

李金超, 杜玮, 孔会磊, 等. 青海省东昆仑大水沟金矿英云闪长岩锆石 U-Pb 测年、岩石地球化学及其找矿意义[J]. 中国地质, 2015, 42(3): 509-520.

Li Jinchao, Du Wei, Kong Huilei, et al. Zircon U-Pb dating and geochemical characteristics of the tonalite in the Dashuigou gold deposit of Eastern Kunlun Mountains, Qinghai Province[J]. Geology in China, 2015, 42(3): 509-520(in Chinese with English abstract).

青海省东昆仑大水沟金矿英云闪长岩 锆石 U-Pb 测年、岩石地球化学及其找矿意义

李金超^{1,2} 杜 玮¹ 孔会磊² 雷延军³ 贾群子² 栗亚芝² 南卡俄吾¹

(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, 国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 陕西 西安 710054; 青海省核工业地质局, 青海 西宁, 810008)

摘要:大水沟金矿位于东昆仑中段, 目前矿区西部共圈定金矿(化)体 9 条, 结合化探异常和区域地质背景对比, 认为该区具有良好的找矿前景。本文利用 LA-MC-ICPMS 锆石 U-Pb 定年技术, 首次获得与金矿成矿有密切关系的英云闪长岩加权平均年龄为(239.5±0.9)Ma, 厘定为中三叠世; 岩石地球化学研究表明, 英云闪长岩为钙碱性系列岩石, 轻稀土富集, 轻重稀土分馏明显, 具弱的负铈异常, 岩体明显富集大离子亲石元素(Rb、K)、活泼不相容元素 Th、轻稀土元素和 Pb, 相对亏损高场强元素(Nb、Ta、P、Ti), Rb/Sr、Nb/Ta 等特征反映出岩石具有壳幔混合岩浆的特点。结合东昆仑地区已有的年代学资料、岩石地球化学和区域地质构造演化分析, 本文认为英云闪长岩形成构造环境为俯冲阶段; 俯冲作用促进了幔源流体的运移, 在构造有利部位沉淀形成金矿。

关键词: 英云闪长岩; LA-MC-ICPMS 锆石 U-Pb; 大水沟; 东昆仑

中图分类号: P588.12; P618.51 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2015) 03-0509-12

Zircon U-Pb dating and geochemical characteristics of the tonalite in the Dashuigou gold deposit of Eastern Kunlun Mountains, Qinghai Province

LI Jin-chao^{1,2}, DU Wei¹, KONG Hui-lei², LEI Yan-jun³, JIA Qun-zi², LI Ya-zhi², Namkha Norbu¹

(1. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Xi'an Center of China Geological Survey; Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, MLR, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3. Qinghai Geological Bureau of Nuclear Industry, Xining 810008, Qinghai, China)

Abstract: The Dashuigou gold deposit is located in the middle segment of Eastern Kunlun, and nine orebodies were delineated in the west of the Dashuigou gold deposit. In combination with geochemical anomalies and regional geological background, the authors hold that the Dashuigou gold deposit has good ore-search prospect. Gold ore prospecting has achieved new breakthrough.

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)”、“柴达木周缘及邻区成矿带与整装勘查区地质矿产调查综合研究(12120113029000)”和“青海省岩浆岩时空分布与成矿作用研究(1212011121089)”联合资助。

作者简介: 李金超, 男, 1976 年生, 博士生, 高级工程师, 主要从事区域成矿及成矿规律等方面的研究工作; E-mail: lijinchao0313@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。

LA-MC-ICPMS zircon U-Pb dating shows that the weighted mean age of tonalite, which is closely related to mineralization in the Dashuigou gold deposit, is (239.5 ± 0.9) Ma, with MSWD being 1.3, suggesting Middle Triassic. Geochemical studies indicate that tonalite belongs to the calc-alkaline series, with obvious fractionation of REE, enrichment of LREE and slightly negative Eu anomalies. This suite of rocks are enriched in LILE (such as Rb, K), LREE and more mobile incompatible elements (such as Th), and relatively depleted in HFSE (such as Nb, Ta, Ti, P). Rb/Sr and Nb/Ta ratios reflect the characteristics of mantle-derived magma. Based on a combined study of geochronology, geochemistry and evolutionary characteristics of regional structures, the authors hold that tonalite was formed at the subduction stage. Subduction promoted the migration of mantle-derived fluids, which precipitated in favorable parts of structure, forming the gold orebody.

Key words: tonalite; LA-MC-ICPMS zircon U-Pb; Dashuigou; East Kunlun Mountains

About the first author: LI Jin-chao, male, born in 1976, doctor, senior engineer, engages in the study of regional metallogenesis and metallogenic regularity, E-mail: lijinchao0313@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.

东昆仑造山带位于青藏高原东北部,柴达木盆地南缘^[1],区内蕴藏着丰富的矿产资源,素有“金腰带”之称^[2]。目前已发现阿斯哈、按纳格、果洛龙洼、五龙沟、瑙木浑、巴隆、大水沟、白日其利等一系列蚀变岩型金矿床(点)(图1);前人对东昆仑成矿带五龙沟、阿斯哈、果洛龙洼等金矿床从不同视角做了深入的研究^[3-15],认为断裂活动控制着金矿床的分布,幔源岩浆活动在金矿形成过程中起着至关重要的作用。大水沟金矿床位于青海省格尔木市南东约50 km处的大水沟沟口东侧;前人仅对大水沟地区地质背景和金矿找矿前景等进行了简要分析^[16-17],目前该区圈定金矿(化)体9条,成矿地质背景及特征与五龙沟大型金矿床具相似性,且化探异常金元素具有较好的显示,表明该区具有良好的金矿找矿前景。矿区内广泛分布的英云闪长岩是东昆仑地区构造岩浆事件的显著特征,且与该区成矿作用有密切的关系。英云闪长岩形成于什么时代?产出的构造环境和反映的地球动力学过程又是怎样?由于该矿床目前工作程度较低,研究较少。因此,拟对大水沟金矿床与成矿作用密切相关的英云闪长岩开展系统的岩石地球化学和LA-MC-ICPMS锆石U-Pb定年研究,以准确厘定该区英云闪长岩的形成时代,探讨其产出的地质构造环境以及与金矿成矿作用之间的关系,为进一步认识区域地质构造演化和该区金矿找矿工作提供帮助。

1 区域及矿区地质概况

东昆仑造山带是一个具有复杂演化历史的多旋回造山带^[2,18],区内与构造-岩浆活动有关的多

金属等热液矿床发育^[19]。昆北、昆中和昆南3条区域性深大断裂带呈北西西向横贯全区,其控制着区内地层、岩浆岩的分布,北西向构造带内发育一组北东向断裂,两组断裂的交汇部位是金矿床形成的有利部位。区内岩浆活动强烈,以花岗闪长岩、石英闪长岩等为主,岩浆活动从晋宁期到燕山期均有表现,其中以晚海西期—燕山期为主。

大水沟金矿位于东昆仑中段(图1),区内主要出露古元古代金水口群白沙河岩组,为一套层状无序的中深变质岩系;岩性主要有黑云斜长片麻岩、斜长片岩、斜长角闪岩等。大水沟矿区内断裂构造发育,区内断裂总体以北西西向逆断层为主,西区以北西西向、近东西向逆断层为主。区内岩浆活动强烈,前人描述的岩体有新元古代花岗闪长岩和闪长岩、寒武纪二长花岗岩和花岗闪长岩等岩体,局部见有三叠纪岩体。矿区分东西两个区,西区金矿找矿取得较大突破,东区目前金矿找矿进展缓慢。西区目前已圈出含金蚀变带5条,主要为北西西向、近东西向两组,呈条带状、脉状产出,长1800~5300 m,宽3~10 m,最宽达35 m。其中3条蚀变带中目前已圈出9条金矿体,Ⅱ号矿化蚀变带见矿最好,矿体长80~160 m,宽1.0~6.5 m,最大延深180.9 m,金平均品位 1.73×10^{-6} ,最高品位 8.38×10^{-6} 。矿体产于花岗闪长岩、英云闪长岩体内的硅化、黄铁矿化、绢英岩化构造蚀变破碎带中。

2 样品和测试方法

前人认为西区出露的岩体主要为新元古代花岗闪长岩^[16-17],本次通过野外调查、薄片鉴定、锆石

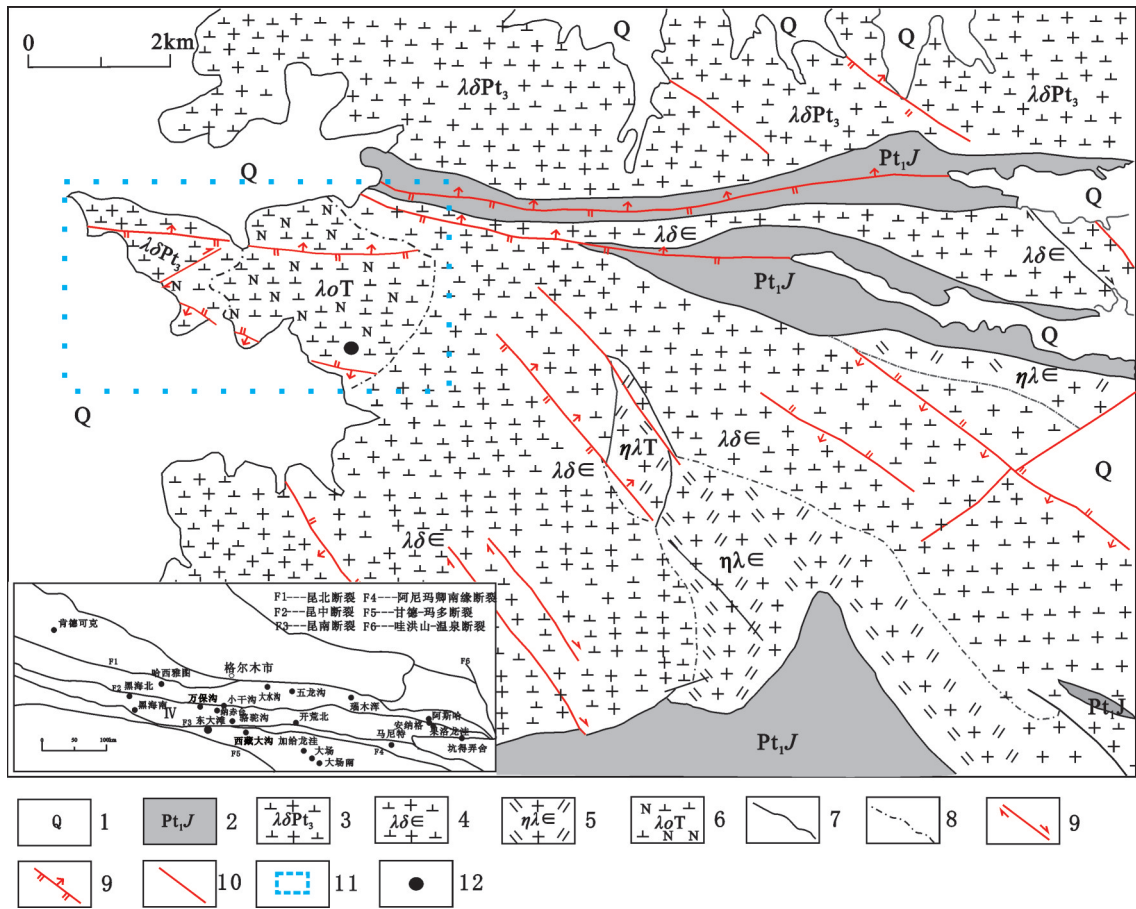


图1 大水沟金矿区地质简图

1—第四系;2—金水口岩群片麻岩、片岩;3—新元古代花岗闪长岩;4—寒武纪花岗闪长岩;5—寒武纪二长花岗岩;6—三叠纪英云闪长岩;
7—地层界线;8—脉动接触关系;9—平移断层;10—性质不明断层;11—大水沟金矿西区;12—采样位置

Fig.1 Geological sketch map of the Dashuigou gold deposit

1—Schist and gneiss of Jinshuikou rock group; 2—Quaternary; 3— Neoproterozoic granodiorite; 4— Cambrian granodiorite; 5— Cambrian adamellite; 6—Triassic tonalite; 7—Stratigraphic boundary; 8—Intrusive contact; 9— Parallel displacement fault; 10—Unknown fault; 11— The western area of the Dashuigou gold deposit; 12— Sampling location

测年,综合研究认为该岩体为三叠纪英云闪长岩。该岩石颜色为灰白色,块状构造,不等粒结构(图2-a);主要矿物为斜长石(65%~70%):多呈半自形板状,粒径大小在1.20~7.00 mm,矿物种属为中长石,次生蚀变明显,常产生不同程度的绢云母化与帘石化,晶体中常见环带结构(图2-b);石英(15%~20%):多呈不规则粒状,粒径大小在0.80~3.00 mm,多呈团块状集合体;黑云母(8%~12%):呈团块状集合体出现,其全部被绿泥石与绿帘石交代。英云闪长岩中见有大量包体(图2-c),包体直径为0.02~0.50 m,包体岩性单一,镜下鉴定为闪长玢岩(图2-d),形状复杂多变。

本次矿区西区探槽中采取英云闪长岩,所采取

的英云闪长岩在金矿体两侧(图3),与金矿形成有密切时空关系。采取的5件地球化学和1件年龄样均为新鲜样品。

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)进行测定,分析精度优于5%~10%。

锆石的挑选工作在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,然后经过粗淘、强磁分选、电磁分选和用酒精细淘等过程,在实体显微镜下手工挑选出锆石。锆石的制靶、反射光和阴极发光都是在西北大

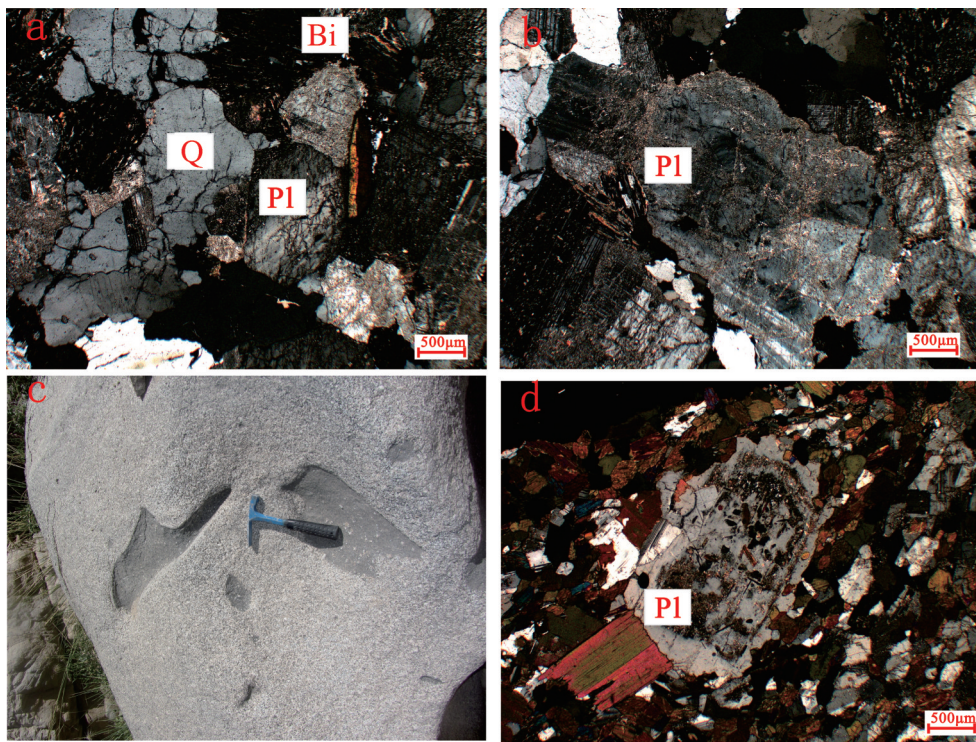


图2 大水沟英云闪长岩和闪长玢岩包体相片

a—英云闪长岩中的斜长石发生次生蚀变(正交偏光);b—英云闪长岩中的斜长石呈环带结构(正交偏光);c—英云闪长中的闪长玢岩包体;
d—闪长玢岩中的斜长石斑晶(正交偏光);Q—石英;Pl—斜长石;Bi—黑云母

Fig.2 Photographs of tonalite and its inclusions in Dashuigou

a—Secondary alteration of plagioclase (crossed nicols);b—Zonal structure of plagioclase (crossed nicols);c—dioritic porphyry enclaves in tonalite;
d—plagioclase phenocryst of dioritic porphyrite (crossed nicols);Q—Quartz;Pl—Plagioclase;Bi—Biotite

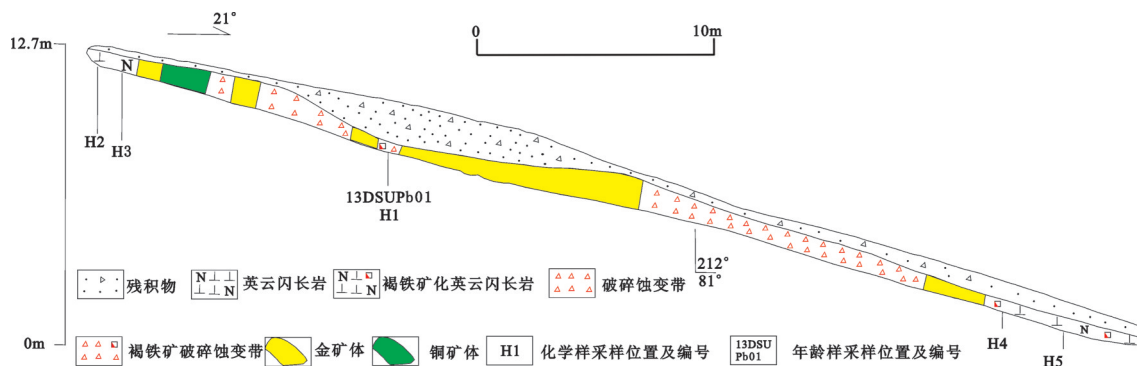


图3 大水沟金矿床探槽素描图及采样位置示意图

Fig.3 Prospecting trench sketch and sampling sites in the Dashuigou gold deposit

学大陆动力学国家重点实验室进行。锆石的制靶在实体显微镜下挑选裂隙相对少、表面尽量洁净、透明度相对较高的锆石约100粒制作环氧树脂样品靶,并对其打磨和抛光。锆石U-Pb测年工作在天

性能、分析方法、测试过程见李怀坤等^[20]的报道。

3 测试结果

3.1 英云闪长岩LA-MC-ICP-MS锆石U-Pb定年
样品13DSUPb01(英云闪长岩)中锆石多为长柱状,短柱状次之,长150~450 μm,长宽比为2:1~5:

1. 多数锆石自形程度较好,发育岩浆震荡环带,部分锆石呈断头晶出现,具有清晰的韵律环带结构,不发育震荡环带,具岩浆结晶锆石特征(图4)。39个有效分析点测试结果(表2)显示其Th/U比值为0.33~1.09,平均值为0.55,该样品所测定的锆石具岩浆成因性质。39个锆石点数据集中,均落在谐和线上及其附近(图5),39个²⁰⁶Pb/²³⁸U分析数据的加权平均年龄为(239.5±0.9) Ma, MSWD=1.3;谐和年龄值为(239.5±0.9) Ma, MSWD=1.3;二者恰好一致。其代表岩浆结晶年龄,表明其大约侵位于239.5 Ma。

3.2 地球化学测试结果

3.2.1 主量元素

研究区英云闪长岩化学成分见表1,样品中SiO₂含量为69.80%~70.47%,平均为70.08%,反映了岩浆分异过程中的一致性,属中酸性岩浆岩范围;Al₂O₃含量为14.44%~14.99%,平均为14.73%;(Na₂O+K₂O)含量为4.68%~5.41%,平均为5.01%,K₂O/Na₂O为0.33~0.78,平均为0.55,属于钠质系列岩石;A/CNK值为1.08~1.14,平均为1.13;在A/NK-A/CNK图(图6-b)上,主要落在过铝质区;δ值为0.81~1.05,碱度率(AR)为1.68~1.89,分异指数(DI)为72.53~77.32。在SiO₂-K₂O图(图6-a)上,岩

石主要落在钙碱性系列区。

3.2.2 微量元素

前人研究指出金元素的克拉克值为3.1×10⁻⁹[24],大水沟英云闪长岩金含量超过地壳克拉克值5~15倍,为金矿的富集提供了丰富成矿物质。原始地幔标准化微量元素蛛网图(图7-a)显示,英云闪长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),Ba、Nb、Sr的亏损较明显,显示出岩浆与俯冲环境有关。

稀土总量为117.86×10⁻⁶~163.22×10⁻⁶,平均为147.73×10⁻⁶。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,轻重稀土的比值(LREE/HREE)=12.87~18.15,平均为15.99,二者明显分异,(La/Yb)_N为17.07~26.86,显示了轻稀土明显强烈富集的右倾式稀土配分模式,(La/Sm)_N为5.15~6.66,平均为5.99,(Gd/Yb)_N为2.04~2.32,平均为2.15,说明轻稀土分馏较强而重稀土之间分异不明显;δEu为0.70~0.78,具有弱的负铕异常,表明该区英云闪长岩岩体



图4 大水沟英云闪长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²⁰⁶Pb/²³⁸U表面年龄)
Fig.4 CL images of zircons from Dashuigou tonalite (numbers in the circles represent analytical spots of U-Pb, and the values represent ages of ²⁰⁶Pb/²³⁸U)

表1 大水沟英云闪长岩主量元素(%)和微量元素含量(10^{-6})
Table 1 Content of major elements(%) and trace elements
(10^{-6}) of Dashuigou tonalite

样品号	13DSH06	13DSH07	13DSH08	13DSH09	13DSH10
SiO ₂	69.78	70.30	70.47	69.80	70.06
Al ₂ O ₃	14.99	14.55	14.70	14.95	14.44
Fe ₂ O ₃	0.50	0.25	0.30	0.48	0.22
FeO	2.10	1.62	1.29	2.10	1.40
CaO	3.43	3.15	2.88	3.26	3.26
MgO	1.60	1.41	1.34	1.60	1.38
K ₂ O	1.15	1.86	2.16	1.46	2.17
Na ₂ O	3.53	3.27	3.25	3.42	2.79
TiO ₂	0.51	0.51	0.53	0.52	0.49
P ₂ O ₅	0.12	0.11	0.11	0.12	0.10
MnO	0.04	0.04	0.03	0.04	0.05
灼失※	1.74	2.35	2.44	1.73	3.13
H ₂ O ⁺	1.20	1.32	1.10	1.20	1.38
TOTAL	100.69	100.74	100.60	100.68	100.87
Sc	5.94	4.69	4.35	5.74	5.57
V	48.00	46.70	48.30	49.20	45.30
Cr	15.90	18.20	16.40	26.30	18.00
Ni	7.02	6.98	6.48	11.10	6.98
Co	6.40	5.23	4.29	6.47	3.71
Rb	38.20	72.60	90.50	46.50	92.90
Ba	636.00	637.00	753.00	780.00	418.00
Th	9.47	10.60	11.10	11.60	9.32
U	1.28	1.14	1.09	1.24	1.22
Ta	0.85	0.93	0.87	0.94	0.63
Nb	7.96	8.51	8.52	8.71	7.54
Pb	12.30	12.70	11.80	13.10	8.17
Sr	479.00	402.00	414.00	488.00	344.00
Zr	138.00	122.00	128.00	147.00	148.00
Hf	4.15	3.59	3.73	4.37	4.39
Y	13.60	11.00	10.20	13.60	8.36
La	33.80	40.10	39.70	36.90	29.60
Ce	65.20	76.10	74.00	70.20	54.50
Pr	6.99	7.79	7.44	7.44	5.60
Nd	23.30	25.30	23.60	24.90	18.10
Sm	4.24	4.23	3.85	4.33	2.92
Eu	0.99	0.91	0.80	0.99	0.67
Gd	3.50	3.08	2.97	3.51	2.20
Tb	0.50	0.44	0.41	0.49	0.30
Dy	2.65	2.21	2.05	2.59	1.60
Ho	0.52	0.41	0.38	0.50	0.32
Er	1.43	1.16	1.04	1.37	0.89
Tm	0.22	0.18	0.17	0.21	0.14
Yb	1.42	1.14	1.06	1.36	0.89
Lu	0.21	0.17	0.15	0.20	0.13
ΣREE	144.97	163.22	157.62	154.99	117.86
LREE/HREE	12.87	17.57	18.15	14.15	17.22
La _N /Yb _N	17.07	25.23	26.86	19.46	23.86
δ Eu	0.76	0.74	0.70	0.75	0.78
δ Ce	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97
La _N /Sm _N	5.15	6.12	6.66	5.50	6.54
Gd _N /Yb _N	2.04	2.24	2.32	2.14	2.04

经历了一定的斜长石分离结晶作用,或者说源区有一定的斜长石残留^[11-12]。 δ Ce变化范围小,集中在0.97~0.99,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 岩石成因及其动力地质学意义

大水沟金矿床英云闪长岩的主量元素CaO、MgO、P₂O₅和TiO₂与SiO₂呈负相关,而K₂O和Na₂O与SiO₂呈正相关,岩浆具有一致的演化趋势,表明他们为同源岩浆演化的产物。岩体明显富集大离子亲石元素(Rb、K)、活泼的不相容元素Th、轻稀土元素和Pb,相对亏损高场强元素(Nb、Ta、P、Ti)、Ba、Nb、Sr的亏损较明显,显示具有岛弧环境的特点。岩石显示明显的Ta-Nb-Ti负异常和低的Nb/Ta值的特征,Sun & McDonough认为主要显示俯冲带幔源岩石的成分特点^[25],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^[26]。Rb/Sr比值(1.64~5.13)介于上地幔值(0.034)^[27]和地壳值(5.36~6.55)^[28]之间,Nb/Ta比值(9.36~11.07)总体低于地幔平均值17.5^[25],显示壳幔混合的特点。本次在英云闪长岩中见有闪长岩包体;前人通过对加鲁河等地获得闪长岩、角闪辉长岩等包体岩相学研究,也证实为岩浆混合成因^[29]。

该类岩石在花岗岩的Y-Nb和(Y+Nb)-Rb判别图解(图8)中,所有样品均落在岛弧环境区域。花岗岩类岩石类型的多样性反映岩浆源区性质和岩浆演化的综合结果^[31],简单地运用微量元素构造图解判别构造环境具有多解性,故结合当时的大地构造演化及地质年代制约是必要的。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^[2],原特提斯洋大规模俯冲碰撞时间是在(260~230)Ma^[32]。洋壳俯冲的另一证据为东昆南阿尼玛卿发育一条蛇绿岩带;前人在玛积雪山蛇绿岩中获得火山岩同位素年龄为260 Ma^[33],在德尔尼超镁铁质岩北侧获得德恰花岗质杂岩的锆石U-Pb年龄为250 Ma^[34]。本次得到大水沟英云闪长岩锆石U-Pb年龄为(239.5±0.9)Ma,正好处于阿尼玛卿洋盆向北俯冲晚期,该阶段由于俯冲板片的断离、脱水、部分熔融,造成了一系列壳幔岩浆相互影响作

表2 大水沟英云闪长岩锆石 LA-MC-ICPMS 测年结果
 Table 2 LA-MC-ICP-MS isotopic data of zircon from Dashuigou tonalite

样品 编号	含量/ 10^{-6}			Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
	Pb*	Th	U		比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	年龄/Ma	1σ	年龄/Ma	1σ	年龄/Ma	1σ
1	6.6	84.0	168.5	0.50	0.0510	0.0014	0.2676	0.0074	0.0380	0.0004	241	63	241	7	241	3
2	6.8	81.7	177.1	0.46	0.0516	0.0009	0.2685	0.0050	0.0377	0.0004	268	40	242	4	239	3
3	7.5	67.0	201.0	0.33	0.0508	0.0017	0.2665	0.0090	0.0381	0.0004	232	75	240	8	241	3
5	11.1	188.3	279.3	0.67	0.0499	0.0013	0.2639	0.0073	0.0384	0.0004	189	62	238	7	243	3
6	16.0	210.1	408.1	0.51	0.0496	0.0009	0.2641	0.0051	0.0386	0.0004	176	43	238	5	244	3
7	6.2	68.6	162.1	0.42	0.0511	0.0017	0.2671	0.0095	0.0379	0.0004	247	79	240	9	240	3
8	8.1	90.9	218.1	0.42	0.0512	0.0012	0.2695	0.0070	0.0382	0.0004	249	53	242	6	242	3
9	6.4	79.6	169.6	0.47	0.0512	0.0018	0.2709	0.0096	0.0384	0.0004	249	79	243	9	243	3
10	34.2	456.7	898.6	0.51	0.0506	0.0006	0.2651	0.0036	0.0380	0.0004	221	28	239	3	241	3
11	23.3	371.9	590.8	0.63	0.0509	0.0007	0.2696	0.0039	0.0384	0.0004	237	30	242	4	243	3
12	26.3	481.5	662.6	0.73	0.0515	0.0007	0.2698	0.0038	0.0380	0.0004	262	30	243	3	241	3
13	26.3	375.6	693.9	0.54	0.0514	0.0008	0.2676	0.0047	0.0378	0.0004	260	35	241	4	239	3
14	28.9	606.6	705.0	0.86	0.0515	0.0007	0.2672	0.0042	0.0376	0.0004	263	32	240	4	238	3
15	42.4	670.0	1079.9	0.62	0.0514	0.0006	0.2691	0.0038	0.0380	0.0004	258	28	242	3	240	3
16	13.8	182.0	360.0	0.51	0.0509	0.0007	0.2667	0.0042	0.0380	0.0004	235	33	240	4	241	3
17	18.8	296.9	483.8	0.61	0.0520	0.0007	0.2699	0.0041	0.0376	0.0004	286	31	243	4	238	3
18	132.8	1307.8	3537.1	0.37	0.0521	0.0006	0.2759	0.0038	0.0384	0.0004	291	27	247	3	243	3
19	17.0	273.9	446.3	0.61	0.0518	0.0007	0.2669	0.0041	0.0373	0.0004	278	31	240	4	236	3
20	24.9	348.6	675.5	0.52	0.0516	0.0011	0.2635	0.0059	0.0371	0.0004	266	49	237	5	235	2
21	12.6	193.7	339.2	0.57	0.0531	0.0012	0.2715	0.0064	0.0371	0.0004	334	52	244	6	235	2
22	17.1	399.3	433.5	0.92	0.0521	0.0009	0.2700	0.0051	0.0376	0.0004	289	41	243	5	238	2
23	12.2	195.1	322.2	0.61	0.0515	0.0011	0.2666	0.0063	0.0376	0.0004	261	51	240	6	238	3
24	9.9	178.7	258.6	0.69	0.0513	0.0010	0.2651	0.0053	0.0375	0.0004	256	43	239	5	237	2
25	14.8	138.4	404.9	0.34	0.0522	0.0014	0.2718	0.0075	0.0378	0.0004	293	62	244	7	239	3
26	28.1	746.9	684.0	1.09	0.0517	0.0008	0.2679	0.0043	0.0376	0.0004	272	33	241	4	238	3
27	28.8	464.6	761.6	0.61	0.0519	0.0007	0.2678	0.0040	0.0374	0.0004	280	32	241	4	237	2
28	23.8	349.3	629.9	0.55	0.0522	0.0008	0.2702	0.0047	0.0375	0.0004	296	37	243	4	237	2
29	63.4	554.5	1642.4	0.34	0.0513	0.0006	0.2797	0.0038	0.0396	0.0004	253	27	250	3	250	3
30	18.8	228.2	492.1	0.46	0.0511	0.0008	0.2671	0.0046	0.0379	0.0004	243	38	240	4	240	3
31	23.0	317.9	592.2	0.54	0.0510	0.0008	0.2672	0.0045	0.0380	0.0004	241	36	240	4	240	3
32	27.2	362.6	708.1	0.51	0.0523	0.0010	0.2698	0.0053	0.0374	0.0004	298	42	243	5	237	2
33	31.7	444.3	809.8	0.55	0.0512	0.0007	0.2696	0.0039	0.0382	0.0004	249	31	242	4	242	3
34	25.5	324.8	672.3	0.48	0.0509	0.0008	0.2655	0.0042	0.0378	0.0004	238	34	239	4	239	3
35	28.7	472.9	733.3	0.64	0.0516	0.0008	0.2656	0.0045	0.0373	0.0004	268	37	239	4	236	2
36	38.6	515.1	989.2	0.52	0.0511	0.0006	0.2699	0.0039	0.0383	0.0004	247	29	243	4	242	3
37	19.2	228.3	503.3	0.45	0.0520	0.0010	0.2715	0.0055	0.0379	0.0004	284	43	244	5	240	3
38	19.3	219.3	513.5	0.43	0.0526	0.0009	0.2717	0.0047	0.0375	0.0004	310	38	244	4	237	3
39	26.7	318.3	719.2	0.44	0.0517	0.0007	0.2662	0.0041	0.0374	0.0004	271	32	240	4	236	2
40	36.8	435.8	965.9	0.45	0.0525	0.0007	0.2734	0.0042	0.0377	0.0004	309	32	245	4	239	3

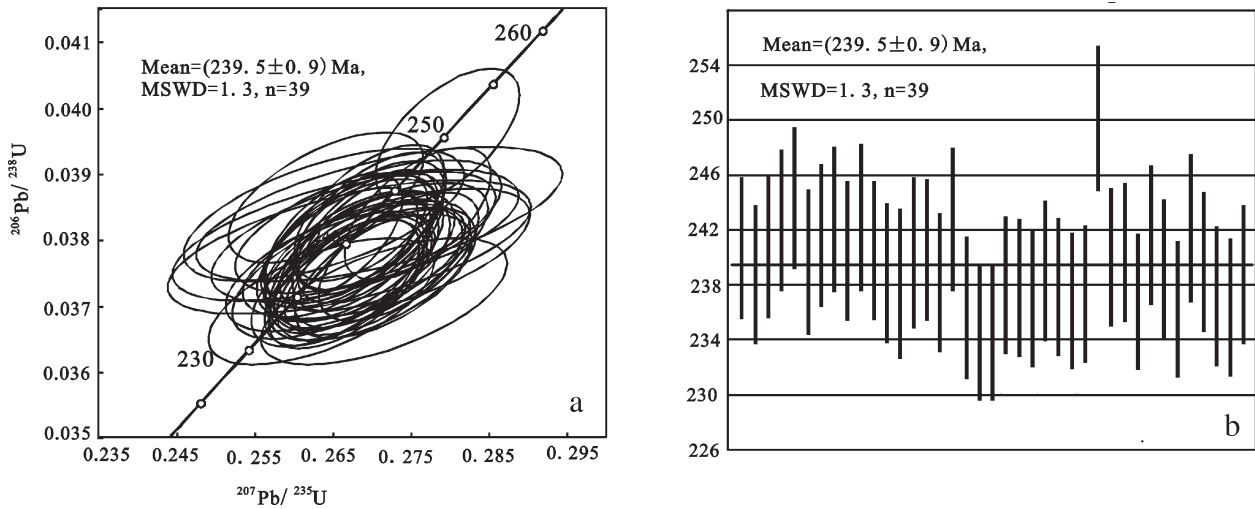


图5 大水沟英云闪长岩锆石U-Pb年龄谐和图(a)和加权平均年龄(b)
Fig.5 Zircon U-Pb concordia diagram(a)and weighted mean ages diagram of Dashuigou tonalite

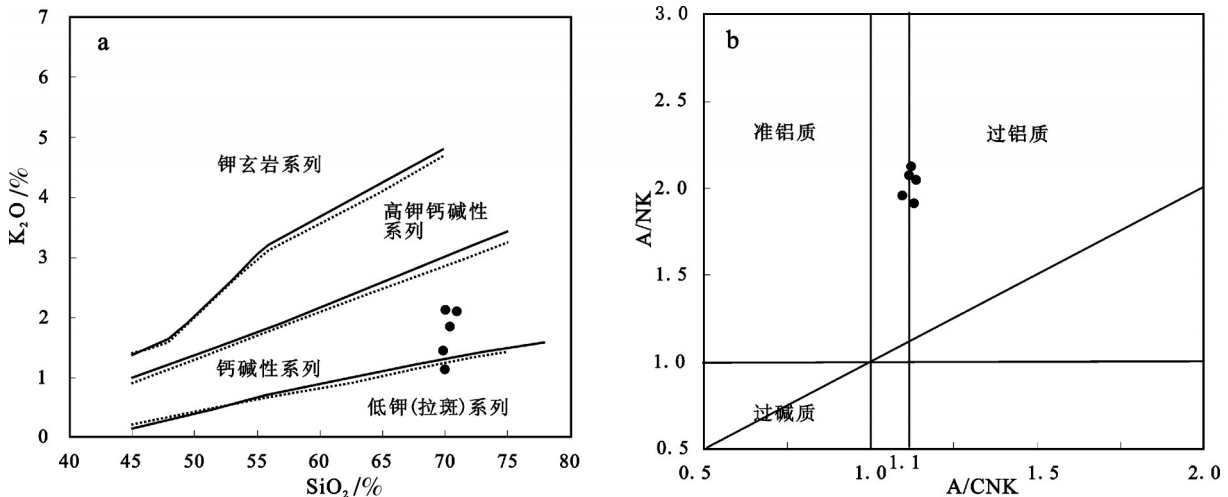


图6 大水沟英云闪长岩的SiO₂-K₂O图解(a)^[21-22]及A/CNK-A/NK图解(b)^[23]
Fig.6 SiO₂-K₂O(a) and A/CNK-A/NK (b) plots for Dashuigou tonalite

用^[35-40]。并且,现有证据来看在东昆仑范围内金成矿与俯冲作用有重要关系。因为断离的俯冲板片容易与幔源岩石发生水岩反应,形成幔源C-H-O流体。板片断离作用会导致软流圈物质上涌,对岩石圈地幔进行热侵蚀改造,地幔部分熔融形成镁铁质岩浆对地壳进行底侵,随着俯冲作用的持续,造成弧后盆地向伸展环境转变,促进了幔源C-H-O流体上涌,这一点可以从白日其利248 Ma辉长岩得到很好证明,即俯冲过程中存在有利于深源岩浆上升的通道^[41]。当幔源流体运移至上地幔源区,萃取金等成矿物质,含金的幔源C-H-O流体沿断裂向

地壳运移,并在构造适合部位沉淀形成金矿。

4.2 英云闪长岩形成时代及成矿作用

东昆仑构造带印支期岩浆活动剧烈,并伴随有大规模的成矿作用,该期构造-岩浆-成矿作用使先期形成的矿产活化、迁移并重新就位,是该区域的主要成矿期^[19]。近年来,随着地质调查及科研工作不断深入,发现一大批与金矿形成有密切关系的印支期中酸性岩体。如前人在阿斯哈金矿获得闪长岩的锆石U-Pb年龄为(244±2)Ma^[11]、石英闪长岩的成岩年龄为(238±2)Ma^[12],在五龙沟金矿床获得花岗闪长岩的年龄为(243±2)Ma(待发数据),在哈西

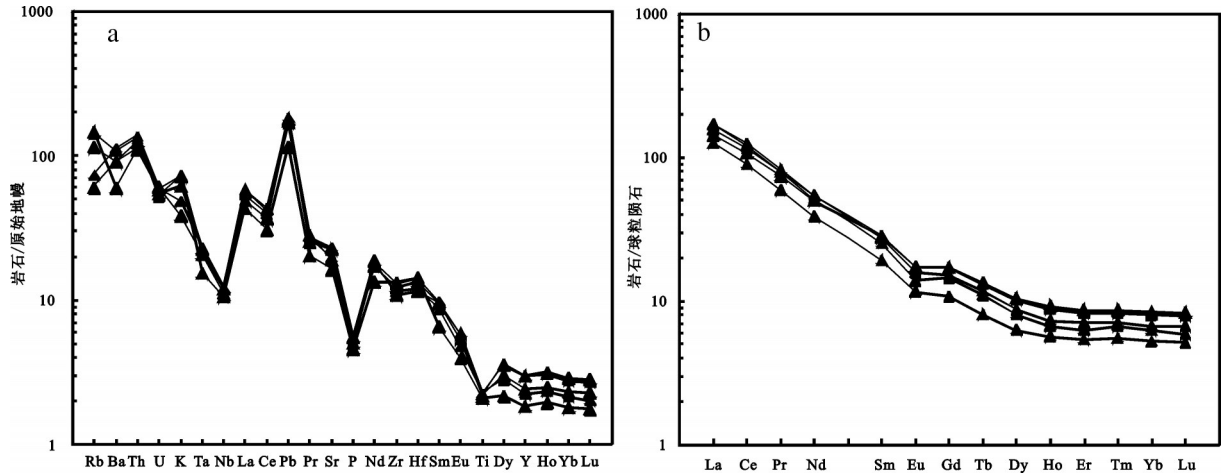


图7 大水沟英云闪长岩的微量元素原始地幔标准化蛛网图(a)及稀土元素球粒陨石标准化配分曲线图(b)(标准化数值据文献[25])
Fig. 7 Primitive mantle-normalized trace element patterns (a) and chondrite-normalized REE patterns (b) for Dashuigou tonalite

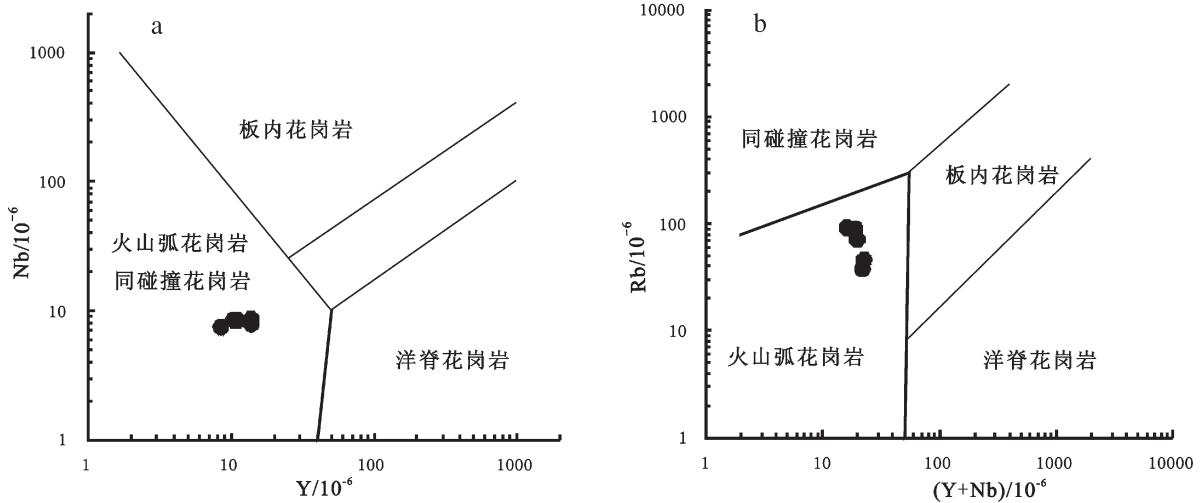


图8 大水沟英云闪长岩构造环境判别图解^[30]
a—Y-Nb判别图; b—(Y+Nb)-Rb判别图
Fig. 8 Tectonic discrimination diagram for Dashuigou tonalite
a—Y-Nb discrimination diagram; b—(Y+Nb)-Rb discrimination diagram

亚图金多金属矿获得石英闪长岩的锆石U-Pb年龄为(246.8±1.8)Ma^[42],获得五龙沟矿化闪长玢岩的全岩Rb-Sr年龄为(209.09±22.73)Ma,获得矿石的方铅矿铅同位素模式年龄为210 Ma^[8];同时前人在该区也获得金矿的成矿年龄,如前人在五龙沟3个矿区的锆石和磷灰石进行裂变分析:实测锆石裂变径迹为(197~235)Ma,实测磷灰石年龄为200 Ma,磷灰石校正年龄为244 Ma^[5];在五龙沟金矿矿石的绢云母Ar-Ar年龄为(236.5±0.5)Ma^[4];在果洛龙洼金矿石中白云母Ar-Ar年龄为(202.7±1.5)Ma^[15]。通过以上事实说明,东昆仑确实存在与金矿形成有关

系的印支期中酸性岩体、金矿主要为构造-岩浆活动控矿、成矿主要发生在断裂交汇部位、金矿成矿时期为印支期—燕山期。本次在大水沟金矿获得与金矿形成有密切关系的英云闪长岩锆石U-Pb年龄为(239.5±0.9)Ma,表明该岩体形成于印支期,这不仅显示大水沟金矿床在印支期发生强烈的花岗岩侵入作用,而且还产生强烈的金多金属矿化;本次研究与前人结果吻合。

5 结论

(1) 岩石地球化学研究表明:英云闪长岩为钙碱

性系列岩石;轻稀土富集,轻重稀土分馏明显,具弱的负铕异常(δEu 为0.70~0.78),岩体明显富集大离子亲石元素(Rb、K)、活泼的不相容元素Th、轻稀土元素和Pb,相对亏损高场强元素(Nb、Ta、P、Ti);Rb/Sr、Nb/Ta等特征反映岩石具有壳幔混合岩浆的特点。

(2)根据英云闪长岩地球化学特征,结合东昆仑地区已有的年代学资料、地球化学特征和区域地质构造演化分析,认为英云闪长岩形成于俯冲碰撞阶段晚期,俯冲作用促进了幔源流体的运移,在构造有利部位沉淀形成金矿。

(3)本文首次获得与金矿形成有密切关系的英云闪长岩 LA-MC-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄为(239.5±0.9)Ma,形成于中三叠世,为印支期岩浆活动的产物。结合区域目前已有的研究资料,认为本区印支期发生的强烈的中酸性岩浆活动与金矿床的形成有密切关系。在东昆仑地区中酸性岩体发育地段,同时套合有较好的金异常及破碎蚀变的地段都有较好的金矿找矿前景,应引起足够的重视。

致谢:笔者在野外工作期间,得到青海核工业局领导及技术员等大力支持;天津地质矿产研究所同位素实验室耿建珍高级工程师在测试和数据处理过程中给予了有益的帮助;研究过程中西安地质调查中心张照伟博士、高永宝博士、钱兵助理研究员等提出很好建议;在此表示衷心感谢。

参考文献(References):

- [1]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).
- [2]丰成友,张德全,王富春,等. 青海东昆仑复合造山过程及典型造山型金矿地质特征[J]. 地球学报, 2004, 25(4): 415-422.
Feng Chengyou, Zhang Dequan, Wang Fuchun, et al. Multiple orogenic process and geological characteristics of the major orogenic process and deposits[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2004, 25(4): 415-422(in Chinese with English abstract).
- [3]寇林林,罗明非,钟康惠,等. 青海五龙沟金矿集区 I 号韧性剪切带 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及地质意义[J]. 新疆地质, 2010, 28(3): 330-333.
Kou Linlin, Luo Mingfei, Zhong Kanghui, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the gold-bearing shear zone on the gold-ore collected belt of the Wulonggou, Qinghai, and its significance[J]. Xinjiang Geology, 2010, 28(3): 330-333(in Chinese with English abstract).
- [4]张德全,党兴彦,余宏全,等. 柴北缘—东昆仑地区造山型金矿床 Ar-Ar 测年及其地质意义[J]. 矿床地质, 2005, 27(4): 87-98.
Zhang Dequan, Dang Xingyan, She Hongquan, et al. Ar-Ar dating of orogenic gold deposits in northern margin of Qaidam and East Kunlun mountains and its geological significance[J]. Mineral Deposits, 2005, 27(4): 87-98(in Chinese with English abstract).
- [5]袁万明,王世成,王兰芬. 东昆仑五龙沟金矿床成矿热历史的裂变径迹热年代学证据[J]. 地球学报, 2000, 21(4): 389-395.
Yuan Wanming, Wang Shicheng, Wang Lanfen. Metallogenic thermal history of the Wulonggou gold deposits in East Kunlun Mountains in the Light of fission track thermochronology [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2000, 21(4): 389-395(in Chinese with English abstract).
- [6]邹长毅,史长义. 五龙沟金矿区域地球化学异常特征及找矿标志[J]. 中国地质, 2004, 31(4): 420-423.
Zou Changyi, Shi Changyi. Characteristics of regional geochemical anomalies and ore indications in the Wulonggou gold deposit[J]. Geology in China, 2004, 31(4): 420-423(in Chinese with English abstract).
- [7]李厚民,沈远超,胡正国,等. 青海东昆仑五龙沟金矿床成矿条件及成矿机理[J]. 地质与勘探, 2001, 27(1): 65-69.
Li Houmin, Shen Yuanchao, Hu Zhengguo, et al. Minerogenetic mechanism and condition of Wulonggou gold deposit in East Kunlun Mountains, Qinghai Province[J]. Geology and Prospecting, 2001, 27(1): 65-69(in Chinese with English abstract).
- [8]钱壮志,李厚民,胡正国,等. 东昆仑中带闪长玢岩脉与金矿成矿关系——以石灰沟金矿床为例[J]. 西安工程学院学报, 1999, 21(1): 1-4.
Qian Zhuangzhi, Li Houmin, Hu Zhengguo, et al. The relationship between the dioritic porphyrydikes and the gold mineralization in the middle belt of East Kunlun mountains [J]. Journal of Xi'an Engineering University, 1999, 21(1): 1-4(in Chinese with English abstract).
- [9]钱壮志,李厚民,胡正国. 青海五龙沟地区金矿控矿构造研究[J]. 西安地质学院学报, 1997, 19(增刊): 27-32.
Qian Zhuangzhi, Li Houmin, Hu Zhengguo. Study of structures controlling gold deposits in Wulonggou areas, Qinghai Province[J]. Journal of Xi'an College of Geology, 1997, 19(Sup.): 27-32(in Chinese with English abstract).
- [10]李碧乐,沈鑫,陈广俊,等. 青海东昆仑阿斯哈金矿 I 号脉成矿流体地球化学特征和矿床成因[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(6): 1676-1687.
Li Bile, Shen Xin, Chen Guangjun, et al. Geochemical features of ore-forming fluids and metallogenesis of vein I in Asihah gold ore deposits, East Kunlun, Qinghai Province[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2012, 42(6): 1676-1687(in Chinese with English abstract).
- [11]李碧乐,孙丰月,于晓飞,等. 东昆仑隆起带东段闪长岩 U-Pb 年代学和岩石地球化学研究[J]. 岩石学报, 2012, 28(4): 1163-1172.

- Li Bile, Sun Fengyue, Yu Xiaofei, et al. U-Pb dating and geochemistry of diorite in the eastern section from eastern Kunlun middle uplifted basement and granitic belt [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(4): 1163-1172 (in Chinese with English abstract).
- [12] 李金超, 贾群子, 孔会磊, 等. 东昆仑东段阿斯哈矿床石英闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2014, 44(4): 1188-1199.
- Li Jinchao, Jia Qunzi, Kong Huilei, et al. Geochemical characteristics of Asaha quartz diorite in east segment of the eastern Kunlun and their geological implications [J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 2014, 44(4): 1188-1199 (in Chinese with English abstract).
- [13] 胡荣国, 赖健清, 张绍宁, 等. 青海省都兰县果洛龙洼金矿床地质地球化学特征[J]. *地质与勘探*, 2010, 46(5): 931-941.
- Hu Rongguo, Lai Jianqing, Zhang Shaoning, et al. Geological and geochemical characteristics of the Guoluolongwa gold deposit, Dulan County, Qinghai Province[J]. *Geology and Exploration*, 2010, 46(5): 931-941 (in Chinese with English abstract).
- [14] 丁清峰, 金圣凯, 王冠, 等. 青海省都兰县果洛龙洼金矿成矿流体[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2013, 43(2): 415-426.
- Ding Qingfeng, Jin Shengkai, Wang Guan, et al. Ore-forming fluid of the Guoluolongwa gold deposit in Dulan County, Qinghai Province [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2013, 43(2): 415-426 (in Chinese with English abstract).
- [15] 肖晔, 丰成友, 李大新, 等. 青海省果洛龙洼金矿区年代学研究及流体包裹体特征[J]. *地质学报*, 2014, 88(5): 897-902.
- Xiao Ye, Feng Chengyou, Li Daxin, et al. Chronology and fluid inclusions of the Guoluolongwa gold deposit in Qinghai Province[J]. *Acta Geological Sinica*, 2014, 88(5): 897-902 (in Chinese with English abstract).
- [15] 刘会文, 雷延军, 韩德义, 等. 青海大水沟金矿地质特征及找矿前景分析[J]. *黄金科学技术*, 2014, 22(5): 51-58.
- Liu Huiwen, Lei Yanjun, Han Deyi, et al. Geological characteristics and prospecting potential of Dashuigou gold deposits in Qinghai Province [J]. *Gold Science and Technology*, 2014, 22(5): 51-58 (in Chinese with English abstract).
- [17] 雷延军, 韩德义, 石毅, 等. 大水沟地区金多金属矿成矿地质背景及找矿远景分析[J]. *青海大学学报(自然科学版)*, 2014, 32(1): 37-41.
- Lei Yanjun, Han Deyi, Shi Yi, et al. Prospect analysis of geological background of gold and polymetallic ore at Dashuigou region[J]. *Journal of Qinghai University (Natural Science Edition)*, 2014, 32(1): 37-41 (in Chinese with English abstract).
- [18] 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).
- [19] 杜玉良, 贾群子, 韩生福. 青海东昆仑成矿带中生代构造—岩浆—成矿作用及铜金多金属找矿研究[J]. *西北地质*, 2012, 45(4): 69-75.
- Du Yuliang, Jia Qunzi, Han Shengfu. Mesozoic tectono-magmatic-mineralization and copper-gold polymetallic ore prospecting research in East Kunlun metallogenic belt in Qinghai[J]. *Northwestern Geology*, 2012, 45(4): 69-75 (in Chinese with English abstract).
- [20] 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): 77.
- Li Huaikun, Geng Jianzhen, Hao Shuang, et al. Study of U-Pb isotopic age study by LA-MC-ICPMS[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2009, 29(Supp.): 77 (in Chinese with English abstract).
- [21] 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.
- [22] Middlemost E A K. *Magma and Magmatic Rocks* [M]. London: Longman, 1985.
- [23] Mania P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1989, 101: 635-643.
- [24] 赵伦山, 张本仁. *地球化学*[M]. 北京: 地质出版社, 1998: 31-33.
- Zhao Lunshan, Zhang Benren. *Geochemistry*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998: 31-33 (in Chinese).
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] Taylor S R, McLennan S M. The geochemical evolution of the continental crust [J]. *Reviews of Geophysics*, 1995, 33(2): 241-165.
- [28] 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.
- [29] 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.
- Liu Chengdong, Mo Xuanxue, Luo Zhaohua, et al. Mixing events between the crust and mantle-derived magmas in Eastern Kunlun: Evidence from Zircon SHRIMP chronology [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(6): 596-602 (in Chinese).
- [30] Pearce J A. Source and settings of granitic rocks[J]. *Episodes*, 1996, 19: 120-125.
- [31] 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).
- [32] 郭正府, 邓晋福, 许志琴, 等. 青藏东昆仑晚古生代末—中生代中酸性火山岩与陆内造山过程[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).
- [33] 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, 2000:1–54.
- Jiang Chunfa, Wang Zongqi, Li Jinyi, et al. Opening–closing Tectonics of the Central Orogenic Belt [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000: 1–54(in Chinese).
- [34] 杨经绥, 许志琴, 李海兵, 等. 东昆仑阿尼玛卿地区古特提斯火山作用和板块构造体系[J]. *岩石矿物学杂志*, 2005, 24(5): 369–379.
- Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Li Haibing, et al. The paleo–thethyan volcanism and plate tectonic regime in the Animaqing region of East Kunlun, Northern Tibet Plateau[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2005, 24(5): 369–379(in Chinese with English abstract).
- [35] 湛宏伟, 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).
- [36] 刘成东, 张文秦, 莫宣学, 等. 东昆仑约格鲁岩体暗色微粒包体特征及成因[J]. *地质通报*, 2002, 21(11): 739–744.
- Liu Chengdong, Zhang Wenqin, Mo Xuanxue, et al. Features and origin of mafic microgranular enclaves in the Yuegelu granite in the Eastern Kunlun[J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(11): 739–744(in Chinese with English abstract).
- [37] 王德滋, 谢磊. 岩浆混合作用: 来自岩石包体的证据[J]. *高校地质学报*, 2008, 14(1):16–21.
- Wang Dezi, Xie Lei. Magma mingling: Evidence from Enclaves[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2008,14 (1): 16–21(in Chinese with English abstract).
- [38] 南卡俄吾, 贾群子, 李文渊, 等. 青海省火成岩同位素地质年代学与构造岩浆热事件对比研究[J]. *西北地质*, 2014: 47(2), 51–61.
- Namkha Norbu, Jia Qunzi, Li Wenyuan, et al. A comparative study on isotopic geochronology and tectonic–magmatic hydrothermal events of igneous rock in Qinghai Province[J]. *Northwestern Geology*, 2014: 47 (2), 51–61, (in Chinese with English abstract).
- [39] 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岩闪长岩体为例[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 Helegangxilike granodiorites[J]. *Geology in China*, 2013, 40 (4): 1044–1065(in Chinese with English abstract).
- [40] 王富春, 陈静, 谢志勇, 等. 东昆仑拉陵灶火铂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).
- [41] 熊富浩, 马昌前, 张金阳, 等. 东昆仑造山带白日其利辉长岩体 LA–ICP–MS 锆石 U–Pb 年龄及地质意义[J]. *地质通报*, 2011, 30(8): 1196–1202.
- Xiong Fuhao, Ma Changqian, Zhang Jinyang, et al. Zircon LA–ICP–MS U–Pb dating of Bairiqili gabbro pluton in East Kunlun orogenic belt and its geological significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30 (8): 1196–1202(in Chinese with English abstract).
- [42] 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).