

南卡俄吾, 贾群子, 唐玲, 等. 青海东昆仑哈西亚图矿区花岗闪长岩锆石 U-Pb 年龄与岩石地球化学特征[J]. 中国地质, 2015, 42(3): 702-712.
Namhka Norbu, Jia Qunzi, Tang Ling, et al. Zircon U-Pb age and geochemical characteristics of granodiorite from the Haxiyatu iron-polymetallic ore district in Eastern Kunlun[J]. Geology in China, 2015, 42(3): 702-712(in Chinese with English abstract).

青海东昆仑哈西亚图矿区花岗闪长岩锆石 U-Pb 年龄 与岩石地球化学特征

南卡俄吾^{1,2} 贾群子¹ 唐玲³ 栗亚芝¹ 李金超¹ 孔会磊¹ 代岩⁴

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 2. 长安大学资源学院, 陕西 西安 710054;
3. 中国地质大学资源学院, 北京 北京 100083; 4. 青海省地质调查局, 青海 西宁 810001)

摘要: 哈西亚图铁多金属矿位于东昆仑构造带, 是区域较为典型的一处矽卡岩型矿床。文章对矿区花岗闪长岩开展了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测定与岩石地球化学研究, 结果表明花岗闪长岩中锆石的年龄为 (240.1 ± 0.8) Ma (MSWD=0.62), 形成于中三叠世, 岩石为准铝高钾钙碱性系列, 轻稀土富集, 轻重稀土分馏明显, 具弱的负铕异常, 富集大离子亲石元素 (Rb、K 等), 同时表现出“TNT”(Ta、Nb、Ti) 负异常等俯冲带幔源岩石的成分特点。依据岩石学、地球化学特征并结合同时期大地构造背景认为: 花岗闪长岩产于中生代岩浆弧环境, 区域同时期花岗闪长岩与石英闪长岩有着相同的物质来源与产出背景。在其他具有矽卡岩型矿化潜力的区域, 今后找矿工作中应注重花岗闪长岩的成矿作用。

关键词: 花岗闪长岩; 锆石 U-Pb 年龄; 哈西亚图; 东昆仑造山带; 岩浆混合

中图分类号: P588.12; P597

文献标志码: A

文章编号: 1000-3657(2015)03-0702-11

Zircon U-Pb age and geochemical characteristics of granodiorite from the Haxiyatu iron-polymetallic ore district in Eastern Kunlun

Namhka Norbu^{1,2}, JIA Qun-zi¹, TANG Ling³, LI Ya-zhi¹, LI Jin-chao¹, KONG Hui-lei¹, DAI Yan⁴

(1. Xi'an Center of Geological Survey, CGS, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3. School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 4. Qinghai Geological Survey, Xining 810001, Qinghai, China)

Abstract: The Haxiyatu iron-polymetallic deposit is one of the typical deposits with the contribution of mantle-derived components in East Kunlun region. The authors carried out LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of main and trace elements in the granite porphyry. LA-ICP-MS dating of zircons from the quartz diorite yielded an age of 246.8 ± 1.8 Ma (MSWD=0.074),

收稿日期: 2015-03-31; 改回日期: 2015-04-13

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

作者简介: 南卡俄吾, 男, 1989年生, 硕士, 矿床学专业; E-mail: nkew1989@163.com。

通讯作者: 贾群子, 男, 1962年生, 研究员, 从事矿床学及成矿规律研究; E-mail: xajqunzi@126.com。

suggesting that the rock was formed in middle Triassic and should belong to metaluminous high potassium calc alkaline series, characterized by obvious fractionation of REE, enrichment of LREE and slightly negative Eu anomaly. The granodiorite is enriched in LILE (such as Rb, Ba and K), and relatively depleted in HFSE (such as Ta, Nb and Ti). According to lithological and geochemical characteristics as well as geotectonic background in the same period, the granodiorite was probably produced in Mesozoic magmatic arc environment, with the same source material from the crust-mantle mixing as the quartz diorite. In other strata of skarn mineralization potential, due attention should be paid to granodiorite mineralization in future prospecting work.

Key words: granodiorite; zircon U-Pb ages; Haxiyatu; East Kunlun orogenic belt; magma mixing

About the first author: Namhka Norbu, male, born in 1989, master, majors in mineral deposits; E-mail: nkew1989@163.com.

About the corresponding author: JIA Qun-zi, male, born in 1962, senior researcher, engages in the study of regional metallogenesis and metallogenic regularity; E-mail: xajqunzi@126.com.

1 引言

东昆仑成矿带位于青海省中部,是中国重要的金属矿产资源基地。该地区地质演化经历了多个造山旋回,特别是印支期构造运动造就了东昆仑近东西向展布的巨型岩浆岩带^[1-5],与此同时,形成了一个与三叠纪花岗质岩浆侵入活动有关的矽卡岩铁多金属成矿系列,经济价值和科学意义较大,已发现哈西亚图、野马泉、尕林格、它温查汉、它温查汉西等多处大、中型矿床。其中,哈西亚图铁多金属矿是该类矽卡岩矿床的典型代表之一。

哈西亚图矿床位于格尔木西120 km处,成矿元素主要为铁、金、锌,已发现54条矿体产于金水口岩群与石英闪长岩接触带外围,目前规模已达中型。由于矿床发现较晚,相关的研究还未深入,前人曾通过石英闪长岩对矿床成因、成岩时代进行了研究^[6],明确了矿区石英闪长岩与矽卡岩成矿的相关性,但对于矿区其他岩浆岩,特别是同样侵位于金水口岩群的花岗闪长岩研究工作尚属空白,其成矿潜力以及与石英闪长岩之间的关系目前还不清楚,同时,作为区域发育最为广泛的一类花岗质岩石,前人依据区域地质资料认为是二叠纪岩浆活动的产物,缺少直接证据,迫切需要精准数据厘定其形成时代。基于此,本文选取东昆仑哈西亚图矿区花岗闪长岩进行年代学与地球化学研究,旨在明确岩体形成时代,探讨花岗闪长岩深部产生过程与成矿潜力,为进一步丰富区域成矿作用研究提供新资料。

2 地质背景

2.1 区域地质背景

东昆仑造山带岩浆活动记录丰富,是青藏高原

内部可以与冈底斯带相媲美的一条巨型构造岩浆带^[1]。发育有3条近NW向的断裂带(图1),前人将其从北到南划分为东昆北、中和南3个构造带^[7]。区内各时期地层均有出露,主要包括:古元古界金水口岩群和中元古界狼牙山组以深变质岩系为特征,岩性主要由片麻岩、混合岩、角闪岩、大理岩、白云岩、白云质灰岩等组成,寒武—奥陶纪(时代未定,待解决)滩间山群含碳酸盐岩火山—沉积岩系,上泥盆统牦牛山组与石炭系大干沟组海陆交互碎屑岩、碳酸盐岩及中酸性火山岩建造以及上三叠统鄂拉山组陆相火山碎屑岩夹火山熔岩。地层建造为本区矽卡岩成矿提供了良好的围岩基础,并以金水口岩群和滩间山群构成了本区矽卡岩赋矿主要层位,岩浆活动作用具有明显的规律性,花岗岩类形成主要为4个时段:前寒武纪(元古宙);古元古代;晚古生代—早中生代;晚中生代—新生代,其中,晚古生代—早中生代花岗岩不仅构成了东昆仑花岗岩类主体,也是区域矽卡岩成矿的主要时期。

2.2 矿区地质概况

矿区出露地层为一套中深变质岩,包括金水口岩群上岩组和下岩组,下岩组岩性:黑云斜长片麻岩、斜长片麻岩、长英质片岩、大理岩;上岩组岩性:混合岩、混合片麻岩夹斜长角闪岩、变粒岩、片岩及少量石英岩,下部含较多大理岩,地层总体产状南倾,倾角30°~65°。由于第四系覆盖以及工程揭露不足,初步认为矿区断裂以NE向为主(图1),与区域性大断裂走向一致,岩浆岩主要为矿区北部的石英闪长岩与东部的花岗闪长岩,根据矿区外围地质接触关系,花岗闪长岩和石英闪长岩与金水口岩群下岩组都应该是侵入接触。矽卡岩产于距石英闪长岩体800 m左右的外接触带,矿体呈层状、似层

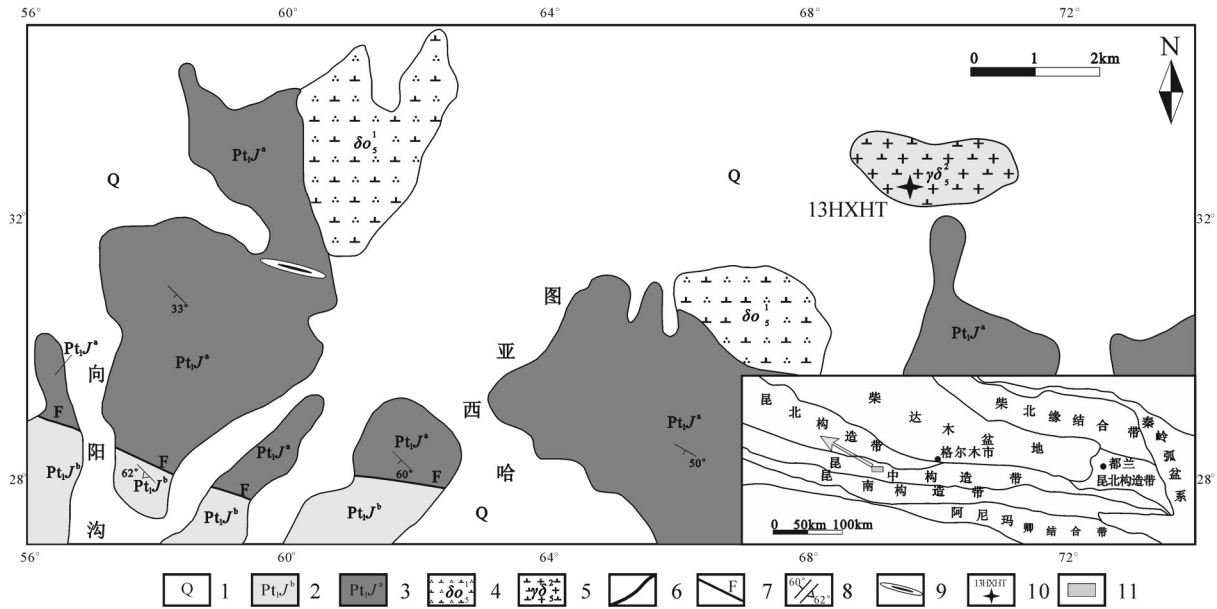


图1 哈西亚图铁多金属矿区地质简图

1—第四系;2—金水口岩群上岩组;3—金水口岩群下岩组;4—石英闪长岩;5—花岗闪长岩;6—地质界线;7—断层;8—产状;
9—矿体地表露头;10—采样位置;11—研究区位置

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

1—Quaternary; 2—Upper member of Jinshuikou Rock Group; 3—Lower member of Jinshuikou Rock Group; 4—Quartz diorite; 5—Granodiorite;
6—Geological boundary; 7—Fault; 8—Attitude; 9—Outcrop of orebody; 10—Sampling location; 11—Location of the study area

状、透镜状平行分布,产于矽卡岩中,矿石矿物主要有磁铁矿、闪锌矿和方铅矿、金矿等,多为块状构造、稠密浸染状构造、浸染状构造和条带状构造,磁铁矿中的脉石矿物主要为镁铁闪石-阳起石、白云母、透辉石和方解石,铅锌矿石中的脉石矿物主要有:透辉石、透闪石、方解石、绿泥石等。矿带长1.4 km,厚200~350 m,倾向180°,倾角45°~75°,矿体总体沿金水口岩群下岩组顺层产出。

3 岩体地质特征及样品采集

3.1 岩体地质特征

花岗闪长岩出露于矿区东北部,呈岩枝状产出,面积约2 km²。岩石为块状构造(图2-a),似斑状结构(图2-b),基质为细粒结构,主要成分体积分数为斜长石(45%)、石英(30%)、角闪石(18%),钾长石(5%)、黑云母(2%),矿物晶体粒径在0.2~1.2 mm(图2-c)。斑晶含量(体积分数)较高,大于60%,斑晶矿物成分主要为斜长石与石英,其次为钾长石(图2-d),斜长石晶体多呈半自形板状,晶体粒径介于2~7 mm,石英斑晶与钾长石斑晶呈粒状,粒

径大小在2~6 mm。

3.2 样品采集

所测样品均采自哈西亚图东部花岗闪长岩体内。野外采集新鲜的花岗闪长岩样品约30 kg,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。首先用水将样品表面清洗后晾干,粉碎至80目,再经过粗淘、强磁分选、电磁分选和酒精细淘等过程,最后双目镜下手工挑选锆石。

锆石U-Pb测年工作在天津地质矿产研究所同位素实验室利用激光烧蚀多接受器等离子体质谱法(LA-MC-ICPMS)完成。采用GJ-1作为外部锆石年龄标准进行U、Pb同位素分馏校正^[8],仪器性能、分析方法、测试过程详见文献[9]。数据采用ICPMSSDataCal程序与Isoplot程序进行处理^[10,11],采用²⁰⁸Pb校正法对普通铅进行校正^[12]。主量元素、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,其中主量元素采用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

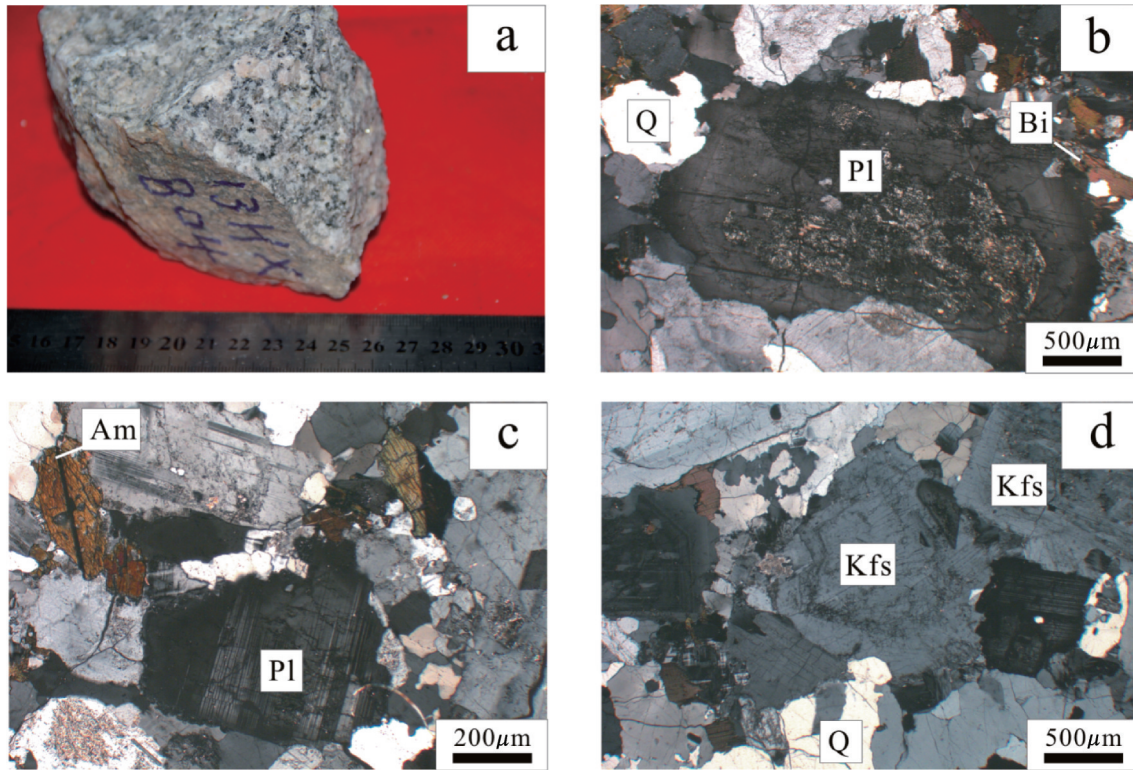


图2 哈西亚图花岗闪长岩标本(a)和镜下照片(b,c,d)

Q—石英;Pl—斜长石;Am—角闪石;Kfs—钾长石;a—花岗闪长岩似斑状结构;b—花岗闪长岩中的斜长石斑晶;
c—花岗闪长岩中的角闪石基质;d—花岗闪长岩中的钾长石斑晶

Fig.2 Field and microscope photographs of granodiorite in Haxiyatu

Q—Quartz; Pl—Plagioclase; Am—Amphibole; Kfs—K-feldspar; a—Porphyritic structure in granodiorite; b—Plagioclase phenocrysts in granodiorite;
c—Amphibole matrix in granodiorite; d—K-feldspar phenocrysts in granodiorite

行测定,分析精度优于5%~10%。

4 测试结果

4.1 花岗闪长岩LA-ICP-MS锆石定年

锆石的CL图像(图3)在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。从图中可以看出,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100~300 μm,半自形至自形,部分振荡环带发育,显示出岩浆锆石特征,测得的40个花岗闪长岩锆石的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄介于243~235 Ma(表1),其加权平均值为(240.1±0.8) Ma (MSWD = 0.62,图4),应代表花岗闪长岩的侵位年龄,属中三叠世。

4.2 元素地球化学特征

花岗闪长岩样品分析结果(表2)显示:SiO₂为71.9%~73.5%,属酸性岩类。Al₂O₃ 14.1%~14.6%,平

均14.4%,在A/CNK-A/NK图解中(图5-a),样品均落入准铝质区域。Fe₂O₃ 0.07%~0.34%,平均0.2%。总体贫CaO(1.63%~2.09%),富K₂O(4.41%~4.81%)与Na₂O(3.16%~3.24%)。在SiO₂-K₂O图解中,样品都落入高钾钙碱性系列成分区(图5-b),在原始地幔标准化微量元素蛛网图(图5-c)中可以看出,花岗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Ba、Ta、Nb、P、Ti等,Nb和Ti的亏损暗示可能受到了金红石和钛铁矿的分离结晶作用的影响。稀土总量为90.6×10⁻⁶~178×10⁻⁶,平均136×10⁻⁶,总量较低。稀土元素标准分配曲线呈右倾(图5-d),富集轻稀土,轻、重稀土分异明显,(La/Yb)_N平均为11.4,且各稀土分配曲线一致性很好,显示岩浆分异过程的一致性。δEu变化范围0.48~0.69,呈明显Eu负异常,表明花岗闪长岩经历了斜长石分离结晶作用,且源区可能有一定斜长石残留。

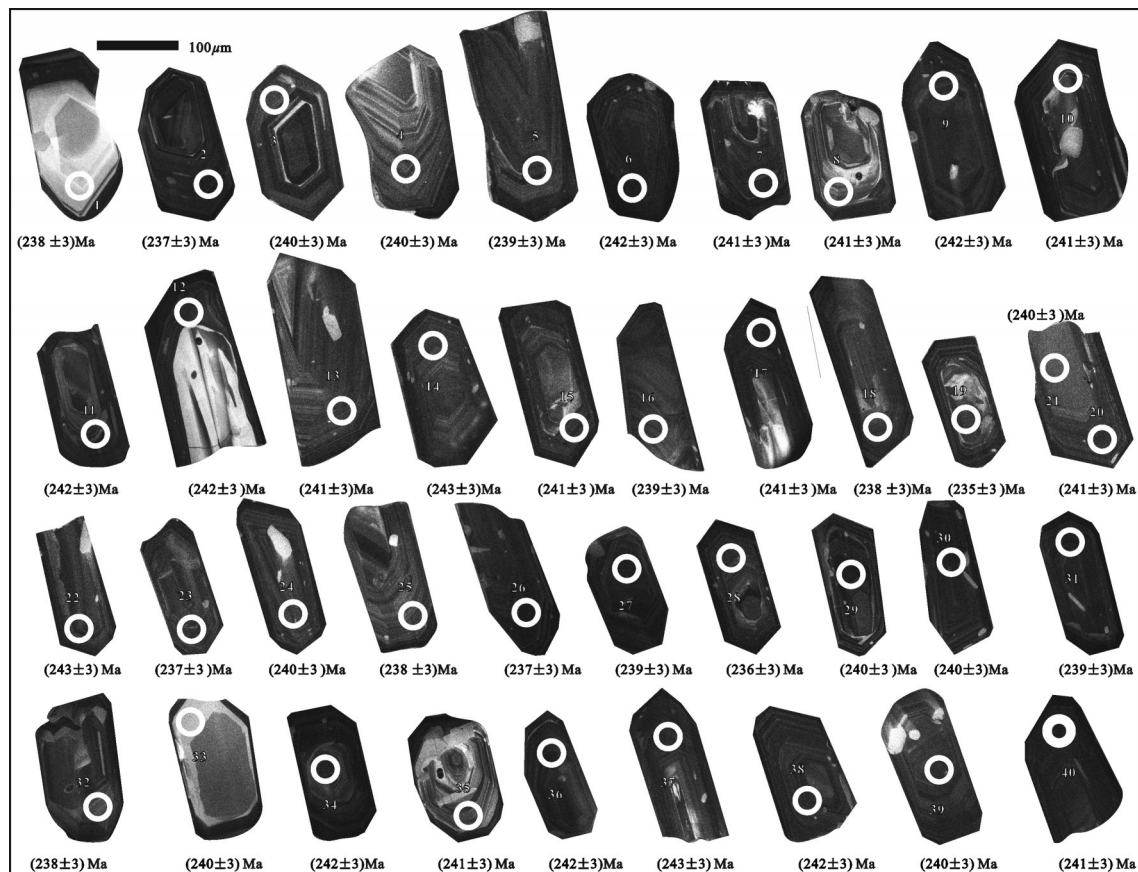


图3 哈西亚图花岗闪长岩CL图像、 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄及测定点号

Fig.3 CL images of zircons, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age and serial number of measurement points of Haxiyatu quartz granodiorite

5 讨论

5.1 岩石成因及形成时代

根据莫宣学等(2007),东昆仑岩浆弧三叠纪花岗岩类分布达20000 km²,占花岗岩类出露面积的42%^[1],其壳幔混合特征也被众多学者证实^[16-20],如卡尔却卡花岗闪长岩、虎头崖花岗闪长岩^[21]。从岩石地球化学特征来看,哈西亚图花岗闪长岩与区域其他同类岩石具有相似特征,即富集大离子亲石元素Rb、K、LREE和活泼不相容元素Th、U,同时表现出“TNT”(Ta、Nb、Ti)负异常等俯冲带幔源岩石的成分特点^[15],说明幔源物质参与了岩浆活动,具有安第斯型活动大陆边缘火成岩的构造属性,此外,构造环境判别结果也暗示花岗闪长岩形成于俯冲岩浆弧环境(图6)。本次获得哈西亚图花岗闪长岩年龄为(240.1±0.8) Ma,与矿区含闪长质包体的石英

闪长岩(246.8±1.8) Ma年龄相近^[6],表明两种岩浆岩应该是同期构造活动的产物,形成于阿尼玛卿洋盆闭合过程(260~230 Ma)^[4,22],所不同的是花岗闪长岩中并不发育暗色微粒包体。

5.2 深部过程与成矿潜力

较高温度和高延展性的陆壳会束缚底侵岩浆的上升,对英安质岩浆的熔融起到促进作用,有利于混合作用的发生^[23]。早—中三叠世期间东昆仑地区正好处于阿尼玛卿洋盆俯冲阶段,区域部分地段基性岩浆岩发育,同时,含暗色微粒包体花岗质岩浆分布广泛,说明该时期陆壳属高延展性,易于壳幔岩浆混合作用的发生。需要强调的是,在东昆仑范围内有无包体对于三叠纪花岗质岩石的壳幔混合来源只是一个充分而非必要条件,对于部分壳幔源花岗岩类,包体的存在更依赖于岩浆混合程度^[24],完全混合与不完全混合造就了有无包体的差异性,

表1 哈西亚图花岗闪长岩体中锆石的LA-ICP-MS U-Pb同位素测定结果

Table 1 U-Pb isotope composition of the zircon from the Haxiyatu granodiorite as measured by LA-ICP-MS technique

测点	Pb U		Th/U	同位素比值				表面年龄/ Ma			
	10 ⁻⁶			²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ
1	56	75	0.2288	0.0375	0.0005	0.2679	0.0200	238	3	241	18
2	31	1531	0.4366	0.0375	0.0004	0.2714	0.0037	237	3	244	3
3	31	802	0.2011	0.0380	0.0004	0.2666	0.0060	240	3	240	5
4	58	855	0.2304	0.0380	0.0004	0.2622	0.0037	240	3	236	3
5	60	1581	0.2726	0.0378	0.0004	0.2667	0.0035	239	3	240	3
6	52	1625	0.2480	0.0382	0.0004	0.2676	0.0041	242	3	241	4
7	12	1399	0.2640	0.0381	0.0004	0.2715	0.0037	241	3	244	3
8	41	330	0.2572	0.0381	0.0004	0.2689	0.0049	241	3	242	4
9	32	1105	0.2501	0.0382	0.0004	0.2659	0.0040	242	3	239	4
10	20	851	0.2728	0.0381	0.0004	0.2683	0.0043	241	3	241	4
11	35	520	0.2129	0.0383	0.0004	0.2670	0.0038	242	3	240	3
12	46	961	0.2522	0.0383	0.0004	0.2677	0.0041	242	3	241	4
13	44	1250	0.2118	0.0381	0.0004	0.2671	0.0036	241	3	240	3
14	39	1194	0.2651	0.0384	0.0004	0.2713	0.0037	243	3	244	3
15	26	1058	0.2187	0.0381	0.0004	0.2651	0.0049	241	3	239	4
16	53	716	0.2845	0.0378	0.0004	0.2647	0.0040	239	3	238	4
17	27	1409	0.2349	0.0381	0.0004	0.2675	0.0036	241	3	241	3
18	44	745	0.5417	0.0375	0.0004	0.2677	0.0056	238	3	241	5
19	73	1156	0.2890	0.0371	0.0004	0.2728	0.0041	235	3	245	4
20	29	1967	0.2612	0.0381	0.0004	0.2663	0.0036	241	3	240	3
21	68	780	0.2695	0.0379	0.0004	0.2645	0.0041	240	3	238	4
22	37	1847	0.2995	0.0385	0.0004	0.2661	0.0041	243	3	240	4
23	54	993	0.2944	0.0374	0.0004	0.2675	0.0036	237	3	241	3
24	63	1441	0.2592	0.0379	0.0004	0.2699	0.0038	240	3	243	3
25	91	1740	0.2930	0.0377	0.0005	0.2654	0.0152	238	3	239	14
26	45	2478	0.5673	0.0374	0.0004	0.2663	0.0036	237	3	240	3
27	47	1137	0.2991	0.0377	0.0004	0.2712	0.0051	239	3	244	5
28	83	1280	0.2844	0.0374	0.0004	0.2719	0.0049	236	2	244	4
29	93	2219	0.2945	0.0380	0.0004	0.2657	0.0035	240	3	239	3
30	103	2557	0.3462	0.0379	0.0004	0.2666	0.0045	240	3	240	4
31	24	2715	0.4319	0.0378	0.0004	0.2717	0.0036	239	3	244	3
32	9	634	0.6131	0.0375	0.0004	0.2670	0.0066	238	3	240	6
33	28	228	0.3710	0.0379	0.0005	0.2654	0.0197	240	3	239	18
34	30	736	0.3826	0.0382	0.0004	0.2658	0.0050	242	3	239	4
35	60	769	0.3321	0.0380	0.0004	0.2696	0.0045	241	3	242	4
36	64	1578	0.2833	0.0382	0.0004	0.2700	0.0037	242	3	243	3
37	55	1679	0.3588	0.0385	0.0004	0.2704	0.0037	243	3	243	3
38	27	1426	0.2924	0.0383	0.0004	0.2694	0.0037	242	3	242	3
39	58	721	0.2011	0.0380	0.0004	0.2672	0.0041	240	3	240	4
40	3	1574	0.3394	0.0381	0.0004	0.2688	0.0039	241	3	242	3

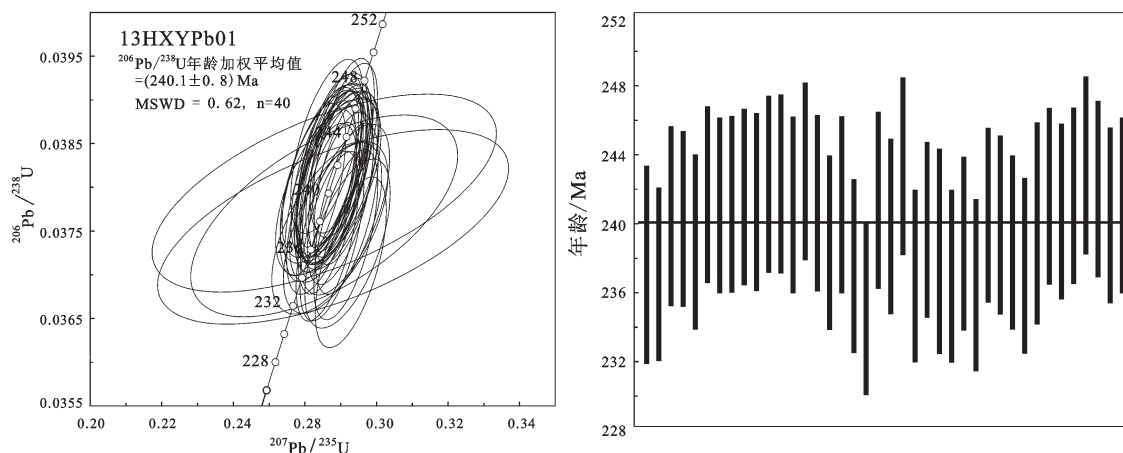


图4 哈西亚图花岗闪长岩锆石U-Pb谐和图和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄图
Fig.4 U-Pb concordia diagram and $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age plot of the zircon from Haxiyatu granodiorite

表2 哈西亚图地区花岗闪长岩主量(%)、微量和稀土元素(10^{-6})分析结果

Table 2 Analytical results of major, trace and rare earth elements of granodiorite in the Haxiyatu ore district

分析项目	13HXH11	13HXH12	13HXH13	13HXH14	13HXH15	分析项目	13HXH11	13HXH12	13HXH13	13HXH14	13HXH15
SiO ₂	71.9	71.9	73.3	73.5	72.8	La	42	36.6	22.1	29.2	28.2
TiO ₂	0.26	0.22	0.17	0.16	0.17	Ce	80.9	73.3	31.6	57.2	55
Al ₂ O ₃	14.4	14.6	14.3	14.1	14.4	Pr	8.7	7.64	5.01	6.1	5.92
Fe ₂ O ₃	0.28	0.34	0.07	0.11	0.26	Nd	27.9	25	16.2	19.9	19.5
FeO	1.93	1.56	1.39	1.33	1.3	Sm	5.08	4.52	3.5	3.74	3.65
MnO	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04	Eu	0.74	0.8	0.75	0.73	0.75
MgO	0.68	0.58	0.42	0.4	0.45	Gd	3.92	3.62	2.96	3.1	3.02
CaO	2.09	1.97	1.63	1.77	1.82	Tb	0.6	0.55	0.48	0.49	0.47
K ₂ O	4.41	4.85	5.08	4.79	4.9	Dy	3.43	3.18	2.9	2.93	2.84
Na ₂ O	3.24	3.22	3	3.16	3.2	Ho	0.7	0.62	0.62	0.6	0.58
P ₂ O ₅	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04	Er	1.97	1.82	1.82	1.79	1.68
total	100.1	99.99	100.03	100	100	Tm	0.31	0.3	0.3	0.28	0.26
Rb	201	231	224	222	222	Yb	2.02	2.03	2.05	1.99	1.86
Ba	854	958	942	818	833	Lu	0.34	0.35	0.32	0.33	0.31
Th	35.4	34.6	22.7	26.8	24.8	Y	19.6	18.8	18.4	18.1	17.6
U	2.72	3.18	3.91	3.81	3.17	REE	178	160	90.6	128	124
Ta	0.81	0.78	0.74	0.69	0.72	LREE	165	147	79.2	116	113
Nb	9.63	8.46	7.53	7.36	7.92	HREE	13.3	12.5	11.5	11.5	11
Sr	204	228	207	214	218	La _N /Yb _N	14.9	12.9	7.73	10.53	10.9
Zr	157	151	66	75.2	77.7	δEu	0.48	0.58	0.69	0.64	0.68
Hf	4.51	4.35	3.08	3.38	3.49	LREE/HREE	12.4	11.9	6.91	10.2	10.3

从区域范围来看,两种混合程度的岩浆岩在形成时代上并没有截然的时间界限,说明地球动力学背景并不是他们差异性表现的主要原因。哈西亚图花岗闪长岩具有幔源组分贡献的特点,形成于俯冲岛弧环境,内部无明显包体发育,显示出完全混合特征,而矿区石英闪长岩广泛发育暗色微粒包体,更像是不完全混合的产物。

已有研究证明,幔源岩浆具有比壳源岩浆低得多的黏度,两种岩浆很难发生直接混合作用,因而与花岗质岩浆发生混合作用的较富镁铁质端元往往是闪长质岩浆,后者是幔源岩浆进化的产物^[25]。该进化作用也已被证实发生于阿尼玛卿洋盆闭合过程中^[26],其中,俯冲板片带来的水体是这种进化的主要催化剂,实验岩石也学发现,成熟(年龄大

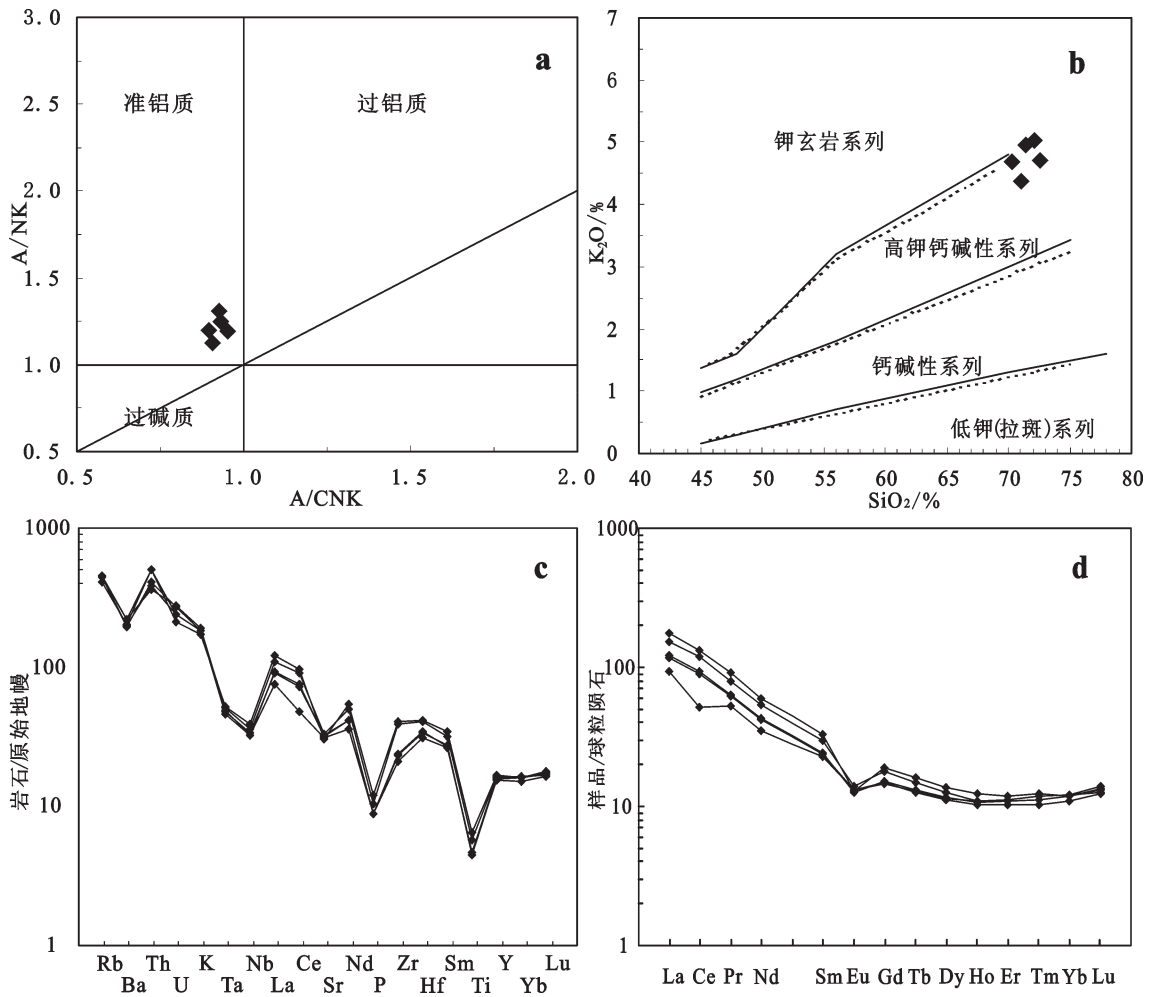


图5 哈西亚图铁多金属矿区花岗闪长岩 A/CNK-A/NK (a)^[13]、SiO₂-K₂O(b)^[14]图解、微量元素蛛网图(c)、稀土元素分布模式图(d)(标准化数值据文献[15])

Fig.5 ACNK-ANK diagram (a), SiO₂-K₂O diagram (b), trace element spider diagram (c) and chondrite-normalized REE patterns (d) of granodiorite in the Haxiyatu iron-polymetallic ore district

于50 Ma)或冷的俯冲板片是把水带到深部地幔的最好载体^[27],持续的俯冲作用为混合作用提供了充足的较富镁铁质端元,造成了该时期整个东昆仑范围内包体岩性主要为闪长质的事实。从微量元素含量来看,哈西亚图地区石英闪长岩与花岗闪长岩在微量及稀土配分曲线上有着明显的一致性^[6],说明他们有着相同的演化过程,同时,富含于镁铁质岩浆岩的Cr、Ni等含量从石英闪长岩→花岗闪长岩逐渐变低(表3),说明花岗闪长岩与石英闪长岩是同时期幔源岩浆与壳源岩浆在不同比例下混合的结果,但他们具有相同的物质来源与产出背景。

特殊的地层建造为东昆仑地区矽卡岩成矿提

表3 哈西亚图地区岩浆岩微量元素含量(10⁻⁶)对比
Table 3 Magmatic rock trace element content comparison in the Haxiyatu ore district (10⁻⁶)

名称	Cr	Ni	Nb	Ta	资料来源
花岗闪长岩	7.75	3.9	8.18	0.75	本文
石英闪长岩	18.7	7.54	9.12	1.14	[6]

供了良好的围岩基础,区内分布范围较大的古元古界、中元古界狼牙山组、寒武一奥陶纪(?)滩间山群、石炭系大干沟组等都有含量良好的矽卡岩赋矿层位^[28-30]。鉴于花岗闪长岩与石英闪长岩具有相同的物质来源与演化背景,同时已有哈西亚图地区石

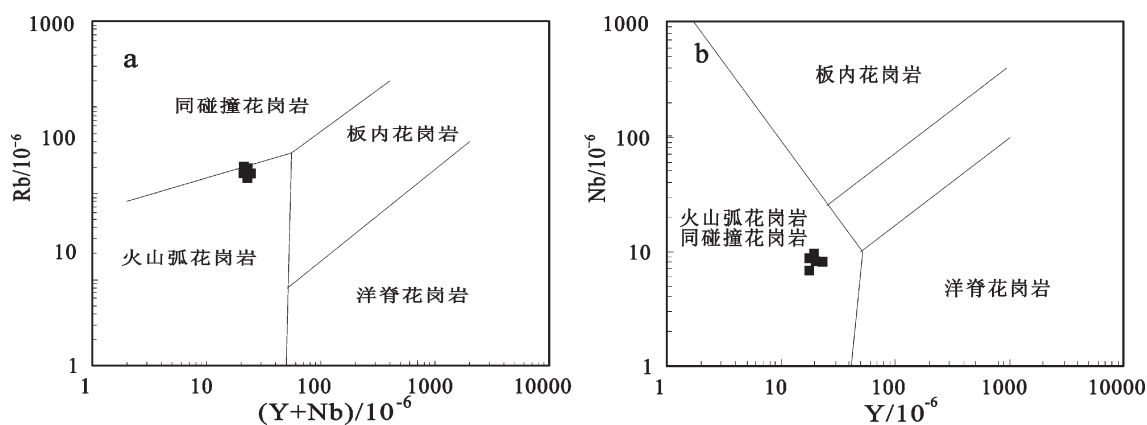


图6 哈西亚图花岗闪长岩 Y+Nb-Rb图解(a)和 Y-Nb图解(b)(底图据文献[23])
Fig.6 Y+Nb-Rb diagram (a) and Y-Nb diagram (b) of Haxiyatu granodiorite

英闪长岩的矽卡岩成矿事实,在东昆仑构造带,特别是祁漫塔格成矿带其他花岗闪长岩(260~230 Ma)出露地段,在今后矽卡岩找矿工作中应注重花岗闪长岩的成矿作用。

6 结 论

(1)哈西亚图地区花岗闪长岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 (246.8 ± 1.8) Ma ($N=40$, MSWD=0.62),属于高钾钙碱性系列,具有富集大离子亲石元素 Rb、K、LREE 和活泼不相容元素 Th 特征,同时表现出“TNT”(Ta、Nb、Ti)负异常等俯冲带幔源岩石的成分特点,形成于中三叠世俯冲岩浆弧环境。

(2)哈西亚图花岗闪长岩的研究为进一步丰富区域成矿作用研究提供新资料,拓展了区域找矿思路。在东昆仑构造带,特别是祁漫塔格成矿带产于三叠纪俯冲岩浆弧环境下的花岗闪长岩具有很好的矽卡岩型矿床成矿潜力,在今后矽卡岩找矿工作中应注重花岗闪长岩成矿作用。

参考文献(References):

- [1] 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).
- [2] 潘桂棠, 王立全, 李荣社, 等. 多岛弧盆系构造模式: 认识大陆地质学的关键[J]. 沉积与特提斯地质, 2012, 32(3): 1-20.

- Pan Guitang, Wang Liquan, Li Rongshe, et al. Tectonic model of archipelagic arc-basin systems: The key to the continental geology[J]. Sedimentary Geology and Tethyan, 2012, 32(3):1-20 (in Chinese with English abstract).
- [3] 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).
- [4] 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).
- [5] 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).
- [6] 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岩石地球化学特征与 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 2014, 33(6): 841-849.
Nan Kaewu, Jia Qunzi, Li Wenyuan, et al. Zircon U-Pb age and geochemistry characteristics of quartz diorite from Haxiyatu iron-

- polymetallic ore district in Eastern Kunlun[J]. Geological Bulletin of China, 2014, 33(6): 841-849(in Chinese with English abstract).
- [7] 姜春发, 王宗起, 李锦轶, 等. 中央造山带开合构造[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
- Jiang Chunfa, Wang Zongqi, Li Jinyi, et al. Opening-Closing Tectonics of the Central Orogenic Belt [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000(in Chinese).
- [8] Jackson S E, Pearson N J, Griffin W L, et al. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology[J]. Chemical Geology, 2004, 211(1/2): 47-69.
- [9] 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1): 600-601.
- Li Huaikun, Geng Jianzhen, Hao Shuang, et al. Study of U-Pb isotopic age study by LA-MC-ICPMS[J]. Mineral Journal, 2009, 29(Supp.1): 77 (in Chinese).
- [10] Liu Y S, Gao S, Hu Z C, et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths[J]. Journal of Petrology, 2010, 51(1/2): 537-571.
- [11] Ludwig K R. User's manual for Isoplot/Ex, version 3. 00: A geochronological toolkit for microsoft excel[J]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2003, 4:1-70.
- [12] Anderson T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. Chemical Geology, 2002, 192(1-2): 59-79.
- [13] Mania P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. Geological Society of America Bulletin, 1989, 101: 635-643.
- [14] Peccerillo R and 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.
- [15] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[C]//Saunders A D, Norry M J (eds.). Magmatism in Oceanic Basins. Spec. Publ. Geol. Soc. Lond., 1989, 42: 313-345.
- [16] 陈国超, 裴先治, 李瑞保, 等. 东昆仑造山带晚三叠世岩浆混合作用: 以和勒冈希里克特花岗闪长岩体为例[J]. 中国地质, 2013, 40(4): 1044-1065.
- Chen Guochao, Pei Xianzhi, Li Ruibao, et al. Late Triassic magma mixing in the East Kunlun Orogenic Belt: A case study of Helegang Xilikete granodiorites[J]. Geology in China, 2013, 40(4): 1044-1065(in Chinese with English abstract).
- [17] 孙雨, 裴先治, 丁三平, 等. 东昆仑哈拉尕吐岩浆混合花岗岩: 来自锆石U-Pb年代学的证据[J]. 地质学报, 2011, 83(7): 1000-1010.
- Sun Yu, Pei Xianzhi, Ding Sanping, et al. Halagatu magma mixing granite in the East Kunlun Mountains—Evidence from zircon U-Pb dating[J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 83(7): 1000-1010(in Chinese with English abstract).
- [18] 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, (6): 596-602.
- Liu Chengdong, Mo Xuanxue, Luo Zhaohua, et al. Crust-mantle magma mixing in the East Kunlun—Evidence from zircon SHRIMP chronology [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, (6): 596-602(in Chinese).
- [19] 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 Qimantag Corridor of the East Kunlun belt[J]. Geology in China, 2009, 36(4): 769-782 (in Chinese with English abstract).
- [20] 王富春, 陈静, 谢志勇, 等. 东昆仑拉陵灶火钼多金属矿床地质特征及辉钼矿Re-Os同位素定年[J]. 中国地质, 2013, 40(4): 1209-1217.
- Wang Fuchun, Chen Jing, Xie Zhiyong, et al. Geological features and Re-Os isotopic dating of the Lalingzaohuo molybdenum polymetallic deposit in East Kunlun [J]. Geology in China, 2013, 40(4): 1209-1217(in Chinese with English abstract).
- [21] 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).
- [22] Pearce J A. Source and settings of granitic rocks[J]. Episodes, 1996, 19: 120-125.
- [23] Huppert H E, Sparks R S J. The generation of granitic magmas by intrusion of basalt into continental crust[J]. J. Petrol., 1988, 29(3): 599-624.
- [24] 齐有强, 胡瑞忠, 刘燊, 等. 岩浆混合作用研究综述[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2008, 27(4): 409-416.

- Qi Youqiang, Hu Ruizhong, Liu Shen, et al. Review on magma mixing and mingling[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2008, 27(4): 409–416(in Chinese with English abstract).
- [25] Sparks R S J. The role of crustal contamination in magma evolution through geological time[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1986, 78: 211–223.
- [26] 南卡俄吾, 贾群子, 李文渊, 等. 东昆仑地区中生代MASH过程及壳幔岩浆混合研究[J]. 地球科学与环境学报, 2015, 37(1): 37–45.
- Namkha Norbu, Jia Qunzi, Li Wenyuan, et al. Melting, assimilation, storage and homogenization (MASH) process and crust–mantle magma mixing of Mesozoic in East Kunlun region[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2015, 37(1): 37–45(in Chinese with English abstract).
- [27] Shieh S R, Mo H K, Hemley R T, et al. Decomposition of phase D in the lower mantle and the fate of dense hydrous silicates in subducting slabs[J]. Earth Planet., 1998, 159: 13–23.
- [28] 寇林林, 张森, 钟康惠, 等. 东昆仑五龙沟金矿集区韧性剪切带构造变形特点研究[J]. 中国地质, 2015, 42(2): 495–503.
- Kou Linlin, Zhang Seng, Zhong Kanghui, et al. A study of the deformation characteristics of the ductile shear zone in the Wulonggou gold ore concentration area, East Kunlun, Qinghai[J]. Geology in China, 2015, 42(2): 495–503(in Chinese with English abstract).
- [29] 杨杰, 裴先治, 李瑞保, 等. 东昆仑南缘布青山地区哈尔郭勒玄武岩地球化学特征及其地质意义[J]. 中国地质, 2014, 41(2): 335–350.
- Yang Jie, Pei Xianzhi, Li Ruibao, et al. Geochemical characteristics and geological implications of Haerguole basalt in Buqingshan area on the southern margin of East Kunlun Mountains[J]. Geology in China, 2014, 41(2): 335–350(in Chinese with English abstract).
- [30] 苏旭亮, 赵永亮, 赵闯, 等. 东昆仑祁漫塔格克停哈尔斑岩型铜钼矿找矿突破思路及找矿模型[J]. 中国地质, 2014, 41(6): 2048–2062.
- Su Xuliang, Zhao Yongliang, Zhao Chuang, et al. Prospecting thinking and model for the Ketinghaer porphyry copper molybdenum deposit in the East Kunlun Mountains[J]. Geology in China, 2014, 41(6): 2048–2062(in Chinese with English abstract).