

张勇, 苏生顺, 白生龙, 等. 东昆仑别里赛北铁矿床石英闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年、地球化学及其地质意义[J]. 中国地质, 2015, 42(3): 663-676.

Zhang Yong, Su Shengshun, Bai Shenglong, et al. Geochemistry, LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and geological significance of quartz diorite in the Bielisaibeiron ore deposit, East Kunlun Mountains, Qinghai Province[J]. Geology in China, 2015, 42(3): 663-676(in Chinese with English abstract).

东昆仑别里赛北铁矿床石英闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年、地球化学及其地质意义

张 勇 苏生顺 白生龙 刘国燕 赵永亮 李泽峰

(青海省第三地质矿产勘查院, 青海 西宁 810029)

摘要: 别里赛北铁矿床是近几年在东昆仑成矿带上新发现的一处小型矿床, 在对矿区地质背景及矿床特征分析的基础上, 对与成矿关系最密切的石英闪长岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年, 岩石地球化学研究。研究结果显示石英闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 (242.9 ± 0.6) Ma, MSWD 值为 0.6, $n=22$; SiO_2 的含量在 53.62%~63.83%, Al_2O_3 含量在 14.55%~17.57%, Na_2O 含量在 2.95%~4.06%, K_2O 含量在 1.60%~3.83%, 为准铝质中-高钾钙碱性岩石系列; 稀土元素总量中等, 轻稀土元素富集, 中等负锆异常; 强不相容元素 K、Rb、Th 强烈富集, 高场强元素 Ta、Nb、Zr、Hf 及轻稀土元素 Ce、Sm 中等富集, Ba、Sr 富集不明显, 贫 P、Ti 而 Sm、Y、Yb 元素含量高出球粒陨石值不多, 反映了岩浆具有壳源为主的特点。

关键词: 石英闪长岩; 锆石 U-Pb 测年; 岩石化学特征; 别里赛北; 东昆仑

中图分类号: P618.31; P588.12² 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2015)03-0663-14

Geochemistry, LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and geological significance of quartz diorite in the Bielisaibeiron ore deposit, East Kunlun Mountains, Qinghai Province

ZHANG Yong, SU Sheng-shun, BAI Sheng-long, LIU Guo-yan, ZHAO Yong-liang, LI Ze-feng

(Third Geological and Mineral Exploration Institute of Qinghai Province, Xining 810029, Qinghai, China)

Abstract: The Bielisaibeiron deposit is a small deposit recently discovered in the East Kunlun metallogenic belt. Based on an analysis of the geological background and ore deposit characteristics, the authors studied petrological geochemistry of the deposit and conducted LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the quartz diorite which is most closely related to mineralization. According to the results obtained, the LA-ICP-MS zircon U-Pb age of the quartz diorite is 242.9 ± 0.6 Ma (MSWD = 0.6, $n=22$), and the major

收稿日期: 2015-02-11; 改回日期: 2015-04-20

基金项目: 青海省基金“青海省格尔木市别里赛北铁多金属矿普查”(青国土资矿[2008]78号)和国土资源部“青海省祁漫塔格整装勘查区关键科学技术难题研究与示范”(201411025)联合资助。

作者简介: 张勇, 男, 1982年生, 硕士, 地质工程师, 主要从事地质矿产勘探工作; E-mail: qhskyzy@163.com.

elements of the quartz diorite have the data SiO_2 (51.98%–63.83%), Al_2O_3 (14.55%–17.57%), Na_2O (2.95%–4.21%), and K_2O (1.60%–3.83%), indicating that the quartz diorite belongs to the metaluminous medium–high potash calc–alkaline series. Other characteristics of the quartz diorite include moderate ΣREE values, enrichment of LREE, moderate negative Eu anomalies, strong enrichment of K, Rb, Th, moderate enrichment of Ta, Nb, Zr, Hf, Ce, Sm, insignificant enrichment of Ba and Sr, depletion of P and Ti, and somewhat higher Sm, Y and Yb values than chondritic values, suggesting that the magma was dominated by crustal rocks.

Key words: quartz diorite; zircon U–Pb dating; geochemistry; Bielisaipei; East Kunlun Mountains

About the first author: ZHANG Yong, born in 1982, male, master, engineer, mainly engages in geological mineral exploration; E-mail: qhsyzy@163.com.

别里赛北矿区位于柴达木盆地西南缘,矿种单一,矿石矿物以磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿、黄铁矿、磁黄铁矿等为主。该矿床是2008年由青海省第三地质矿产勘查院发现的,通过2008—2011年共4年的勘查工作,提交矿产地1处,推断的内蕴经济资源量(333)和预测的资源量(334)超过了500万t^①,后期由于种种原因从2012年就暂停了普查找矿工作,但从已有的资料显示矿区仍有较好的找矿前景,如15、23、62线经钻探验证均发现了厚大的磁铁矿体,但未开展进一步工作。矿区理论研究程度较低,目前还未见有关于该矿床的成矿年龄与岩石地球化学测试的报道,因此对与成矿关系最为密切的石英闪长岩进行LA–ICP–MS锆石U–Pb定年和岩石地球化学测量,探讨矿床形成时期及当时的构造背景,对今后的找矿工作是极为有利的。

1 区域地质背景

别里赛北铁矿床位于东昆仑成矿带西段(图1–a),隶属于中央造山带的中西段^[1–3]。东昆仑是一个具有复杂演化历史的多旋回复合造山带^[4–5],主要经历了前寒武纪古陆形成、早古生代造山旋回、晚华力西期—印支期造山旋回以及中—新生代叠复造山旋回等4个构造旋回^[6–7]。区域上岩浆活动非常强烈而频繁,分布亦十分广泛,主要分布在昆仑山北坡断隆带和祁漫塔格地区,在昆仑山主脊形成著名的东昆仑山花岗岩带,昆仑山南坡出露少量中酸性侵入岩^[8–9]。岩浆活动始于元古代,止于新生代,表现为间歇性的火山喷发与岩浆侵入频繁交替,岩性从基性、超基性到酸性均有出露。该成矿带是近几年全国地质找矿热点地段之一,其特点是矿床储量

大,品位较高,矿产地集中,青海的矽卡岩型和沉积变质型铁矿的绝大多数储量都集中在本带^[10–11]。

2 矿区地质

2.1 地质特征

矿区地层出露较简单,主要为古元古界金水口岩群(Pt_1js)的一套大理岩、片岩,在矿区中部出露有少量上三叠统鄂拉山组(T_3e)的火山角砾岩、英安质凝灰岩,面积约0.5 km²,在矿区东部及第四系覆盖层下分布有较大面积的上新近系狮子沟组(N_2s)粉砂岩、粘土质砂岩、粘土岩及南部大面积的第四系(Q_4)(图1–b)。

区内构造不发育,仅有3条近东西向的断层通过,断层性质不明。断裂全部位于金水口岩群内(Pt_1js),长度在1~2 km,宽5~20 m不等,带内碎裂岩、角砾岩发育,大理岩表面多呈褐红色。

矿区出露的岩浆岩主要为三叠纪的花岗闪长岩($\text{T}_3\gamma\delta$)和石英闪长岩($\text{T}_2\delta\sigma$)。花岗闪长岩($\text{T}_3\gamma\delta$)(图2–a)呈岩基状分布于矿区北侧,出露面积大于6 km²,岩石呈灰—深灰色,粒状结构、块状构造,主要矿物成分由斜长石35%~55%、角闪石15%~20%、石英15%~20%及其他矿物组成(图2–b)。石英闪长岩($\text{T}_3\delta\sigma$)(图2–c)呈小岩株状分布于矿区南北两侧,出露面积约0.2 km²,岩石呈深灰色,半自形粒状结构、块状构造,主要成分:斜长石50%~75%、角闪石3%~20%、黑云母5%~10%及石英5%~10%,见少量的钾长石3%~5%、磷灰石。粒度一般在0.28~2.16 mm,呈细粒状(图2–d)。石英闪长岩与金水口岩群呈侵入接触,局部地段形成矽卡岩,在矽卡岩

①张勇, 苏生顺, 霍成胜, 等. 青海省格尔木市别里赛北铁多金属矿普查报告[R]. 西宁: 青海省第三地质矿产勘查院, 2013: 16–19.

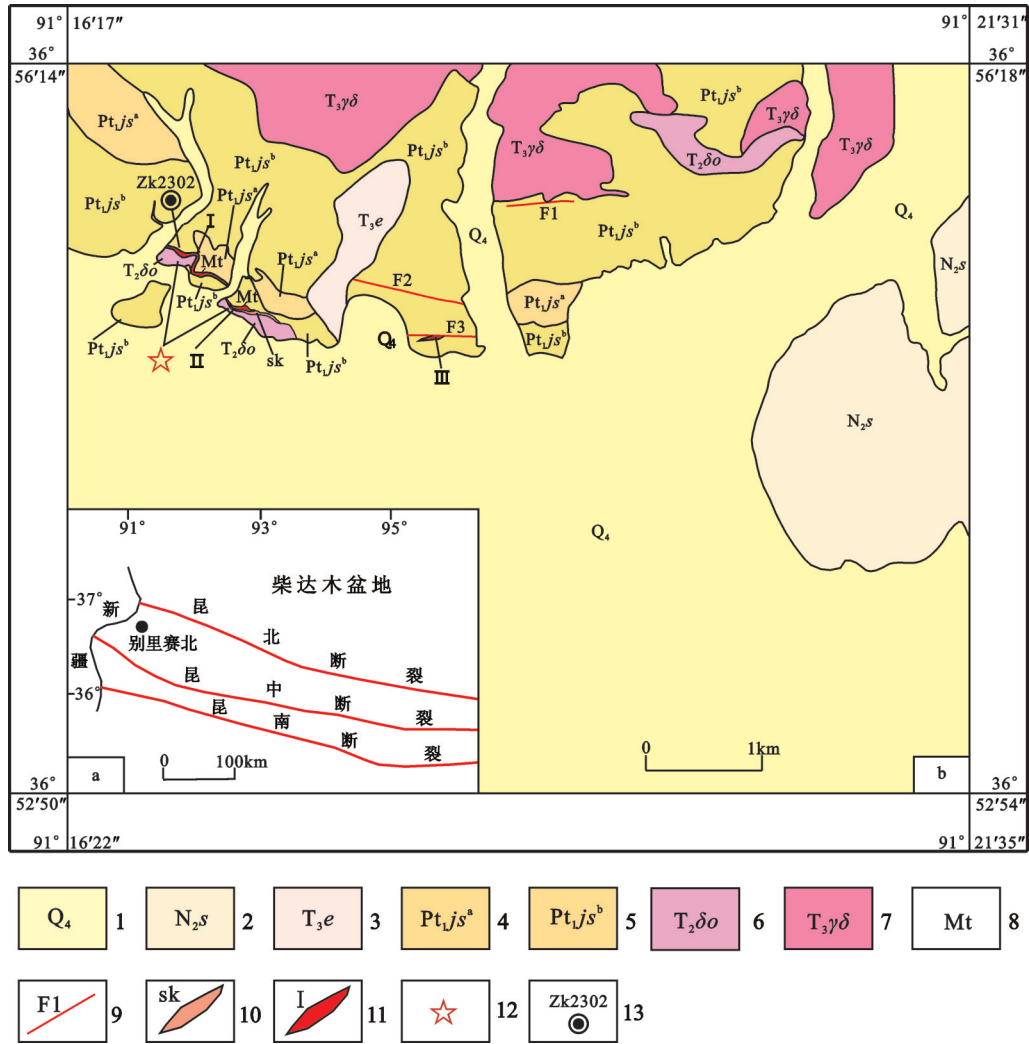


图1 别里赛北铁矿床地质图

1—第四系;2—上第三系狮子沟组;3—上三叠统鄂拉山组;4—下元古界金水口岩群片麻岩组;5—下元古界金水口岩群大理岩组;6—中三叠统石英闪长岩;7—上三叠统花岗闪长岩;8—磁铁矿;9—断层及编号;10—砂卡岩;11—磁铁矿体及编号;12—样品采集位置;13—钻孔及编号

Fig. 1 Geological map of the Bielsaibe iron ore district

1—Quaternary; 2—Upper Neogene Shizigou Formation; 3—Lower Triassic Elashan Formation; 4—Gneiss of Upper Proterozoic Jinshui Kou Rock Formation; 5—Marble of Upper Proterozoic Jinshui Kou Rock Formation; 6—Middle Triassic quartz diorite; 7—Upper Triassic granodiorite; 8—Magnetite; 9—Fault and its serial number; 10—Skarn; 11—Magnetite orebody and its serial number; 12—Sampling location; 13—Drill hole and its serial number

中富集形成磁铁矿,与成矿关系密切。

2.2 矿体特征

别里赛北矿区共圈出磁铁矿体16条(表1),主矿体5条,矿体长40~880 m,平均厚1.09~19.60 m,平均品位为20.70%~39.28%,磁铁矿体主要产于金水口岩群大理岩与中二叠世石英闪长岩的接触带上,矿体总体呈透镜状,近东西向分布,倾向北东,倾角多在20°~45°;个别磁铁矿体产于金水口岩群

大理岩中,多呈似层状,近东西向分布,倾向北东,倾角多在70°~80°。各主矿体特征如下:

I—M1号磁铁矿体,产于金水口岩群大理岩与石英闪长岩的接触带上(图3),矿体总体呈透镜状,近东西向分布,长880 m,平均厚度为7.18 m,TFE平均品位37.55%。产状5°~20°∠10°~55°。矿石矿物主要为磁铁矿并含少量赤铁矿、黄铁矿,其中TC2301局部地段赤铁矿含量超过了50%,脉石矿物

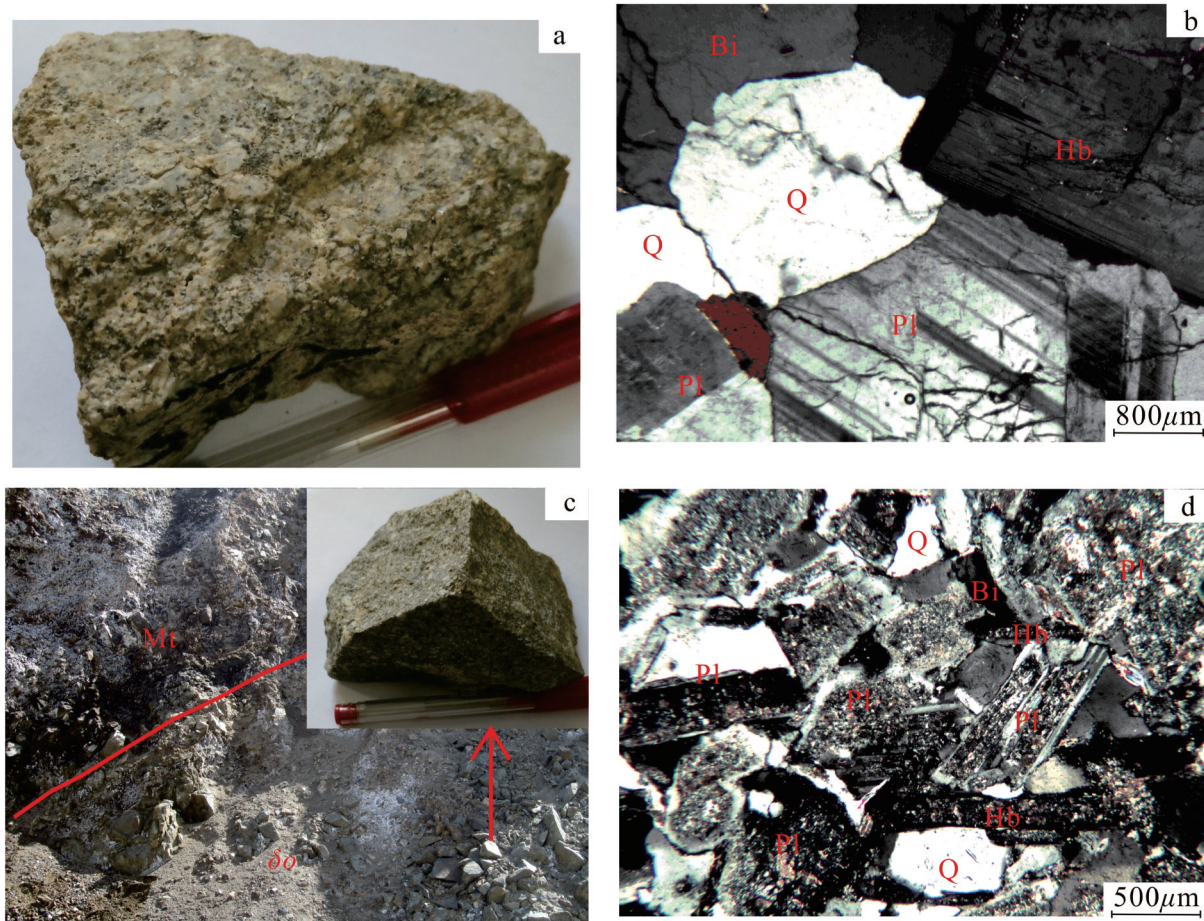


图2 别里赛北花岗闪长岩(a, b)与石英闪长岩(c, d)手标本及镜下照片

Pl—斜长石; Q—石英; Hb—角闪石; Bi—黑云母; Mt—磁铁矿石; δo —石英闪长岩

Fig.2 Hand specimen and microscope photos of granodiorite (a, b) and quartz diorite (c, d) in the Bielisaibe deposit

Pl—Plagioclase; Q—Quartz; Hb—Hornblende; Bi—Biotite; Mt—Magnetite iron ore; δo —Quartz diorite

以透辉石、绿泥石、绿帘石、方解石为主。磁铁矿多呈细粒结构,块状构造。

I-M2号磁铁矿体,产于金水口岩群大理岩与石英闪长岩的接触带上,矿体总体呈似层状、透镜状,近东西向分布,矿体长308 m,平均厚度14.94 m, TFe平均品位36.29%。产状 $23^{\circ}\angle 15^{\circ}$ 。矿石矿物主要为磁铁矿含少量黄铁矿,脉石矿物以透辉石、绿泥石、绿帘石、方解石为主。磁铁矿呈细粒结构,一般呈稠密浸染状构造或块状构造。

II-M1号磁铁矿体,产于金水口岩群大理岩与石英闪长岩的接触带上,矿体总体呈透镜状,近东西向分布,长263 m,平均厚度为11.59 m, TFe平均品位39.28%。产状 $5^{\circ}\angle 55^{\circ}$ 。矿石矿物主要为磁铁矿含少量黄铁矿,脉石矿物以透辉石、绿泥石、绿帘

石、方解石为主。磁铁矿呈细粒结构,块状构造。

III-M1号磁铁矿体,产于大理岩中,矿体呈透镜状,近东西向展布,长100 m,平均厚度为19.60 m, TFe平均品位35.65%。产状 $10^{\circ}\angle 73^{\circ}$ 。矿石矿物主要为磁铁矿、赤铁矿含少量黄铁矿,脉石矿物以透辉石、绿泥石、绿帘石、方解石为主。磁铁矿、赤铁矿呈他形细粒结构,一般呈稠密浸染状构造、角砾状构造,矿体及围岩局部破碎,角砾发育,为后期断裂构造叠加造成的。

IV-M1号磁铁矿体,产于大理岩中,矿体总体呈似层状,近东西向分布,长830 m,平均厚度为5.11 m, TFe平均品位32.45%。产状 $18^{\circ}\sim 35^{\circ}\angle 62^{\circ}\sim 87^{\circ}$ 。矿石矿物主要为磁铁矿含少量黄铁矿,脉石矿物以透辉石、绿泥石、绿帘石、方解石为主。磁铁矿

表1 别里赛北矿体特征统计
Table 1 Characteristics of orebodies in the Bielisaibei deposit

矿体编号	矿石类型	矿体长度/m	矿体平均厚度/m	矿体平均品位/%	形态	产状
I-M1	工业矿石	880	7.18	37.55	透镜状	5°~20°∠10°~55°
I-M1(低1)	低品位矿石	200	1.73	23.30	透镜状	24°∠45°
I-M1(低2)	低品位矿石	250	2.80	23.03	透镜状	165°∠60°
I-M2	工业矿石	308	15.65	36.23	透镜状	23°∠15°
I-M2(低1)	低品位矿石	100	1.24	20.70	透镜状	22°∠34°
I-M2(低2)	低品位矿石	200	1.45	22.95	透镜状	22°∠25°
I-M3	低品位矿石	100	1.31	22.70	透镜状	24°∠41°
I-M4	低品位矿石	100	2.57	20.71	透镜状	22°∠28°
II-M1	工业矿石	240	10.64	39.28	透镜状	5°∠55°
II-M1(低)	低品位矿石	200	1.49	22.13	透镜状	5°~25°∠53°
II-M2	工业矿石	40	1.58	37.12	透镜状	5°∠60°
III-M1	工业矿石	100	19.60	35.65	透镜状	10°∠73°
III-M1(低)	低品位矿石	100	1.72	22.63	透镜状	10°∠73°
IV-M1	工业矿石	830	5.11	32.45	似层状	18°~35°∠62°~87°
IV-M1(低1)	低品位矿石	63	1.09	20.70	似层状	35°∠62°
IV-M1(低2)	低品位矿石	400	1.53	21.59	似层状	18°∠80°

呈他形细粒结构,稠密浸染状构造。

2.3 围岩蚀变

矿区位于多旋回复合造山带^[1-4],岩浆岩活动强烈,形成的围岩蚀变主要有硅化、矽卡岩化、绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化等。在岩浆岩与碳酸盐岩接触的围岩常具硅化、矽卡岩化、绿泥石化、绿帘石化,这类型蚀变与成矿关系较为密切,同时在部分石英闪长岩、花岗闪长岩与二长花岗岩中硅化、绿泥石化、绿帘石化也较为常见,碳酸盐化主要在大理岩中较为常见,常充填于岩石的裂隙中,为次生蚀变,与成矿关系不密切。

3 石英闪长岩地球化学特征

3.1 样品的采集及测试

样品主要采集于I-M1、II-M1磁铁矿体附近的石英闪长岩中(图1-b、图3)。为保证样品分析数据的准确性,样品尽量采集于新鲜岩石上,无蚀变或蚀变较轻微的地段。元素测试委托国土资源部西宁矿产资源监督检测中心进行,主量元素采用X荧光光谱仪分析法,分析误差小于3%,稀土和微量元素采用ICP-MS法,分析误差小于5%。

3.2 主量元素特征

石英闪长岩主量元素测量结果见表2,从测量结果可知,石英闪长岩SiO₂的含量在53.62%~63.83%,平均含量为57.16%,为中性岩类。Al₂O₃含量为14.55%~17.57%,平均含量为16.35%,含量中等,A/CNK值为0.74~1.04,平均为0.89,主要为准铝质。Na₂O含量为2.95%~4.06%,平均为3.30%,K₂O含量为1.60%~3.83%,平均含量为2.19%,Na₂O/K₂O比值为0.91~2.45,平均值为1.61,除2号样品的比值小于1外,其余的比值均大于1,相对富钠。里特曼指数在1.32~2.96,平均值为1.99,除4号样品外均在1.8~3.3,主要为钙碱性系列。

在SiO₂-(Na₂O+K₂O)图解上(图4-a),样品均落入亚碱性系列;在A/CNK-A/NK图解上(图4-b),除6号样品外全部落入准铝质系列。在SiO₂-K₂O图解中(图4-c),样品主要落入高钾钙碱性系列与钙碱性系列;在AFM图解上(图4-d)显示了该系列岩石系列为钙碱性。从上述图解可知,石英闪长岩属于准铝质中-高钾钙碱性岩石系列。

3.3 稀土微量元素特征

石英闪长岩稀土与微量元素测量结果见表3。

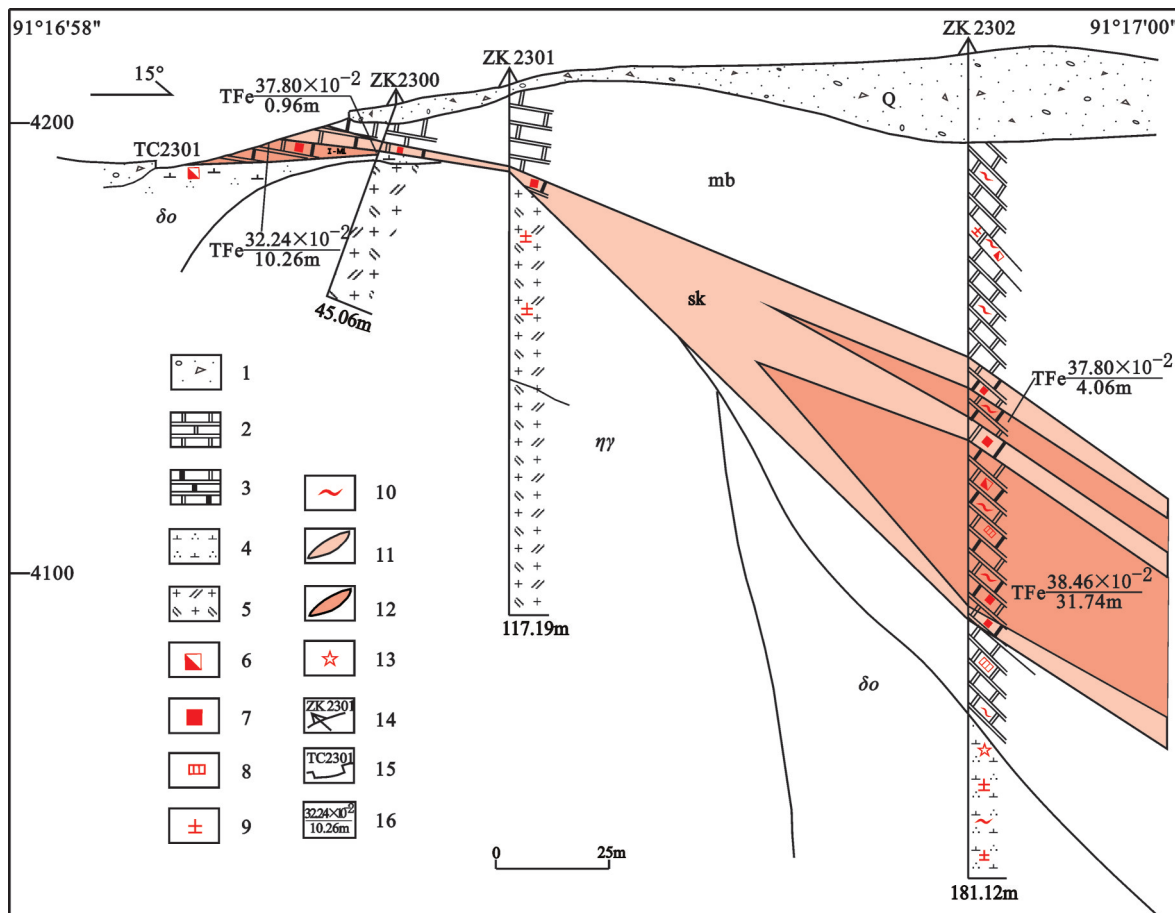


图3 别里赛北23号勘探剖面示意图

1—第四系;2—大理岩;3—矽卡岩;4—石英闪长岩;5—二长花岗岩;6—褐铁矿化;7—磁铁矿化;8—黄铁矿化;9—高岭土化;10—绿泥石化;
11—磁铁矿化体;12—磁铁矿体;13—样品采集位置;14—钻孔及编号;15—探槽及编号;16—单工程矿体平均品位(%)与真厚度(m);
Q—第四系;mb—大理岩;sk—矽卡岩;δo—石英闪长岩;ηγ—二长花岗岩

Fig. 3 Sketch geological section along No. 23 exploration line of Bielisaibe

1—Quaternary; 2—Marble; 3—Skarn; 4—Quartz diorite; 5—Monzonitic granite; 6—Limonitization; 7—Magnetitization; 8—Pyritization;
9—Kaolinization; 10—Chloritization; 11—Magnetitized body; 12—Magnetite orebody; 13—Sampling location; 14—Drill hole and its serial number;
15—Trench and its serial number; 16—Average grade (%) and thickness (m) of orebody; Q—Quaternary; mb—Marble; sk—Skarn; δo—Quartz diorite;
ηγ—Monzonitic granite

稀土元素总量中等,在 $91.91 \times 10^{-6} \sim 320.22 \times 10^{-6}$,平均值为 179.97×10^{-6} ,轻稀土元素富集,轻重稀土元素比值为5.43~9.46,平均值为6.49, $(La/Yb)_N$ 为5.01~10.04,平均值为6.78。 δEu 为0.46~1.01,平均值为0.79, Eu中等亏损。 δCe 为0.91~1.18,平均为0.99,铈基本无亏损。球粒陨石标准化曲线向右倾斜(图5),具有中等负铈异常,轻重稀土分馏较明显。

微量元素蜘蛛网图(图5-b)显示强不相容元素K、Rb、Th强富集,高场强元素Ta、Nb、Zr、Hf及轻稀土元素Ce、Sm中等富集,Ba、Sr呈现“V”型谷,贫P、Ti,而Sm、Y、Yb元素含量比球粒陨石元素含量高

不大。总体反映岩浆具有壳源的特征,P、Ti元素呈现明显的“V”型谷,显示存在钛磁铁矿(或金红石)、云母、磷灰石等矿物的分离结晶。

4 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年

4.1 样品的采集及测试方法

本次工作在ZK2302钻孔($36^{\circ}55'25''N$, $97^{\circ}17'00''E$,孔深153.14 m)中的磁铁矿体与石英闪长岩的内接触带上采集了1件样品,样品采集于新鲜的岩石中,样品重量约30 kg。本次测试工作委托天津地质矿产研究所完成,采用激光烧蚀多接收器等离子

表2 石英闪长岩主量元素含量(%)及有关参数
Table 2 Major elements (%) and parameters of quartz diorite

样品编号	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	54.81	60.81	59.32	63.83	54.31	53.62	58.35	57.38
TiO ₂	1.53	1.19	0.94	0.89	0.92	1.08	1.08	0.99
Al ₂ O ₃	15.91	15.82	14.55	16.24	17.56	17.57	16.27	16.91
Fe ₂ O ₃	1.86	1.74	2.46	1.59	2.08	3.21	2.05	2.23
FeO	6.14	5.82	2.85	3.71	5.43	6.25	5.06	5.11
MnO	0.14	0.13	0.12	0.10	0.19	0.17	0.15	0.14
MgO	3.72	1.63	3.37	2.44	4.37	4.21	3.41	3.65
CaO	6.94	4.06	6.09	4.93	7.78	5.51	5.48	6.17
Na ₂ O	2.98	3.49	4.06	3.27	2.95	3.15	3.31	3.17
K ₂ O	1.95	3.83	1.66	2.00	1.85	1.60	2.64	2.02
P ₂ O ₅	0.44	0.33	0.26	0.12	0.33	0.35	0.30	0.27
H ₂ O ⁺	0.89	0.50	1.45	0.23	1.24	1.62	1.23	1.08
DI	47.44	65.53	59.94	61.40	43.00	46.30	55.65	50.89
A/CNK	0.81	0.92	0.74	0.98	0.84	1.04	0.89	0.91
A/NK	2.27	1.60	1.72	2.15	2.56	2.54	1.96	2.28
SI	22.34	9.87	23.49	18.75	26.20	22.86	20.7	22.56
AR	1.55	2.17	1.77	1.66	1.47	1.52	1.75	1.58
σ	1.89	2.96	1.88	1.32	1.92	1.94	2.23	1.80
R1	1950	1699	2046	2478	1954	1858	1910	2040
R2	1285	835	1155	976	1425	1182	1095	1196
A/MF	0.78	1.08	0.93	1.21	0.82	0.74	0.88	0.87
C/MF	0.62	0.51	0.70	0.67	0.66	0.42	0.54	0.58

注:测试单位为国土资源部西宁矿产资源监督检测中心,分析方法:X荧光光谱仪分析法。

体质谱法(LA-ICP-MS)完成,仪器为美国ESI公司 NEW WAVE 193 nm FX 激光器和美国赛默飞世尔公司 NEPTUNE 多接收等离子质谱仪,分析误差小于 5×10^{-6} ,具体测试方法参见锆石微区 U-Pb 定年技术^[17-21]。

4.2 锆石特征

石英闪长岩样品中锆石的阴极发光图像(CL)显示锆石自形程度相对较好(图6),透明至半透明,形态多呈长柱状、粒状,长度多在 100~200 μm,锆石颗粒具韵律环带结构,具有岩浆成因锆石的特征。

4.3 测试结果

石英闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果见表4。所测 25 个点的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄在(241~444) Ma,有 23 个点位于谐和曲线上(图7-a),1 个数据点年龄明显老于其他测点年龄,排除 3 个点后的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄加权平均值为(242.9±0.6) Ma,MSWD 值为 0.6, n=22(图7-b),表明石英闪长岩形成于中三叠世,即印支期。13 号点 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄为 444 Ma,明显老于其他测点的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄,推测

为捕获围岩锆石的年龄或地壳深熔过程中残留下来的原岩锆石年龄;2 个明显偏离一致曲线的测点,可能是因为锆石形成后的地质历史时期内 U-Pb 体系不封闭,其放射性成因铅在后期热事件或扩散过程中丢失。

5 讨论

本次工作对近矿围岩的石英闪长岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年,经测试 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄加权平均值为(242.9±0.6) Ma,MSWD 值为 0.6, n=22。结合别里赛北矿床成因类型为矽卡岩型,其形成与石英闪长岩关系最为密切^[17],认为在中三叠世石英闪长岩侵入就位时,与古元古代金水口岩群碳酸盐岩发生一系列的化学反应,并在接触部位的有利地段形成了磁铁矿体,石英闪长岩形成年龄就代表了矿床形成年龄。与矿区邻近的卡而却卡铜钼矿床形成于中三叠世^[18-21],其与成矿关系最密切的花岗闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄(237±2) Ma^[21],矿石矿物辉钼矿 Re-Os 模式年龄 239

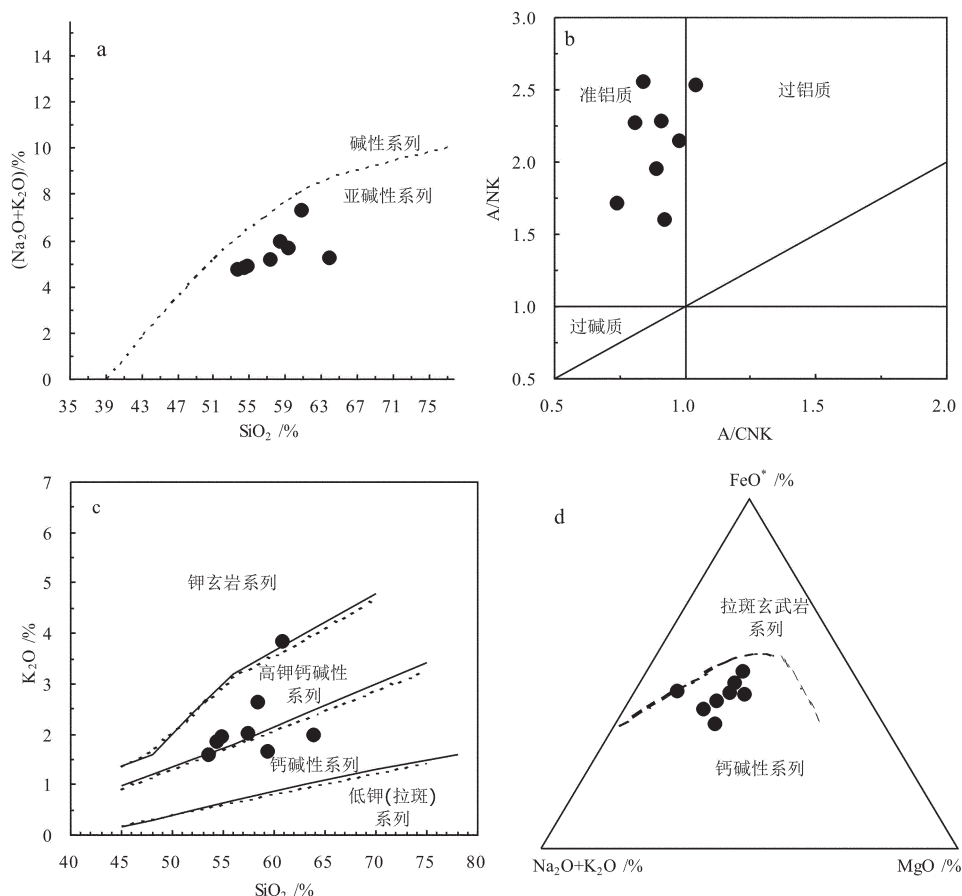


图4 石英闪长岩 SiO_2 -($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) (a) (据文献[12]), A/CNK - A/NK (b) (据文献[13]), SiO_2 - K_2O (c) (据文献[13])和AFM (d) (据文献[14])图解

Fig.4 SiO_2 -($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) (a, after reference [12]), A/CNK - A/NK (b, after reference [13]), SiO_2 - K_2O (c, after reference [13]) and AFM (d, after reference [14]) diagrams of quartz diorite in the Bielisaibei ore district

$\text{Ma}^{[20]}$,与本次测的石英闪长岩(242.9 ± 0.6)Ma,均只相差了不到6 Ma,两处矿床可能为同时期岩浆岩活动形成的产物,因此笔者认为别里赛北铁矿床形成于中三叠世。

地球化学特征显示,与成矿关系密切的石英闪长岩属准铝质中-高钾钙碱性岩石系列。该类岩石普遍具有较高的 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Na_2O 、 K_2O 含量, CaO 、 MgO 、 FeO 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 含量较低;稀土元素总量中等,轻稀土元素富集,中等负钕异常;微量元素显示强不相容元素K、Rb、Th强烈富集,高场强元素Ta、Nb、Zr、Hf及轻稀土元素Ce、Sm中等富集,贫P、Ti,总体反映了岩浆具有壳源为主的特点。

在 K_2O - Na_2O 图解上(图8-a),石英闪长岩除1样品落于A型花岗岩区,其余样品均落入I型花岗岩区,结合岩石化学特征, Na_2O 的含量在2.95%~

4.06%, A/CNK 比值在0.74~1.04, $\text{K}_2\text{O}/(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ 比值在0.29~0.52, $\text{Na}_2\text{O}/\text{CaO}$ 比值在0.38~0.86,这与I型花岗岩较为相似^[22]。在 $\text{Rb}-(\text{Y}+\text{Nb})$ 图解(图8-b)上5个样品位于火山弧花岗岩中,3个样品位于板内花岗岩中,在 $\text{Rb}-(\text{Yb}+\text{Ta})$ 图解(图8-c)上7个样品位于火山弧花岗岩中,1个样品位于板内花岗岩中,结合石英闪长岩为I型花岗岩,认为火山弧花岗岩。在 R1-R2 因子判别图中(图8-d),石英闪长岩除1个样品位于碰撞后抬升区,其余样品均落于板块碰撞前,表明石英闪长岩可能形成于板块俯冲阶段。有学者^[23-24]根据Sr、Yb含量把花岗岩划分了5个区,而别里赛北石英闪长岩的Sr含量在 140×10^{-6} ~ 447×10^{-6} ,Yb含量在 1.16×10^{-6} ~ 6.18×10^{-6} ,其中6个样品属于低Sr高Yb区,1个样品属于低Sr低Yb区,1个样品属于高Sr高Yb区,并认为贫Sr富Yb是源

表3 别里赛北石英闪长岩稀土、微量元素含量(10⁻⁶)及有关参数
Table 3 REE, trace elements (10⁻⁶) and parameters of quartz diorite in the BielisaiBei ore district

样品编号	1	2	3	4	5	6	7	8
La	23.26	27.99	59.32	54.19	39.55	16.24	16.79	17.47
Ce	51.00	60.77	110.80	122.90	87.26	42.76	35.61	40.54
Pr	6.26	9.43	14.11	17.46	12.72	4.74	4.52	5.37
Nd	25.55	38.69	53.09	66.33	50.01	15.79	16.06	21.07
Sm	5.83	8.09	10.77	13.87	11.77	3.40	3.79	4.59
Eu	1.47	2.02	1.59	2.64	3.11	0.95	1.23	1.49
Gd	6.11	8.14	9.96	12.62	10.20	2.99	3.93	4.30
Tb	0.92	1.28	1.60	1.91	1.77	0.46	0.60	0.70
Dy	5.65	6.65	8.93	11.10	10.02	2.27	3.47	4.07
Ho	1.13	1.42	1.93	2.49	1.94	0.43	0.74	0.83
Er	3.1	3.60	5.01	6.65	4.94	1.20	2.15	2.45
Tm	0.49	0.61	0.73	1.00	0.68	0.18	0.37	0.38
Yb	2.99	3.71	4.32	6.18	4.18	1.16	2.29	2.50
Lu	0.49	0.58	0.62	0.88	0.59	0.18	0.36	0.38
Rb	68.2	142	94.7	85.9	144	95	71	57
Ba	298	489	1158	386	1550	411	286	363
Th	8.4	6.9	26.1	5.3	7.1	9	6.4	6.6
Ta	0.93	1.08	1.18	1.5	1.6	0.5	0.5	0.5
Nb	10.2	13.3	14.1	21.6	24.5	10	5.9	8.8
Hf	5.4	6.5	9.4	7.9	12.4	4.7	3	4.2
Zr	220	294	270	481	644	145	103	161
Y	29.04	35.14	44.39	56.17	42.79	12.13	20.88	22.65
Sr	447	400	140	383	298	266	259	321
ΣREE	134.25	172.98	282.78	320.22	238.74	92.75	91.91	106.14
LREE	113.37	146.99	249.68	277.39	204.42	83.88	78.00	90.53
HREE	20.88	25.99	33.10	42.83	34.32	8.87	13.91	15.61
LREE/HREE	5.43	5.66	7.54	6.48	5.96	9.46	5.61	5.80
(La/Yb) _N	5.58	5.41	9.85	6.29	6.79	10.04	5.26	5.01
δ Eu	0.75	0.75	0.46	0.60	0.85	0.89	0.97	1.01
δ Ce	1.02	0.91	0.91	0.97	0.95	1.18	0.98	1.02
Rb/Sr	0.15	0.36	0.68	0.22	0.48	0.36	0.27	0.18
Rb/Ba	0.23	0.29	0.08	0.22	0.09	0.23	0.25	0.16

注:测试单位为国土资源部西宁矿产资源监督检测中心,分析方法:ICP-MS。

区缺少石榴子石,富斜长石,处于低压位置(地壳未增厚);贫Sr贫Yb表明源区有斜长岩石与石榴子石残留,处于斜长岩石与石榴子石稳定区,与埃达克岩的最低压力一致(地壳增厚);高Sr高Yb区性质不明。别里赛北石英闪长岩形成年龄为(242.9±0.6)Ma,对应了大洋板块大规模俯冲阶段(260~230 Ma)^[25-26],这与板块碰撞前和碰撞后隆起的构造背景相吻合。综上所述,认为准铝质中-高钾钙碱性的石英闪长岩主要形成于板块俯冲阶段,并有向板

块碰撞过渡的趋势。

6 结 论

(1)别里赛北矿区与成矿关系最为密切的石英闪长岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为(242.9±0.6)Ma,MSWD值为0.6,n=22,形成于中三叠世,结合矿床地质特征及成因类型,认为别里赛北矿床形成于中三叠世。

(2)石英闪长岩属准铝质中-高钾钙碱性岩石

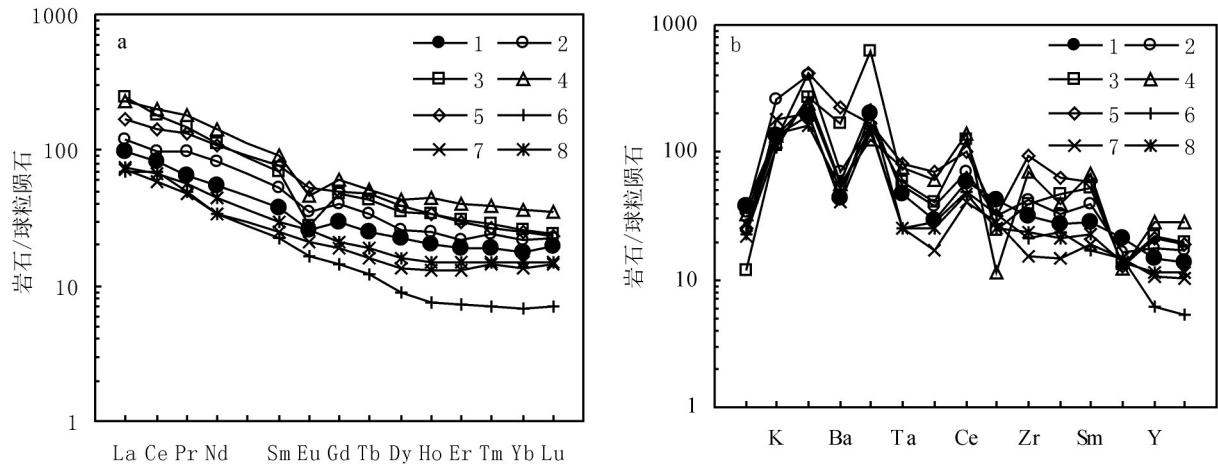


图5 石英闪长岩稀土球粒陨石标准化配分曲线(a) (标准化数据根据文献[15])和微量元素蛛网图(b) (标准化数据根据文献[16])

Fig.5 Chondrite-normalized REE patterns (a, chondrite values after reference[15]) and trace element spider diagram (b, primitive mantle values after reference[16]) of quartz diorite in the Bielsaibe deposit

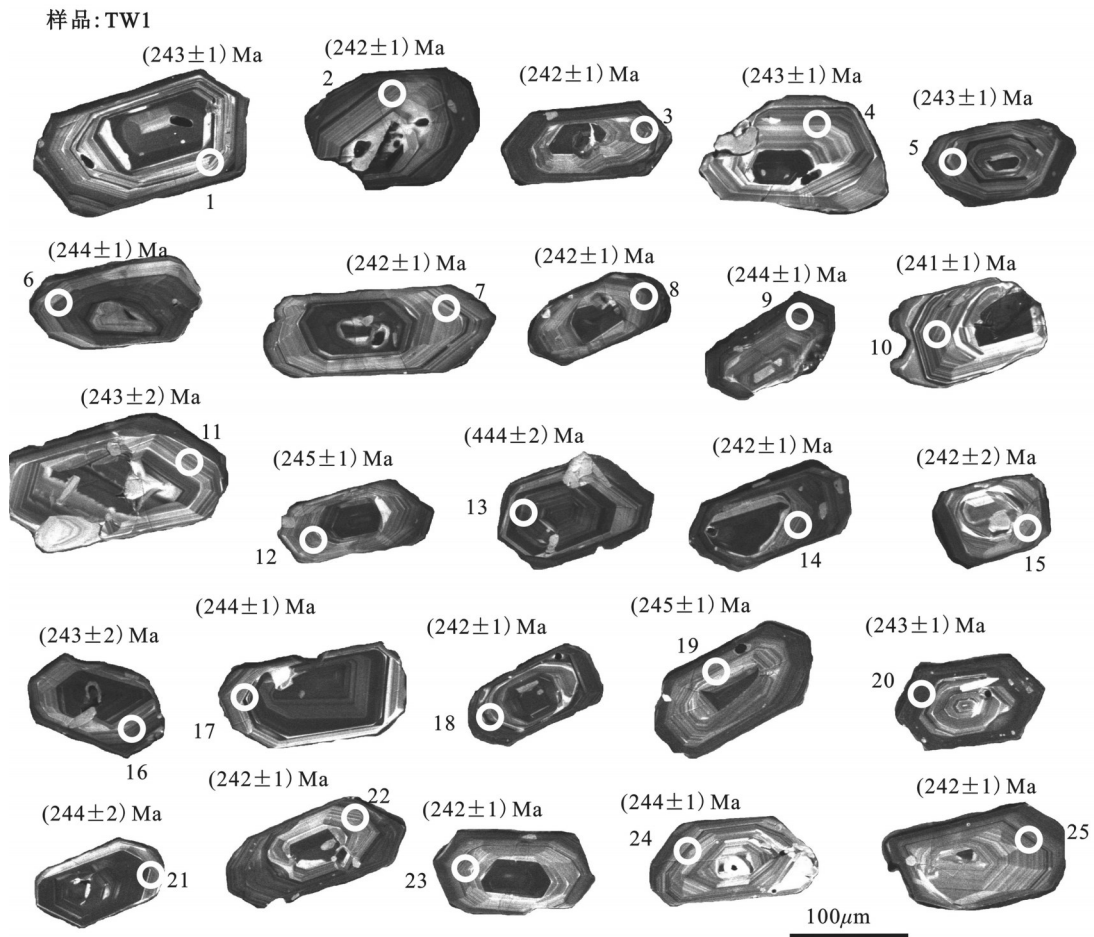


图6 别里赛北石英闪长岩锆石阴极发光图像

Fig.6 CL images of zircon from quartz diorite in the Bielsaibe iron ore deposit

表4 别里赛北铁矿床石英闪长岩LA-ICP-MS锆石U-Pb分析结果
Table 4 LA-ICP-MS U-Pb isotopic analyses of zircon from quartz diorite in the Belisaibei iron ore district

样品 TW1	同位素含量/10 ⁻⁶		同位素比值及误差										表面年龄/Ma					
	Pb	U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 σ	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	1 σ	²³² Th/ ²³⁸ U	1 σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 σ
1	25	622	0.03834	0.00024	0.2689	0.0037	0.05087	0.00067	0.01218	0.00006	0.5685	0.00035	243	1	242	3	235	30
2	72	1708	0.03819	0.00022	0.2689	0.0022	0.05107	0.00040	0.01050	0.00005	0.7880	0.00059	242	1	242	2	244	18
3	20	496	0.03822	0.00022	0.2689	0.0056	0.05102	0.0011	0.01260	0.00010	0.4468	0.0007	242	1	242	5	242	47
4	54	1361	0.03834	0.00021	0.2699	0.0025	0.05106	0.00049	0.01207	0.00009	0.4655	0.00037	243	1	243	2	243	22
5	34	854	0.03836	0.00022	0.2688	0.0053	0.05083	0.0010	0.01246	0.00016	0.4871	0.0005	243	1	242	5	233	46
6	44	1110	0.03854	0.00021	0.2694	0.0029	0.05069	0.00053	0.01136	0.00005	0.4971	0.00015	244	1	242	3	227	24
7	47	1177	0.03829	0.00021	0.2697	0.0024	0.05107	0.00044	0.01277	0.00003	0.4460	0.0007	242	1	242	2	244	20
8	24	579	0.03824	0.00022	0.2699	0.0046	0.05120	0.00083	0.01072	0.00007	0.6218	0.00030	242	1	243	4	250	37
9	28	682	0.03851	0.00022	0.2689	0.0063	0.05065	0.0012	0.01351	0.00010	0.5054	0.0003	244	1	242	6	225	53
10	46	1104	0.03813	0.00021	0.2702	0.0035	0.05139	0.00065	0.00624	0.00002	1.2949	0.00036	241	1	243	3	258	29
11	44	1083	0.03839	0.00025	0.2687	0.0026	0.05076	0.00051	0.01369	0.00004	0.4585	0.0008	243	2	242	2	230	23
12	21	508	0.03876	0.00021	0.2691	0.0051	0.05035	0.00093	0.01237	0.00011	0.6252	0.0013	245	1	242	5	211	43
13	50	656	0.07138	0.00040	0.5498	0.0052	0.05586	0.00049	0.02157	0.00007	0.5839	0.0019	444	2	445	4	447	20
14	29	692	0.03828	0.00024	0.2695	0.0061	0.05107	0.0010	0.01313	0.00023	0.5903	0.0023	242	1	242	5	244	47
15	30	677	0.03825	0.00027	0.3868	0.0060	0.07334	0.00096	0.01213	0.00020	0.8034	0.0057	242	2	332	5	1023	26
16	60	1305	0.03846	0.00021	0.2708	0.0032	0.05106	0.00061	0.01371	0.00005	0.9048	0.0050	243	1	243	3	244	28
17	44	956	0.03858	0.00021	0.2699	0.0064	0.05073	0.0012	0.01693	0.00009	0.7437	0.0014	244	1	243	6	229	53
18	19	475	0.03829	0.00021	0.2690	0.0047	0.05095	0.00089	0.01458	0.00008	0.4299	0.0015	242	1	242	4	238	40
19	33	902	0.03879	0.00022	0.2691	0.0052	0.05032	0.00096	0.01422	0.00008	0.628	0.0001	245	1	242	5	210	44
20	38	962	0.03834	0.00023	0.2702	0.0032	0.05111	0.00062	0.01004	0.00006	0.5595	0.0008	243	1	243	3	246	28
21	38	869	0.03854	0.00032	0.2703	0.0026	0.05086	0.00050	0.00989	0.00017	0.9800	0.0166	244	2	243	2	235	23
22	41	1024	0.03833	0.00021	0.2697	0.0029	0.05103	0.00054	0.01397	0.00011	0.4478	0.0019	242	1	242	3	242	24
23	63	1600	0.03827	0.00021	0.2703	0.0027	0.05122	0.00047	0.01488	0.00006	0.3637	0.0006	242	1	243	2	251	21
24	44	1064	0.03855	0.00021	0.2722	0.0071	0.05121	0.0013	0.01384	0.00015	0.5423	0.0049	244	1	244	6	250	57
25	28	591	0.03820	0.00023	0.5277	0.011	0.1002	0.0021	0.01591	0.00020	0.8345	0.0017	242	1	430	9	1627	38

备注:1、表中所列误差均为1σ误差;2、1-12,14,16-24号点²⁰⁶Pb/²³⁸U表面年龄加权平均值(242.9±0.6)Ma;3、测试单位:天津地质矿产研究所。

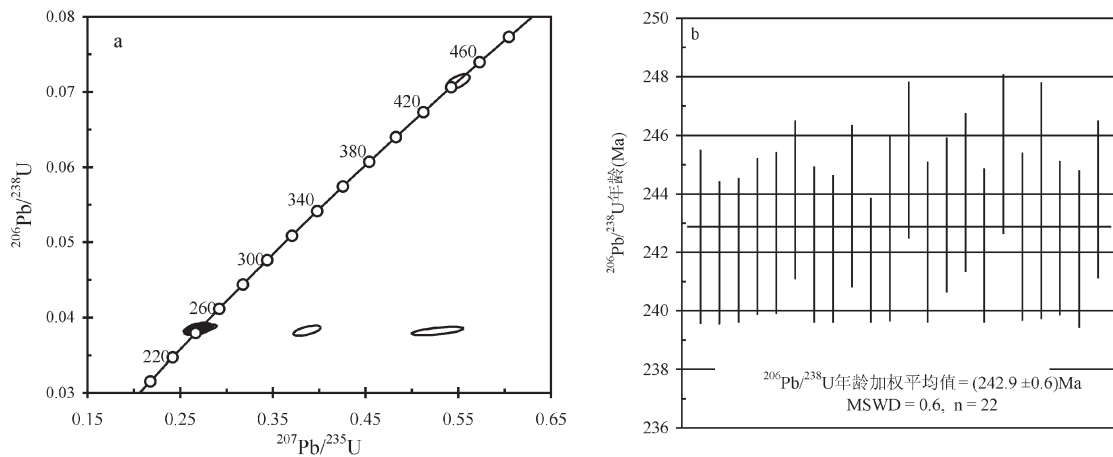


图7 石英闪长岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 谐和图(a)及加权平均年龄值(b)
Fig.7 Zircon LA-ICP-MS U-Pb concordia plot (a) and weighted mean age value of quartz diorite (b)

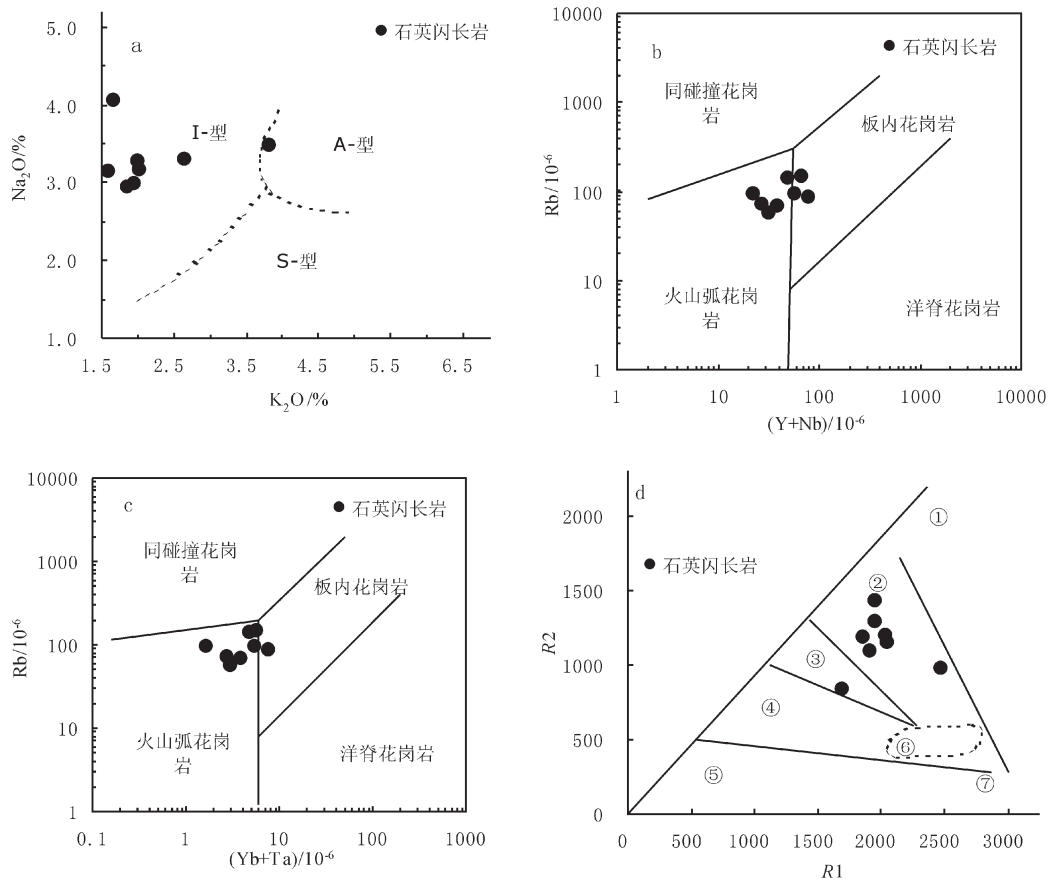


图8 别里赛北石英闪长岩 SiO_2 - Na_2O (a)(据文献[32]), Rb -($\text{Y}+\text{Nb}$) (b)(据文献[33]), Rb -($\text{Yb}+\text{Ta}$) (c)(据文献[33])图解和 $R1$ - $R2$ 因子判别图(d)(据文献[34])
Fig.8 SiO_2 - Na_2O (a, after reference[32]) and Rb -($\text{Y}+\text{Nb}$) (b, after reference[33]) Rb -($\text{Yb}+\text{Ta}$) (c, after reference[33]) and $R1$ - $R2$ (d, after reference[34]) diagram of quartz diorite in the Bielsaibe

①—地幔分异产物; ②—板块碰撞前; ③—碰撞后隆起; ④—造山晚期; ⑤—非造山; ⑥—同碰撞; ⑦—造山后

系列,稀土元素总量中等,轻稀土元素富集, Eu 中等亏损,球粒陨石标准化曲线向右倾斜,强不相容元素 K、Rb、Th 强富集,高场强元素 Ta、Nb、Zr、Hf 及轻稀土元素 Ce、Sm 中等富集,贫 P、Ti,显示为壳源岩石,形成于板块俯冲阶段。

参考文献(References):

- [1] 殷鸿福, 张克信. 中央造山带的演化及其特点[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1998, 23(5): 437-442.
Yin Hongfu, Zhang Kexin. Evolution and Characteristics of the central orogenic belt[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1998, 23(5): 437-442 (in Chinese with English abstract).
- [2] 姜春发, 王宗起, 李锦铁, 等. 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, et al. Opening-Closing Structure in the Central Orogen[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000: 1-154(in Chinese with English abstract).
- [3] 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 等. 中央造山带早古生代地体构架与高压/超高压变质带的形成[J]. 地质学报, 2006, 80(12): 1793-1806.
Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Li Haibin, et al. The Early Palaeozoic Terrence Framework and the Formation of the High Pressure(HP) and Ultra-High Pressure(UHP) Metamorphic Belts at the Centrica Orogenic Belt(COB) [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(12): 1793-1806 (in Chinese with English abstract).
- [4] 潘裕生, 周伟明, 许荣华, 等. 昆仑山早古生代地质特征与演化[J]. 中国科学(D辑), 1996, 26(4): 302-307.
Pan Yusheng, Zhou Weiming, Xu Ronghua, et al. Geological characteristics and evolution of Kunlun orogenic zone in the Early Paleozoic era[J]. Science in China (Series D), 1996, 26(4): 302-307 (in Chinese).
- [5] 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, 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).
- [6] 潘桂棠, 李兴振, 王立全, 等. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分[J]. 地质通报, 2002, 21(11): 701-707.
Pan Guitang, Li Xingzhen, Wang Liquan, et al. Preliminary division of tectonic units of the Qinghai Tibet Plateau and its adjacent regions[J]. Geological bulletin of China, 2002, 21(11): 701-707 (in Chinese with English abstract).
- [7] 李智明, 薛春纪, 王晓虎, 等. 东昆仑区域成矿特征及有关找矿突破问题分析[J]. 地质评论, 2007, 53(5): 708-718.
Li Zhiming, Xue Chunji, Wang Xiaohu, et al. Features of Regional Mineralization and Analysis of the Exploration Development in the Eastern Kunlun Mountains[J]. Geological Review, 2007, 53(5): 708-718 (in Chinese with English abstract).
- [8] 邓晋福, 杨建军. 格尔木—额济纳旗断面走廊域火成岩构造组合与大地构造演化[J]. 现代地质, 1996, 10(3): 330-343.
Deng Jinfu, Yang Jianjun. Igneous petrotectonic assemblages and tectonic evolution along the Golmu-Ejinaqi geological transect [J]. Geoscience, 1996, 10(3): 330-343 (in Chinese with English abstract).
- [9] 王秉璋, 罗照华, 李怀毅, 等. 东昆仑祁漫塔格走廊或晚古生代—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).
- [10] 丁清峰, 孙丰月, 李钟山. 青海东昆仑成矿带综合选区研究[J]. 中国地质, 2007, 34(6): 1101-1108.
Ding Qingfeng, Sun Fengyue, Li Zhongshan. Composite ore prospect areas in the East Kunlun metallogenic belt, Qinghai[J]. Geology in China, 2007, 34(6): 1101-1108 (in Chinese with English abstract).
- [11] 许长坤, 刘世宝, 赵子基, 等. 青海省东昆仑成矿带铁矿成矿规律与找矿方向研究[J]. 地质学报, 2012, 86(10): 1621-1678.
Xu Changkun, Liu Shibao, Zhao Ziji, et al. Metallogenic Law and Prospect Direction of Iron Deposits in the East Kunlun Metallogenic Belt in Qinghai[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(10): 1621-1678 (in Chinese with English abstract).
- [12] Middlemost E A k. Naming materials in magma-igneous rock system[J]. Earth Science Reviews, 1994, 37: 215-224.
- [13] Richter F M. Simple models for trace element fractionation during melt segregation[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1989, 77(3/4): 333-344.
- [14] Irvine T N, Baragar W R A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1971, 8(5): 523-548.
- [15] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[J]. Geological Society London Special Publications, 1989, 42: 313-345.
- [16] Thompson R N. Magmatism of the British Tertiary Volcanic Province[J]. Scottish Journal of Geology, 1982, 18: 49-107.
- [17] 侯可军, 李延河, 田有荣. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术[J]. 矿床地质, 2009, 28(4): 481-492.
Hou Kejun, Li Yanhe, Tian Yourong. In Situ U-Pb Zircon Dating Using Laser Ablation-Multi Ion Counting-ICP-MS[J]. Mineral Deposits, 2009, 28(4): 481-492 (in Chinese with English abstract).
- [18] 冯建赞, 裴先治, 于书伦, 等. 东昆仑都兰可可沙地区镁铁-超镁铁质杂岩的发现及其 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄[J]. 中国地质, 2010, 37(1): 28-38.
Feng Jianyun, Pei Xianzhi, Yu Shulun, et al. The discovery of the

- mafic-ultramafic melange in Kekesha area of Dulan County, East Kunlun region, and its LA-ICP-MS zircon U-Pb age[J]. *Geology in China*, 2010, 37(1): 28-38 (in Chinese with English abstract).
- [19] 王彦斌, 王登红, 韩娟, 等. 湖南益将稀土-钨矿的石英闪长岩锆石 U-Pb 定年和 Hf 同位素特征: 湘南加里东期岩浆活动的年代学证据[J]. *中国地质*, 2010, 37(4): 1062-1070.
- Wang Yanbin, Wang Denghong, Han Juan, et al. U-Pb dating and Hf isotopic characteristics of zircons from quartz diorite in the Yijiang REE-Sc deposit, Rucheng County, Hunan: Constraints on the timing of Caledonian magmatic activity in South China[J]. *Geology in China*, 2010, 37(4): 1062-1070(in Chinese with English abstract).
- [20] 张维, 简平. 华北北缘同阳二叠纪闪长岩-石英闪长岩-英云闪长岩套 SHRIMP 年代学[J]. *中国地质*, 2012, 39(6): 1593-1603.
- Zhang Wei, Jian Ping. SHRIMP dating of the Permian Guyang diorite-quartz diorite-tonalite suite in the northern margin of the North China Craton[J]. *Geology in China*, 2012, 39(6): 1593-1603 (in Chinese with English abstract).
- [21] 段士刚, 张作衡, 魏梦元, 等. 新疆西天山雾岭铁矿闪长岩地球化学及锆石 U-Pb 年代学[J]. *中国地质*, 2014, 41(6): 1757-1770.
- Duan Shigang, Zhang Zuoheng, Wei Mengyuan, et al. Geochemistry and zircon U-Pb geochronology of the diorite associated with the Wuling iron deposit in Western Tianshan Mountains, Xinjiang[J]. *Geology in China*, 2014, 41(6): 1757-1770 (in Chinese with English abstract).
- [22] 张勇, 李恒恒, 刘国燕, 等. 别里赛北铁矿成矿特征及找矿前景浅析[J]. *西部探矿工程*, 2011, 181(23): 177-178.
- Zhang Yong, Li Hengheng, Liu Guoyan, et al. Geological characteristics and prospecting potential of the Bielisaibe iron deposit[J]. *West-China Exploration Engineering*, 2011, 181(23): 177-178 (in Chinese with English abstract).
- [23] 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 Kaerqueka polymetallic ore district, East Kunlun Mountains, Qinghai province[J]. *Mineral Deposits*, 2008, 27(3): 399-406 (in Chinese with English abstract).
- [24] 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).
- [25] 丰成友, 李东生, 屈文俊, 等. 青海祁漫塔格索拉吉尔砂卡岩型铜钼矿床辉钼矿-钼同位素定年及其地质意义[J]. *岩矿测试*, 2009, 28(3): 223-227.
- Feng Chengyou, Li Dongsheng, Qu Wenjun, et al. Re-Os Isotopic Dating of Molybdenite from the Suolajier Skarn-type Copper-Molybdenum Deposit of Qimantag Mountain in Qinghai Province and Its Geological Significance[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2009, 28(3): 223-227 (in Chinese with English abstract).
- [26] 王松, 丰成友, 李世金, 等. 青海祁漫塔格山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): 74-82.
- 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): 74-82. (in Chinese with English abstract)
- [27] 邱家骧, 林景仟. 岩石化学[M]. 北京: 地质出版社, 1991: 203-210.
- Qiu Jiarang, Lin Jingqian. *Geochemistry*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991: 203-210. (in Chinese with English abstract).
- [28] 张旗, 王焰, 李承东, 等. 花岗岩的 Sr-Yb 分类及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2006, 22(9): 2249-2269.
- Zhang Qi, Wang Yan, Li Chengdong, et al. Granite classification on the basis of Sr and Yb contents and its implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(9): 2249-2269 (in Chinese with English abstract).
- [29] 张旗, 王元龙, 金惟俊, 等. 造山前、造山和造山后花岗岩的识别[J]. *地质通报*, 2008, 27(1): 1-18.
- Zhang Qi, Wang Yuanlong, Jin Weijun, et al. Criteria for the recognition of pre-, syn- and post-orogenic granitic rocks[J]. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(1): 1-18 (in Chinese with English abstract).
- [30] 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 Palaeozoic to Mesozoic in East Kun, Tibet[J]. *Geoscience*, 1998, 12(3): 344-352 (in Chinese with English abstract).
- [31] 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 等. 青藏高原与大陆动力学——地块拼合、碰撞造山及高原隆升的深部驱动力[J]. *中国地质*, 2006, 33(2): 221-238.
- Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Li Haibing, et al. The Qinghai-Tibet plateau and continental dynamics: A review on terrain tectonics, collisional orogenesis, and processes and mechanisms[J]. *Geology in China*, 2006, 33(2): 221-238 (in Chinese with English abstract).
- [32] Collins W J, Bcams S D, White A J R et al. Nature and origin of A type granites with particular reference to Southeastern Australia [J]. *Contrib. Mineral Petrol.*, 1982, 80: 189-200.
- [33] 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(4): 956-983.
- [34] Batchelor R A and Bowden P. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters[J]. *Chemical Gology*, 1985, 48(1/4): 43-45.