金属矿化有关的岩浆岩多属印支期中一酸性侵入岩^[23]。如虎头崖花岗闪长岩锆石 U-Pb 年龄为 235.4±1.8Ma、二长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 219.4±1.4Ma^[5],卡尔却卡花岗闪长岩和二长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄分别为 237±2Ma 和 227.3±1.8Ma^[4,6],野马泉地区景忍中细粒正长花岗岩的 SHRIMP 锆石年龄为 204.1±2.6Ma^[7],肯得可克二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 229.5±0.5Ma^[8]。其中,笔者从哈西亚图铁多金属矿区石英闪长岩中获得的锆石 U-Pb 年龄为 246.8±1.8Ma (MSWD=0.074),表明在东昆仑地区不仅印支中、晚期发生强烈的成岩、成矿作用,在早期同样有岩浆侵入活动,并且产生强烈的多金属成矿作用。石英闪长岩的

定年结果与地球化学特征暗示,昆中隆起带东、西两段在早三叠世具有相似的地质演化背景(表3),都具有活动大陆边缘火成岩的特征,从东部加鲁河到西部的哈西亚图 Zr/Y 值分别为 9.23 与 6.04,La/Nb 值分别为 2.12 与 3.36,闪长岩类 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 逐步升高,岩石由钾玄岩系列—高钾钙碱性岩系列向高钾钙碱性岩系列—钙碱性系列过度、包体由角闪辉长岩向闪长岩转变;就整个东昆仑地区而言,从昆北构造带至昆南构造带闪长岩类地球化学特征呈过渡变化,岩石由尕林格的高钾钙碱性系列向哈西亚图、洪水川的高钾钙碱性—钙碱性系列过渡,暗色包体是昆中隆起带岩浆岩最明显的特征,种类繁多,分布面积广泛。此外,从成矿元素组合特征看,东昆仑地区的印支期岩浆岩具有明显的成矿专属

图 4 哈西亚图铁多金属矿区石英闪长岩 A/NK-A/CNK(a)、SiO₂-K₂O(b)

图解、微量元素蛛网图(c)和稀土元素分布模式图(d)

Fig. 4 A/NK-A/CNK diagram (a), K₂O-SiO₂ diagram (b), trace element spider diagram (c) and chondrite-normalized REE distribution patterns (d) of quartz diorite in the Haxiyatu iron-polymetallic ore district

表 3 东昆仑地区闪长岩—石英闪长岩特征

Table 3 Features of diorite-quartz diorite in Eastern Kunlun

区域	昆北构造带 (杂林格)	昆中构造带(东段) (加鲁河)	昆中构造带(西段) (哈西亚图)	昆南构造带 (洪水川)
岩性	石英二长闪长岩	闪长岩	石英闪长岩	石英闪长岩
w(SiO ₂)	58.4%~59.4%	54.6%~61.6%	62.2%~62.6%	60.1%~62.7%
w(Al ₂ O ₃)	14.1%~14.6%	14.6%~16.4%	16.6%~16.9%	16.2%~16.8%
w(K ₂ O)	3.26%~3.42%	2.49%~3.78%	2.38%~2.85%	2.0%~2.4%
w(Na ₂ O)	2.23%~2.47%	2.51%~3.2%	3.15%~3.25%	3.33%~3.66%
岩石系列	高钾钙碱性系列	钾玄岩—高钾钙碱性系列	高钾钙碱性—钙碱性系列	高钾钙碱性—钙碱性系列
包体岩性	无包体	闪长岩	角闪辉长岩	无包体
形成时代/Ma	228.3	244	246	243.9
资料来源	[9]	[10]	本文	[24]

表4 东昆仑地区主要铁多金属矿特征
Table 4 Futures of main Fe-polymetallic deposits in Eastern Kunlun

地 区	卡尔却卡	肯德可克	野马泉	尕林格	哈西亚图
与成矿有关的 印支期岩浆岩	花岗闪长岩、二长 花岗岩	闪长岩、石英闪长 岩、花岗闪长岩	闪长岩、石英闪长岩、 花岗闪长岩	闪长岩、花岗 闪长岩、二长 花岗岩	石英闪长岩
成矿元素	Cu、Pb、Zn	Fe、Cu、Pb、Zn	Fe、Pb、Zn、Cu	Fe、Pb、Zn	Fe、Zn、Au
组合	(Fe、Mo、Au)	(Ag、Au、Co、Bi)	(Ag、Co)	(Co、Au)	(Cu、Pb)
资料来源	[6,23]	[23]	[23]	[23]	本文,[12]

性(表4),以铁为主,伴有铜、铅锌矿化的侵入岩为石英闪长岩,如肯德可克、野马泉矿区^[23]。研究表明,在东昆仑地区夕卡岩型矿床中,金的成矿往往与石英闪长岩关系密切。

4.2 构造环境讨论

东昆仑造山带经历了漫长而复杂的地质演化,其花岗岩类形成划分为4个与造山旋回相对应的时段:前寒武纪(元古宙)、早古生代、晚古生代—早中生代和晚中生代—新生代^[25]。其中晚古生代—早中生代进入古特提斯演化阶段,南部的阿尼玛卿洋盆海西期开始向北俯冲^[26],三叠纪期间造成花岗岩类大量产出,其岩体主要特征为岩性多样,从闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩到二长花岗岩均有发育,岩体成分变化大,花岗岩类具有安第斯型活动大陆边缘火成岩的构造属性^[2]。Rb/Sr 值较低(0.28~0.37),明显小于地壳比值(5.36~6.55)。并且有研究^[9,27]表明,镁铁质岩石部分熔融或镁铁质岩浆分离结晶只能产生少量的花岗岩,同时岩体中富含水滴状镁铁质微粒包体,这些都暗示着岩浆岩的壳幔混

合成因,并且是在液态下发生的混溶。
本文认为哈西亚图石英闪长岩是阿尼玛卿洋盆向北俯冲的产物,岩石地球化学特征表明,哈西亚图石英闪长岩具有富集大离子亲石元素 Rb、K、Th,相对亏损高场强元素 Ta、Nb、P、Ti 等,轻、重稀土元素分异明显,微弱的 Eu 负异常等特征,在花岗岩(Y+Nb)-Rb 和 Y-Nb 图解(图5)中,投点落入火山弧花岗岩中,具有安第斯型活动大陆边缘火成岩的构造属性。然而,依靠微量元素相关图解判别构造环境得出的结果只是片面性的,因此结合当时区域大地构造背景判断构造环境很有必要。而在260~230Ma 之间东昆仑地区正在经历洋壳大规模俯冲,俯冲板片发生断离,由底侵作用产生的大量热量引起软流圈物质上涌,幔源物质不断加热使得下地壳发生部分熔融,形成混合岩浆,后经侵位、结晶分异,在246Ma 期间形成哈西亚图石英闪长岩体,而现存的大量暗色包体为基性岩浆的残留体,在此过程中岩体与地层接触发生交代作用并成矿,形成哈西亚图夕卡岩型铁多金属矿床。

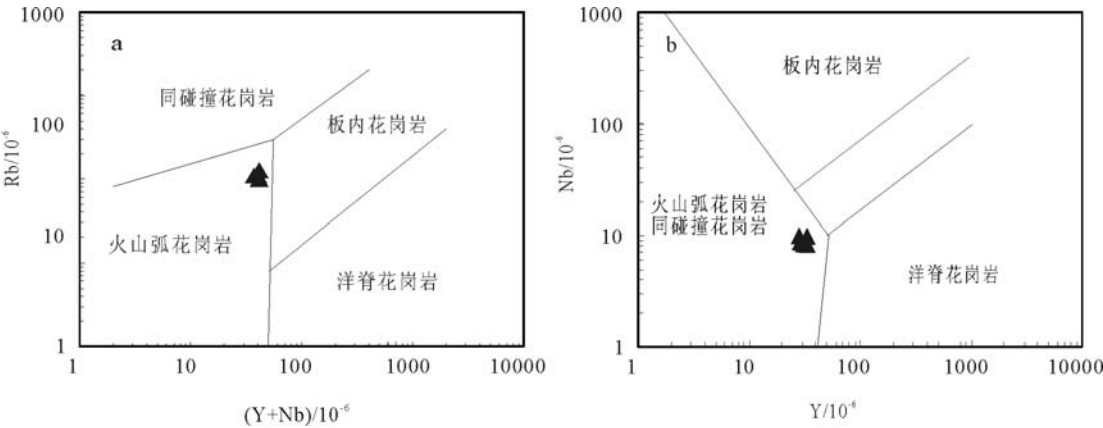


图5 哈西亚图石英闪长岩(Y+Nb)-Rb图解(a)和Y-Nb图解(b)
Fig. 5 (Y+Nb)-Rb diagram (a) and Y-Nb diagram (b) of Haxiyatu quartz diorite

5 结 论

(1)哈西亚图铁多金属矿区与多金属成矿关系密切的石英闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $246.8 \pm 1.8 \text{ Ma}$ ($N=24$, $\text{MSWD}=0.074$), 形成于早三叠世, 是印支期岩浆活动的产物。

(2)岩石地球化学研究表明, 哈西亚图夕卡岩型铁多金属矿区石英闪长岩为高钾钙碱性系列岩石。轻稀土元素富集, 轻、重稀土元素分异明显, 具微弱的 Eu 负异常, 富集大离子亲石元素 Rb、K、Th, 亏损 Ta、Nb、P、Ti 等特征, 具有安第斯型活动大陆边缘火成岩的构造属性, 形成环境为大洋俯冲环境。

(3)东昆仑地区印支期石英闪长岩更有利于铁多金属成矿, 在今后的找矿勘查中应引起重视。

致谢: 成文过程中, 野外工作得到青海省核工业地质局耿阿乔工程师的大力支持, 样品测试得到西北大学大陆动力学国家重点实验室工作人员的热情帮助, 在此一并表示感谢。

参考文献

- [1] 湛宏伟, 罗照华, 莫宣学, 等. 东昆仑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): 386-395.
- [2] 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.
- [3] 王秉璋, 罗照华, 李怀毅, 等. 东昆仑祁漫塔格走廊域古生代—早古生代侵入岩岩石组合时空格架[J]. 中国地质, 2009, 36(4): 769-782.
- [4] 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.
- [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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 高永宝, 李文渊, 马晓光, 等. 东昆仑杂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.
- [10] 李碧乐, 孙丰月, 于晓飞, 等. 东昆中隆起带东段闪长岩 U-Pb 年代学和岩石地球化学研究[J]. 岩石学报, 2012, 28(4): 1163-1172.
- [11] 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): 596-602.
- [12] 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.
- [13] 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵, 等. 昆仑开合构造[M]. 北京: 北京地质出版社, 1992: 183-217.
- [14] 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: 1-54.
- [15] 常有英, 李建放, 张军, 等. 青海那陵郭勒河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.
- [16] Horn I, Rudnick R L, McDonough W F. Precise elemental and isotope ratio determination by simultaneous solution nebulization and laser ablation-ICP-MS: Application to U-Pb geochronology[J]. Chemical Geology, 2000, 164: 281-401.
- [17] Ballard R J, Palin M J, Williams S I. Two ages of porphyry intrusion resolved for the super-giant Chuquibambilla copper deposit of northern Chile by LA-ICP-MS and SHRIMP[J]. Geology, 2001, 29: 383-386.
- [18] Kosler J, Fonneland H, Sylvester P. U-Pb dating of detrital zircons for sediment provenance studies: A comparison of laser ablation ICP-MS and SIMS techniques[J]. Chemical Geology, 2002, 82: 605-618.
- [19] 袁洪林, 吴福元, 高山, 等. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析[J]. 科学通报, 2003, 48(14): 1511-1520.
- [20] Claesson S, Vetrin V, Bayanova T. U-Pb zircon ages from a Devonian carbonatite dyke, Kola peninsula, Russia: A record of geological evolution from the Archaean to the Palaeozoic[J]. Lithos, 2000, 51: 95-108.
- [21] Barbarin B. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments[J]. Lithos, 1999, 46: 605-626.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 陈国超, 裴先志, 李瑞保, 等. 东昆仑洪水川地区科科鄂阿龙岩体锆石 U-Pb 年代学、地球化学及其地质意义[J]. 地质学报, 2013, 87(2): 178-196.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] Wager L R, Brown G M. Layered Igneous Rocks[J]. San Francisco: Freeman WH & Co, 1967: 50-203.