

https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.582



青海省格尔木市西山铜多金属矿成矿岩体锆石 U-Pb 定年及地球化学特征

张雨莲¹, 栗亚芝¹, 贾群子¹, 孔会磊¹, 武明德², 南卡俄吾³

1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西西安 710054

2. 青海省环境地质勘查局, 青海西宁 810007

3. 陕西省土地工程建设集团, 陕西西安 710075

摘要: 格尔木西山铜多金属矿的成矿岩体为似斑状二长花岗岩, 位于昆中断裂与昆北断裂之间的秦祁昆晚加里东造山系内, 其理论研究工作十分薄弱。以岩石地球化学、同位素年代学为手段进行研究, 表明岩体属于高钾钙碱性系列过铝质花岗岩类。稀土、微量元素特征为轻稀土富集型, 右倾式, 具强负铕异常, 富集大离子亲石元素(Th、U、K), 明显亏损高场强元素(如 P、Ti), 相对于 Rb 和 Th 明显亏损 Ba。岩浆为地壳来源, 具弱分离结晶花岗岩特征。在似斑状二长花岗岩中获得岩浆锆石 LA-ICP-MS U-Pb 加权平均年龄(267.5±3.4 Ma)与谐和年龄(267.0±2.9 Ma)的数据, 表明岩体形成于中二叠世的同时, 也约束了成矿作用的下限。矿床类型应为与花岗质岩浆活动有关的构造热液型多金属矿。

关键词: 地球化学; 锆石 U-Pb 定年; 似斑状二长花岗岩; 格尔木西山; 东昆仑。

中图分类号: P597

文章编号: 1000-2383(2018)12-4364-11

收稿日期: 2018-03-05

Origin of Magmatic Rocks from Xishan Copper Polymetallic Deposit, Geermu City, Qinghai Province: Insights from Zircon U-Pb Dating and Geochemical Characteristics

Zhang Yulian¹, Li Yazhi¹, Jia Qunzi¹, Kong Huilei¹, Wu Mingde², Nanka Ewu³

1. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, China

2. Environmental Geological Exploration Bureau of Qinghai Province, Xining 810007, China

3. Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group, Xi'an 710075, China

Abstract: The magmatic rock of porphyroid monzonitic granite of Xishan copper polymetallic deposit, Geermu City, is located in the Late Caledonian Qinling-Qilian-Kulun orogen between the Central and North Kunlun fault, and the research work is still very poor. Based on the rock geochemistry and isotope chronology, this paper shows that the magmatic rocks belong to high potassium calc-alkaline series and peraluminous granites. The chondrite-normalized rare earth element (REE) distribution patterns of the magmatic rocks are enriched in the light REE (LREE) and display strong negative Eu anomalies. The magmatic rocks are enriched in large ion lithophile elements (Th, U, K), while depleted in high field strength elements (e.g., P, Ti) and in Ba relative to Rb and Th. The magma is the source of the crust and has the characteristics of weakly separated crystalline granite. The U-Pb weighted age (average 267.5±3.4 Ma) and concordant age (267.0±2.9 Ma) acquired in zircon from porphyritic monzonitic granite show that the rock mass formed in middle Permian, which thus constrained the lower limit of mineralization. The origin of the deposit should be polymetallic tectonic hydrothermal type, which was related to granitic magmatism.

Key words: geochemistry; zircon U-Pb dating; porphyroid monzonitic granite; Xishan area of Geermu City; East Kunlun.

基金项目: 中国地质调查局项目(Nos. DD20160367, DD20160013).

作者简介: 张雨莲(1984-), 女, 工程师, 硕士, 主要从事区域成矿及成矿规律研究工作. ORCID: 0000-0003-0781-2303. E-mail: 178954345@qq.com

引用格式: 张雨莲, 栗亚芝, 贾群子, 等, 2018. 青海省格尔木市西山铜多金属矿成矿岩体锆石 U-Pb 定年及地球化学特征. 地球科学, 43(12): 4364-4374.

0 引言

东昆仑造山带位于青藏高原北部和中央造山系西段,东昆仑造山带出露巨量的花岗质岩浆岩,记录着东昆仑地区原特提斯洋和古特提斯洋的洋壳俯冲、陆陆(弧)碰撞和后碰撞等构造事件。

东昆仑地区在早古生代昆中洋盆闭合以后,成为古特提斯洋北部活动性大陆边缘,巴颜喀拉—阿尼玛卿洋自早二叠世开始向东昆仑地区俯冲,直到二叠纪—三叠纪之交大洋完全闭合;在挤压应力场的持续作用下,形成一系列的花岗岩(古风宝,1994;罗照华等,1999,2002;袁万明等,2000;莫宣学等,2007;宋忠宝等,2013;许庆林等,2014)。

近年来在东昆仑地区发现了一系列与这些花岗岩有关的铜、铅、锌、铁、钨多金属矿床(点)(刘云华等,2006;余宏全等,2007;丰成友等,2009,2011,2012;王松等,2009;宋忠宝等,2010,2013;许庆林等,2014;张炜等,2016),这些成矿花岗岩锆石年龄以及矿体的辉钼矿 Re-Os 年龄主要集中在三叠纪。但有成岩年龄的最新发现表明,该区也存在着中晚二叠世的中酸性花岗岩侵入体,比如东昆仑中灶火(朱云海等,2012. 青海 1:5 万中灶火地区四幅区调成果报告)、格尔木西山低山头(邓红宾,2016. 青海省格尔木市河西地区 1:5 万五幅区域地质矿产调查报告)、五龙沟(罗明非等,2015)地区等,本文提

供了格尔木西山地区中二叠世似斑状二长花岗岩的岩石学、全岩主微量和锆石定年数据。

格尔木西山铜多金属矿床是青海省环境地质勘查局近年来在东昆仑东段的昆中断裂与昆北断裂之间新发现的一处矿床,位于青海省格尔木青藏公路西侧 30 km 处,北距格尔木 65 km,最初其成因被认为是斑岩型矿床。与成矿有关的似斑状二长花岗岩时代在已有的地质图上被定为三叠纪,本次研究获得锆石 U-Pb 定年为中二叠世,研究区以往未开展过异常查证及矿产调查等地质工作,总体工作程度低,资源潜力不明,到目前为止缺乏对成矿斑岩的形成时代、地球化学属性、成因、地球动力学背景的研究,因此,本文重点对西山铜多金属矿的成矿岩体进行地球化学、年代学研究,对成矿岩体的成因及其地球动力学背景等进行初步探讨,以期为本地区的研究工作提供资料。

1 地质背景

西山地区大地构造位置处于昆中断裂与昆北断裂之间,位于秦祁昆晚加里东造山系的东昆仑造山带伯喀里克—香日德古元古宙陆块中,昆中断裂从研究区南部通过,区内出露大面积岩浆岩,区域构造线呈北西—近东西向展布(图 1)。

该区出露地层主要有晚泥盆世牦牛山组(D₃m)

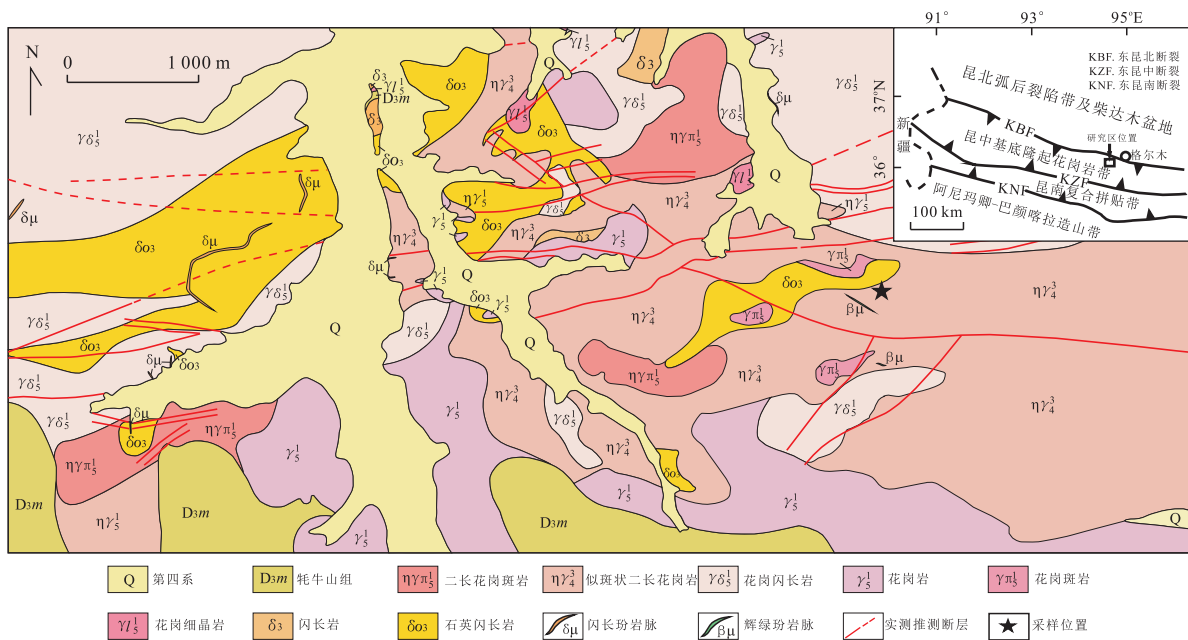


图 1 青海省格尔木市西山地区地质图

Fig.1 Geological sketch of Xishan area of Geermu City, Qinghai Province

和早石炭世大干沟组(C_1dg)。

牦牛山组(D_3m)分布在研究区中东部及南部,区内仅出露火山岩段,岩性为灰紫—紫红色安山岩、玄武安山角砾岩、安山集块岩、安山凝灰岩夹砂岩、板岩、凝灰岩等。

大干沟组(C_1dg)分布于研究区东北部,岩性为灰—深灰色白云质粘板岩、钙质砂岩、粉砂岩、结晶灰岩、白云质灰岩等。

区内岩浆活动较强烈,在空间上呈带状分布,明显受构造控制;时间上具有多期性,从早古生代开始,到三叠纪都有活动;岩性复杂,从基性到酸性均有出露,以酸性为主。加里东期侵入岩岩石类型主要有石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩等。印支期侵入岩岩石类型主要有中细粒黑云母花岗闪长岩、似斑状黑云母花岗闪长岩、中细粒似斑状二长花岗岩等。青海省环境地质勘查局在做西山地区铁多金属矿评价项目时对区内出露的岩浆岩重新进行厘定,发现了斑岩类岩体,其主要岩性为花岗斑岩、二长花岗斑岩、石英二长斑岩、似斑状二长花岗岩等,该类岩石普遍具褐铁矿化、硅化、高岭土化、绢云母化,岩石多含黄铁矿,已发现的部分矿化产于该类岩石中。

区域上断裂构造十分发育,按其展布方向可分为东西向、北西西向、北东向三组,其中东西向一组最发育,部分断裂明显控制地层的分布,是区内次级构造单元的边界断裂。通过青海省环境地质勘查局地质草测发现区内主要发育两组断裂构造,一组为近东西至北西西向断裂,一组为北东东至北东向断裂,两组断裂交互发育,组成了本区构造格架。两组断裂均与矿化有密切关系。

2 矿床地质特征

铜铅锌多金属矿化体主要赋存于似斑状二长花岗岩体内部构造破碎带中,目前通过浅部工程共圈定了 10 条矿体、9 条矿化体。矿体呈透镜状产出,最大的矿体长 320 m,真厚度为 4.57 m。矿化体宽度为 0.5~12 m,长度为 200~800 m,少数大于 1 000 m,走向近北东向,倾向近直立。围岩为似斑状二长花岗岩、中细粒斑状二长花岗岩、花岗斑岩。矿化蚀变带中岩石较为破碎,风化面为土黄色、灰黑色,新鲜面为灰白色、斑杂色,块状、构造角砾状。主要蚀变为硅化、黄铁矿化、褐铁矿化、高岭土化、黄钾铁矾化及黑色的锰铅锌矿化。金属矿物主要为黄铁矿、黄铜矿、

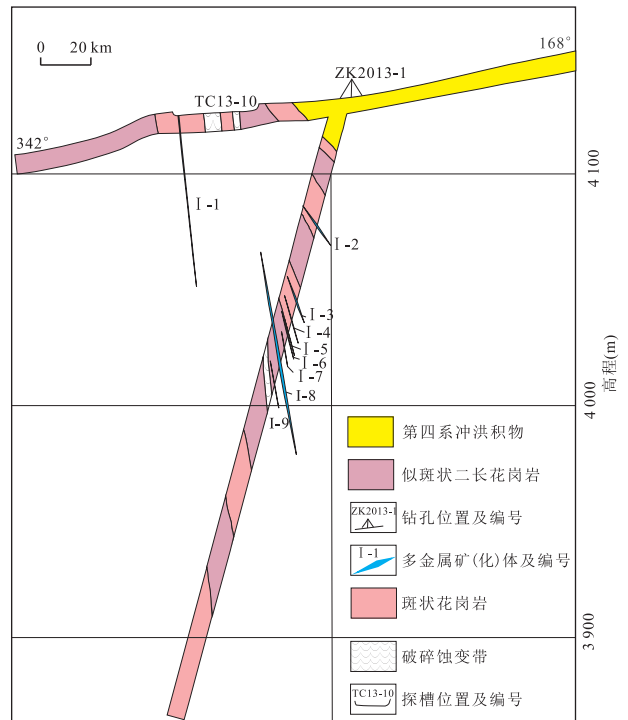


图 2 格尔木西山地区钻孔剖面

Fig.2 The drill sectional view of Xishan area of Geermu City

闪锌矿、方铅矿、辉钼矿和褐铁矿。路线剖面中测得两条构造蚀变带的产状分别为 $331^\circ \angle 85^\circ$ 、 $153^\circ \angle 72^\circ$,均为北东走向,倾角较直立。矿化带、矿化体受近东西向和近北东向断裂构造控制(图 2)。

矿石矿物主要有方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、磁黄铁矿、黄铁矿,少见辉钼矿。脉石矿物有长石、石英、角闪石、黑云母、绿帘石、方解石、绿泥石等。

3 样品特征及分析方法

3.1 样品采集和岩相学

野外系统采集了西山地区低山头西支沟中的似斑状二长花岗岩样品,采样位置见图 1,采样坐标为 $36^\circ 03' 57'' N$ 、 $94^\circ 35' 38'' E$ 。本文研究的似斑状二长花岗岩野外为岩基状产出,岩体表面风化强烈,呈球状风化,节理发育。风化面为灰色,新鲜面为灰白色—灰红色,岩石为块状构造,斑状结构,基质为细粒结构。斑晶由碱性长石、石英、少量黑云母组成。斜长石斑晶形态呈板状或粒状,粒径大小一般为 2~3 mm,晶体常有程度不同的绢云母化与绿帘石化。碱性长石斑晶为正长石或条纹长石,晶体呈粒状,粒径大小为 2~4 mm,黑云母斑晶呈板状,粒径小于 2 mm,已被白云母与铁质交代。基质由碱性长石、斜

长石、石英、黑云母、少量金属矿物组成。长英质矿物呈粒状,粒径大小一般为 0.3~2.0 mm,钾长石与石英常出现文象交生结构,少量金属矿物沿碎裂纹分布或充填岩石的细微裂隙。

3.2 主量和微量元素

为了保证样品分析数据的准确性,本文选择 5 件新鲜样品进行了岩石主量元素、微量元素和稀土元素分析,均无污染,粉碎至 200 目以下。主量、微量和稀土元素的测试在中国地质调查局西安地质调查中心实验测试中心完成。主量元素含量的分析采用 X 射线荧光光谱法(XRF):称取 0.5 g 样品,加入 5 g 混合溶剂(无水硼酸锂:无水偏硼酸锂:氟化锂=9:2:1),1 050 °C 高温熔融成玻璃片,于 XRF(荷兰 PANalytical,型号 Axios)上利用外标法测定各元素的氧化物含量,分析结果的相对误差一般小于 6%;FeO 含量通过化学方法测定,分析精度和准确度优于 2%。微量和稀土元素含量采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定:称取 50 mg 样品,加入亚沸蒸馏的氢氟酸和硝酸各 1.5 mL,采用封闭溶样的方式将样品制成溶液,于 ICP-MS(美国 Thermo,型号 X Series II)上进行测定,分析精度和准确度优于 10%。

3.3 锆石 U-Pb 定年

锆石的挑选在河北省区域地质矿产调查研究所实验室利用标准重矿物分离技术完成。锆石制靶、反射光、阴极发光照相在西北大学大陆动力学国家重点实验室进行。经过双目镜下仔细挑选表面平整光洁且具不同长宽比例、不同柱锥面特征、不同颜色的锆石颗粒,再将这些锆石粘在双面胶上,用无色透明环氧树脂固定,待环氧树脂固化之后对其表面抛光至锆石中心完全暴露,在原位分析之前,通过反射光和 CL 图像详细研究锆石的晶体形貌和内部结构特征,选择无明显裂痕及包裹体的锆石进行测年。

锆石微量元素含量和 U-Pb 同位素定年在中国地质调查局西安地质调查中心自然资源部岩浆作用

成矿与找矿重点实验室完成。激光剥蚀系统为 Geo-Las Pro, ICP-MS 为 Agilent 7700x。激光剥蚀过程中采用氦气作载气、氩气为补偿气以调节灵敏度,二者在进入 ICP 之前通过一个 T 型接头混合。每个时间分辨分析数据包括大约 10 s 的空白信号和 40 s 的样品信号。对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及 U-Th-Pb 同位素比值和年龄计算)采用软件 Glitter 4.4 (van Achterbergh *et al.*, 2001) 完成(李艳广等, 2015)。

U-Pb 同位素定年中采用锆石标准样品 91500 作外标进行同位素分馏校正。对于与分析时间有关的 U-Th-Pb 同位素比值漂移,利用 91500 的变化采用线性内插的方式进行了校正。锆石样品的 U-Pb 年龄谱和图绘制和年龄权重平均计算均采用 Isoplot (Ludwig, 2003) 完成。锆石微量元素含量利用参考标样 NIST610 玻璃作为外标、Si 作内标的方法进行定量计算。NIST610 玻璃中元素含量的推荐值据 GeoReM 数据库。

4 分析结果

4.1 主量元素

格尔木西山地区似斑状二长花岗岩体的主量元素含量分析结果如表 1。

似斑状二长花岗岩的 SiO₂ 含量变化范围为 76.29%~76.98%, 平均值为 76.69%; K₂O+Na₂O 含量为 6.96%~7.90%, 平均值为 7.63%; K₂O/Na₂O 比值为 1.25~1.41, 平均值为 1.32, 属于高钾钙碱性系列。Al₂O₃ 含量为 11.19%~12.37%, 平均值为 12.02%, 铝饱和指数 A/CNK 介于 0.90~1.07, 除样品 14XSH03 外均落入过铝质花岗岩区域(图 3b)。

4.2 稀土元素和微量元素特征

格尔木西山地区似斑状二长花岗岩体的微量及稀土元素含量分析结果如表 2。

表 1 西山地区似斑状二长花岗岩主量元素含量(%)

Table 1 Contents of major elements of porphyroid monzonitic granite from Xishan area(%)

样号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	灼失量	总计	K ₂ O/Na ₂ O	A/CNK
14XSH01	76.29	12.37	0.98	0.28	0.92	0.14	4.42	3.25	0.10	0.02	0.04	1.19	100.00	1.36	1.05
14XSH02	76.98	12.29	1.03	0.15	0.55	0.09	4.41	3.49	0.09	0.01	0.03	0.89	100.01	1.26	1.07
14XSH03	76.48	11.19	1.37	0.17	1.73	0.11	3.95	3.01	0.08	0.01	0.06	1.83	99.99	1.31	0.90
14XSH04	76.77	12.08	1.08	0.15	0.81	0.08	4.55	3.23	0.08	0.01	0.05	1.11	100.00	1.41	1.03
14XSH05	76.94	12.19	1.05	0.22	0.62	0.07	4.36	3.48	0.08	0.01	0.04	0.92	99.98	1.25	1.05

表 2 西山地区似斑状二长花岗岩微量和稀土元素含量(10^{-6})

Table 2 Contents of trace and rare earth elements of porphyroid monzonitic granite from Xishan area (10^{-6})

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho
14XSH01	23.8	52.7	6.78	25.8	5.82	0.34	5.86	0.97	6.13	1.26
14XSH02	28.2	64.3	7.80	28.9	6.12	0.26	6.13	1.02	6.46	1.40
14XSH03	29.1	64.6	8.27	30.8	6.55	0.32	6.55	1.08	6.80	1.48
14XSH04	28.6	64.8	8.06	30.3	6.18	0.31	5.80	0.93	5.76	1.19
14XSH05	30.5	69.0	8.53	31.8	6.43	0.26	6.18	1.01	6.60	1.45

样号	Er	Tm	Yb	Lu	Y	Σ REE	LREE/HREE	δ Eu	δ Ce	(La_N/Yb_N)
14XSH01	3.67	0.56	3.65	0.54	34.1	137.88	5.09	0.18	1.02	4.68
14XSH02	4.06	0.62	4.12	0.61	37.5	160.00	5.55	0.13	1.06	4.91
14XSH03	4.24	0.65	4.42	0.64	40.7	165.50	5.40	0.15	1.02	4.72
14XSH04	3.35	0.51	3.35	0.50	30.9	159.64	6.46	0.16	1.05	6.12
14XSH05	4.23	0.66	4.35	0.64	37.7	171.64	5.83	0.13	1.05	5.03

样号	Rb	Ba	Th	U	Ta	Nb	Sr	P	Zr	Hf
14XSH01	173.00	540.00	18.60	4.06	0.93	11.50	61.40	87.32	93.20	4.35
14XSH02	177.00	470.00	23.50	4.48	1.20	14.40	31.10	43.66	106.00	5.15
14XSH03	159.00	572.00	18.50	4.25	0.98	12.40	55.70	43.66	92.10	4.20
14XSH04	175.00	508.00	19.50	4.53	0.91	11.40	35.20	43.66	95.10	4.39
14XSH05	174.00	463.00	24.00	4.73	1.44	16.80	28.50	43.66	112.00	5.45

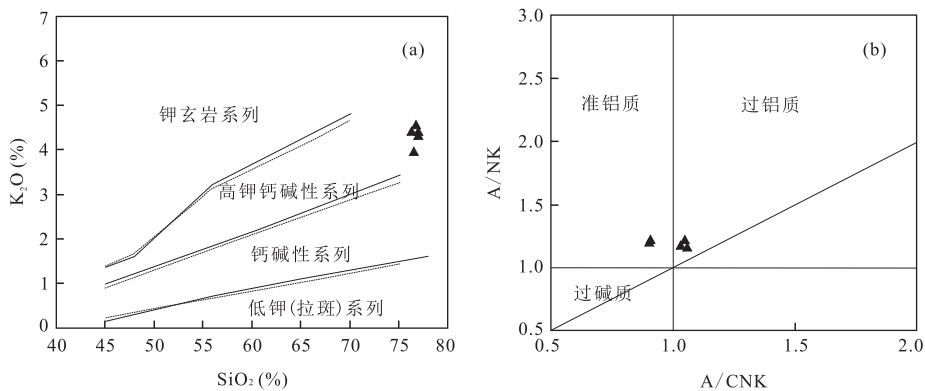


图 3 似斑状二长花岗岩的 SiO_2-K_2O (a)和 $A/CNK-A/NK$ 图解(b)

Fig.3 SiO_2-K_2O (a) and $A/CNK-A/NK$ (b) diagrams of porphyroid monzonitic granite

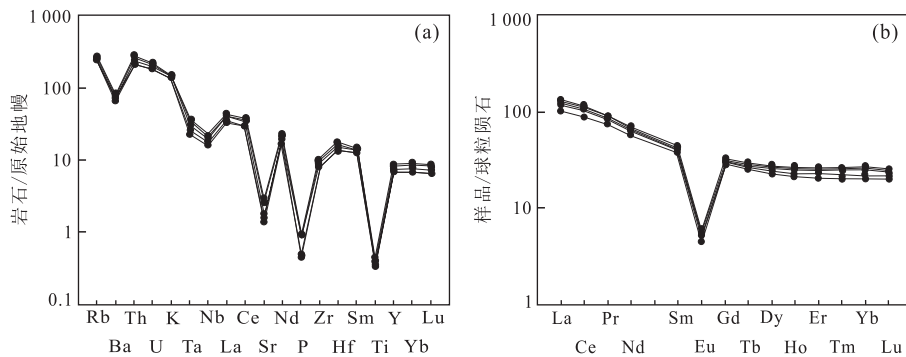


图 4 似斑状二长花岗岩微量元素原始地幔标准化蛛网图(a)和稀土元素球粒陨石标准化分布型式(b)

Fig.4 Primitive-mantle normalized spider diagram (a) and chondrite-normalized REE patterns (b) of porphyroid monzonitic granite

稀土总量 Σ REE 为 $137.88 \times 10^{-6} \sim 171.64 \times 10^{-6}$, LREE/HREE 为 $5.09 \sim 6.46$, $(La/Yb)_N$ 比值

为 $4.68 \sim 6.12$, δ Eu 为 $0.13 \sim 0.18$.

根据稀土和微量元素组成及其配分曲线分布型

表 3 似斑状二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石测年结果

Table 3 LA-ICP-MS isotopic data of zircon from porphyroid monzonitic granite

样品编号	元素含量(10^{-6})		同位素比值										同位素年龄(Ma)		
	^{232}Th	^{238}U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	
131XS01	208.60	431.51	0.05188	0.00131	0.29992	0.00911	0.04193	0.00116	280.1	56.73	266.3	7.12	264.8	7.18	
131XS02	227.09	462.84	0.05395	0.00169	0.31711	0.01102	0.04263	0.00123	368.9	68.90	279.7	8.50	269.1	7.61	
131XS03	333.28	486.43	0.05280	0.00157	0.30707	0.01033	0.04219	0.00120	320.1	66.36	271.9	8.03	266.4	7.44	
131XS04	57.44	154.05	0.05183	0.00178	0.30071	0.01118	0.04209	0.00123	277.7	76.58	267.0	8.73	265.8	7.61	
131XS05	182.27	370.66	0.05120	0.00133	0.29826	0.00923	0.04226	0.00117	249.9	58.81	265.0	7.22	266.8	7.25	
131XS06	83.28	228.95	0.05151	0.00149	0.30209	0.00999	0.04254	0.00120	263.9	65.08	268.0	7.79	268.6	7.42	
131XS07	215.61	301.14	0.05382	0.00176	0.31538	0.01128	0.04252	0.00124	363.3	71.99	278.3	8.71	268.4	7.66	
131XS08	224.99	384.52	0.05160	0.00130	0.30053	0.00911	0.04226	0.00117	267.8	56.95	266.8	7.11	266.8	7.23	
131XS09	244.12	354.72	0.05247	0.00144	0.31012	0.00988	0.04289	0.00120	305.8	61.16	274.3	7.66	270.7	7.43	
131XS10	153.85	304.64	0.05362	0.00163	0.31030	0.01055	0.04199	0.00120	355.1	67.15	274.4	8.17	265.2	7.44	
131XS11	145.92	424.36	0.05264	0.00188	0.30835	0.01172	0.04251	0.00126	313.5	79.10	272.9	9.10	268.4	7.81	
131XS12	501.89	544.31	0.05337	0.00130	0.30990	0.00920	0.04214	0.00116	344.4	54.44	274.1	7.13	266.1	7.18	
131XS13	103.90	292.55	0.05319	0.00158	0.30793	0.01031	0.04202	0.00120	336.8	66.00	272.6	8.00	265.3	7.40	
131XS14	181.29	320.34	0.05191	0.00144	0.30329	0.00974	0.04241	0.00119	281.3	62.41	269.0	7.59	267.8	7.36	
131XS15	228.50	462.06	0.05400	0.00132	0.31100	0.00922	0.04181	0.00115	370.7	54.41	275.0	7.14	264.0	7.12	
131XS16	434.82	562.34	0.05188	0.00134	0.30159	0.00922	0.04220	0.00117	280.3	57.96	267.6	7.19	266.5	7.24	
131XS17	327.60	544.79	0.05402	0.00185	0.31059	0.01142	0.04175	0.00123	371.6	75.01	274.6	8.85	263.7	7.60	
131XS18	450.16	562.76	0.05108	0.00121	0.29741	0.00868	0.04227	0.00116	244.5	53.88	264.4	6.79	266.9	7.16	
131XS19	101.41	169.90	0.05345	0.00191	0.31086	0.01182	0.04223	0.00125	347.9	78.67	274.9	9.16	266.6	7.75	
131XS20	467.42	567.96	0.05224	0.00128	0.30692	0.00911	0.04266	0.00117	295.7	55.07	271.8	7.08	269.3	7.26	
131XS21	290.25	467.84	0.05137	0.00126	0.30077	0.00893	0.04252	0.00117	257.2	55.43	267.0	6.97	268.4	7.23	
131XS22	190.03	357.58	0.05328	0.00184	0.31184	0.01156	0.04251	0.00125	340.6	76.29	275.6	8.95	268.3	7.74	
131XS23	388.80	563.21	0.04936	0.00131	0.29021	0.00905	0.04269	0.00118	165.2	61.00	258.7	7.12	269.5	7.32	
131XS24	160.36	348.87	0.05172	0.00138	0.30146	0.00938	0.04233	0.00118	273.2	59.81	267.5	7.32	267.2	7.28	
131XS25	66.14	221.35	0.05388	0.00162	0.31153	0.01047	0.04199	0.00120	366.1	66.15	275.4	8.11	265.2	7.39	

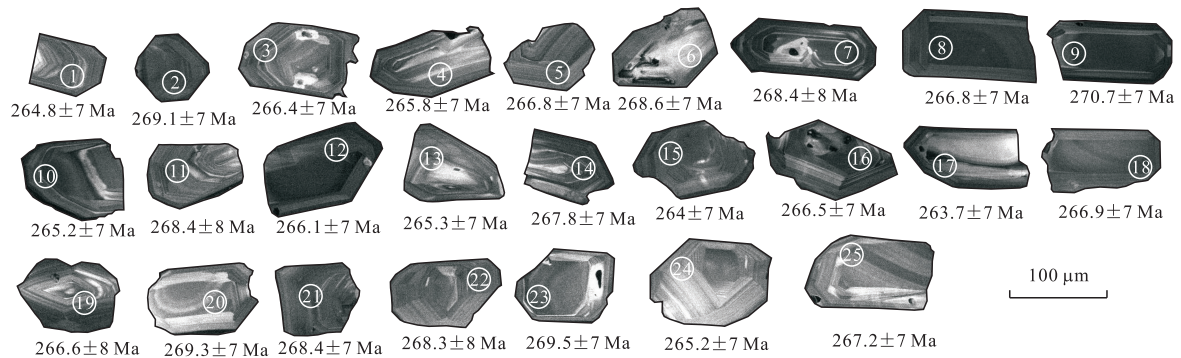


图 5 似斑状二长花岗岩锆石 CL 图像

Fig.5 Cathodoluminescence (CL) images of porphyroid monzonitic granite

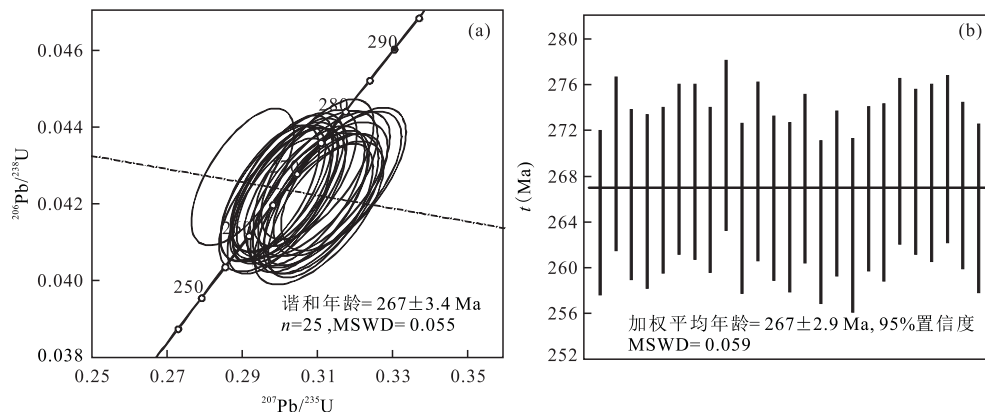


图 6 似斑状二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄谐和图(a)及加权平均年龄(b)

Fig.6 U-Pb concordia diagram (a) and weighted age (b) of zircons from porphyroid monzonitic granite

式(图 4)看,西山地区似斑状二长花岗岩表现为轻稀土富集型,右倾式,具强负铕异常。

在原始地幔标准化微量元素蛛网图上,富集大离子亲石元素(Th、U、K)和轻稀土元素,明显亏损高场强元素(如 P、Ti),相对于 Rb 和 Th 明显亏损 Ba。

4.3 锆石 U-Pb 定年

本次测定共获得 25 个有效数据点,锆石测年分析结果见表 3。CL 图像显示锆石呈现均一的或不规则的生长环带,边部具有窄的不规则生长边(图 5)。数据沿水平方向不同程度地偏离谐和线,这主要是由于锆石中 ^{207}Pb 丰度较低难以测准,又或者与普通铅的丢失有关。鉴于此, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄更能准确反映成岩年龄。 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄值为 263.7 ~ 270.7 Ma,变化幅度较小,具有非常好的表面一致年龄。其加权平均年龄值 (267 ± 2.9 Ma, $n = 25$, $\text{MSWD} = 0.059$) 与谐和年龄 (267 ± 3.4 Ma, $n = 25$, $\text{MSWD} = 0.055$) (图 6) 在误差范围内一致,可以准确代表岩体的形成年龄为中二叠世,这一年龄解释为该似斑状二长花岗岩的侵位年龄。

5 讨论

5.1 岩浆源区、岩石成因

岩石显示 Ta、Nb、Ti 具“TNT”负异常,有学者认为其主要显示俯冲带幔源岩石的成分特点(Sun and McDonough, 1989),有的学者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(McKenzie, 1989)。Rb/Sr 比值(2.82 ~ 6.11)远远高于上地幔值(0.034)(Taylor and McLennan, 1995),非常接近地壳值(5.36 ~ 6.55)(Rudnick and Fountain, 1995)。

研究表明 Nb 和 Ta 两种元素化学性质相似,因此, Nb/Ta 比值在岩浆分异中不会造成较大的分异,可以指示岩浆源区特征及演化过程(Green, 1995)。通常幔源岩浆的 Nb/Ta 比值为 17.5 ± 2 ,壳源岩浆的 Nb/Ta 比值为 11 ~ 12(Green, 1995),研究区 5 件样品 Nb/Ta 比值为 11.67 ~ 12.65,可以反映出岩浆的壳源特征。

岩石具高硅(76.29%~76.98%)、相对中等含量的 Al_2O_3 (11.19%~12.37%)、准铝质到过铝质等主量元素特征,富集大离子亲石元素(Th、U、K),明显亏损高场强元素(如 P、Ti),亦反映了地壳源区特征(陶刚等,2017)。

高分异花岗质岩浆在结晶分异过程中将导致 Cr、Ni、Co、Sr、Ba 和 Zr 等微量元素的显著降低(吴福元等,2017),以及 Li、Rb 和 Cs 等含量的显著增高(Gelman *et al.*, 2014; Lee and Morton, 2015)。稀土元素含量趋低、轻重稀土比值趋小和 Eu 负异常加大几乎是所有高分异花岗岩的特征(Miller and Mittlefehldt, 1982; Gelman *et al.*, 2014)。高分异形成的花岗质岩浆具有非常高的 Rb(约 700×10^{-6})和低的 Sr(小于 10×10^{-6})含量(McCarthy and Hastly, 1976), K/Rb 值小于 150(Dostal and Chatterjee, 1995)。西山地区似斑状二长花岗岩具有高 SiO_2 (76.29%~76.98%)、Rb($159 \times 10^{-6} \sim 177 \times 10^{-6}$)和低 Sr($28.5 \times 10^{-6} \sim 61.4 \times 10^{-6}$)特征,相对于 Rb 和 Th 明显亏损 Ba, K/Rb 值为 206.14~215.74,轻重稀土比值为 5.09~6.64,这些特征说明,西山似斑状二长花岗岩不是明显的高分异花岗岩,但强烈负 Eu 异常(Eu/Eu^* 为 0.13~0.18),说明该岩浆经历了较弱的分离结晶作用。

东昆仑地区在早二叠世—中三叠世时期,进入了一个洋—陆汇聚阶段,虽然在昆南—勉略洋盆于晚二叠世还是晚三叠世闭合,或者是东西两段闭合时间有差异的问题上,还存在争议,但基本可以肯定代表古特提斯洋俯冲的弧花岗岩主要形成于晚二叠世—中三叠世,晚二叠世—早三叠世属于洋壳俯冲消减阶段(潘彤等,2016)。因此,西山地区似斑状二长花岗岩可能形成于中二叠世洋—陆汇聚环境。

5.2 东昆仑中二叠世的岩浆与成矿作用

西山地区似斑状花岗闪长岩体的成岩年龄测试为 267 Ma,属于中二叠世似斑状二长花岗岩。

区域地质特征显示,东昆仑中二叠世侵入岩出露较少,该期岩体在空间上只分布在北昆仑岩浆岩带内,出露在中灶火沟一带,岩体平面形态呈不规则带状,以小岩株产出。通过东昆仑 1:5 万中灶火中游四幅区调工作,在中灶火沟一带的石英闪长岩中获得锆石 U-Pb 年龄为 269.2 ± 3.3 Ma,显示时代为中二叠世(朱云海等,2012。青海 1:5 万中灶火地区四幅区调成果报告)。

在 1:5 万低山头幅区调工作中,在东昆仑岩浆岩带北亚带发现了中二叠世浅灰色细—中粒花岗闪

长岩,出露面积约为 357.43 km^2 ,占图幅测区总面积 17.17%。在天台山花岗闪长岩中获得 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 262.7 ± 1.9 Ma,岩体侵入时代为晚石炭—中二叠世(邓红宾,2016。青海省格尔木市河西地区 1:5 万五幅区域地质矿产调查报告)。

罗明非等(2015)对五龙沟花岗闪长岩体的野外地质特征、岩石学、全岩主微量和 Sr-Nd 同位素地球化学进行了详细研究,得出岩体年龄为 260.1 ± 1.8 Ma,形成时代为晚二叠世初期。

区域地质研究表明在中晚二叠世之交,东昆仑柴达木地块南缘发生了陆缘弧、盆、系的汇聚事件,昆仑山及其以南地区普遍存在晚二叠世格曲组下伏地层的不整合和缺失茅口期化石的地质事实(陈守建等,2006;计文化等,2014),汇聚事件诱发了中二叠世的岩浆侵入与成矿作用。

关于格尔木西山地区铜多金属矿斑岩型矿床的成因还存在争议,矿体围岩以似斑状二长花岗岩为主,但矿化多分布在调查评价区中心断裂两侧,矿化与断裂构造关系密切,矿化体呈透镜状产出,矿石构造有稀疏浸染状构造和脉状构造。主要蚀变为硅化、黄铁矿化、褐铁矿化及高岭土化,围岩蚀变分带并不清楚。因此笔者初步认为,矿化与岩浆后期及其侵入期后的成矿热液关系密切,矿床类型应为与花岗斑岩岩浆活动有关的构造热液型多金属矿。

区内近东西向断裂形成于前印支期(古生代,加里东—海西期),在印支期晚期—早燕山期有一次复活,破坏了之前的岩浆岩,并产生了北东东向次级断裂,持续的含矿热液沿断裂、岩体节理裂隙贯入叠加成矿。矿化的极不均匀和中高、中低温元素的集中出现说明有多期含矿热液活动,只是从早到晚的成矿作用规模大小、强度有所不同,造成了矿种极不均匀。

6 结论

(1)格尔木西山地区成矿岩体似斑状二长花岗岩属于高钾钙碱性系列,过铝质花岗岩类,为轻稀土富集型,右倾式,具强负钨异常,富集大离子亲石元素(Th、U、K)和轻稀土元素,明显亏损高场强元素(如 P、Ti),相对于 Rb 和 Th 明显亏损 Ba,岩浆为地壳来源,具弱分离结晶花岗岩特征。

(2)似斑状二长花岗质岩浆锆石 LA-ICP-MS U-Pb 加权平均年龄值(267.5 ± 3.4 Ma)与谐和年龄(267.0 ± 2.9 Ma),不仅代表了岩体的形成年龄为中二叠世,也约束了与岩浆活动相关的含矿热液活动

下限。

(3) 格尔木西山岩体产于东昆仑岩浆弧带, 岩体成因与古特提斯洋俯冲作用相关, 属弧花岗岩, 也许与东昆仑地区中晚二叠世之交的东昆仑柴达木地块南缘陆缘弧盆系的汇聚事件有关。

(4) 格尔木西山铜多金属矿的矿床成因类型初步定为与岩浆活动有关的构造热液型。

致谢: 审稿人对本文初稿提出了宝贵的修改意见, 实验测试过程中得到西安地质调查中心自然资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室人员的悉心指导和帮助, 野外工作得到青海省环境地质勘查局人员的大力支持, 在此一并表示衷心的感谢。

References

- Chen, S. J., Li, R. S., Ji, W. H., et al., 2006. Study of the Late Maokouan (Permian) Hiatus in Northern Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Stratigraphy*, 30(3): 231—236 (in Chinese with English abstract).
- Dostal, J., Chatterjee, A. K., 1995. Origin of Topaz-Bearing and Related Peraluminous Granites of the Late Devonian Davis Lake Pluton, Nova Scotia, Canada; Crystal versus Fluid Fractionation. *Chemical Geology*, 123(1—4): 67—88. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(95\)00047-p](https://doi.org/10.1016/0009-2541(95)00047-p)
- Feng, C. Y., Li, D. S., Qu, W. J., et al., 2009. Re-Os Isotopic Dating of Molybdenite from the Suolajier Skarn-Type Copper-Molybdenum Deposit of Qimantage Mountain in Qinghai Province and Its Geological Significance. *Rock and Mineral Analysis*, 28(3): 223—227 (in Chinese with English abstract).
- Feng, C. Y., Wang, S., Li, G. C., et al., 2012. Middle to Late Triassic Granitoids in the Qimantage Area, Qinghai Province, China: Chronology, Geochemistry and Metallogenic Significances. *Acta Petrologica Sinica*, 28(2): 665—678 (in Chinese with English abstract).
- Feng, C. Y., Wang, X. P., Shu, X. F., et al., 2011. Isotopic Chronology of the Hutouya Skarn Lead-Zinc Polymetallic Ore District in Qimantage Area of Qinghai Province and Its Geological Significance. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 41(6): 1806—1817 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.13278/j.cnki.jjuese.2011.06.013>
- Gelman, S. E., Deering, C. D., Bachmann, O., et al., 2014. Identifying the Crystal Graveyards Remaining after Large Silicic Eruptions. *Earth and Planetary Science Letters*, 403: 299—306. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.07.005>
- Green, T. H., 1995. Significance of Nb/Ta as an Indicator of Geochemical Processes in the Crust-Mantle System. *Chemical Geology*, 120(3—4): 347—359. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00145-x](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00145-x)
- Gu, F. B., 1994. Geological Characteristics of East Kunlun and Tectonic Evolution in Late Palaeozoic-Mesozoic Era. *Qinghai Geology*, (1): 4—14 (in Chinese with English abstract).
- Ji, W. H., Chen, S. J., Li, R. S., et al., 2014. Characteristics of Paleozoic Tectonics and Evolution of Lithofacies and Palaeogeography of the Qinghai-Tibet Plateau and Its Adjacent Areas. China University of Geosciences Press, Wuhan, 302—305 (in Chinese).
- Lee, C. T. A., Morton, D. M., 2015. High Silica Granites: Terminal Porosity and Crystal Settling in Shallow Magma Chambers. *Earth and Planetary Science Letters*, 409: 23—31. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.10.040>
- Li, Y. G., Wang, S. S., Liu, M. B., et al., 2015. U-Pb Dating Study of Baddeleyite by LA-ICP-MS: Technique and Application. *Acta Geologica Sinica*, 89(12): 2400—2418 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y. H., Mo, X. X., Yu, X. H., et al., 2006. Zircon SHRIMP U-Pb Dating of the Jingren Granite, Yemaquan Region of the East Kunlun and Its Geological Significance. *Acta Petrologica Sinica*, 22(10): 2457—2463 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig, K. R., 2003. ISOPLLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Berkeley.
- Luo, M. F., Mo, X. X., Yu, X. H., et al., 2015. Zircon U-Pb Geochronology, Petrogenesis and Implication of the Later Permian Granodiorite from the Wulonggou Area in East Kunlun, Qinghai Province. *Earth Science Frontiers*, 22(5): 182—195 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.13745/j.esf.2015.05.015>
- Luo, Z. H., Deng, J. F., Cao, Y. Q., et al., 1999. On Late Paleozoic-Early Mesozoic Volcanism and Regional Tectonic Evolution of Eastern Kunlun, Qinghai Province. *Geoscience*, 13(1): 51—56 (in Chinese with English abstract).
- Luo, Z. H., Ke, S., Cao, Y. Q., et al., 2002. Late Indosinian Mantel-Derived Magmatism in the East Kunlun. *Geological Bulletin of China*, 21(6): 292—297 (in Chinese with English abstract).
- McCarthy, T. S., Hasty, R. A., 1976. Trace Element Distribution Patterns and Their Relationship to the Crystallization of Granitic Melts. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 40(11): 1351—1358. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(76\)90125-3](https://doi.org/10.1016/0016-7037(76)90125-3)
- McKenzie, D., 1989. Some Remarks on the Movement of Small Melt Fractions in the Mantle. *Earth and Planetary Science Letters*, 95(1—2): 53—72. <https://doi.org/>

10.1016/0012-821x(89)90167-2

- Miller, C. F., Mittlefehldt, D. W., 1982. Depletion of Light Rare-Earth Elements in Felsic Magmas. *Geology*, 10 (3): 129. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1982\)10<129:dolrei>2.0.co;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1982)10<129:dolrei>2.0.co;2)
- Mo, X. X., Luo, Z. H., Deng, J. F., et al., 2007. Granitoids and Crustal Growth in the East-Kunlun Orogenic Belt. *Geological Journal of China Universities*, 13(3): 403-414 (in Chinese with English abstract).
- Pan, T., Wang, B. Z., Li, D. S., et al., 2016. Metallogenic Environment and Regularity and Prospecting Direction of East Kunlun in Qinghai Province. Geological Publishing House, Beijing, 64 (in Chinese).
- Rudnick, R. L., Fountain, D. M., 1995. Nature and Composition of the Continental Crust: A Lower Crustal Perspective. *Reviews of Geophysics*, 33 (3): 267. <https://doi.org/10.1029/95rg01302>
- She, H. Q., Zhang, D. Q., Jing, X. Y., et al., 2007. Geological Characteristics and Genesis of the Ulan Uzhur Porphyry Copper Deposit in Qinghai. *Geology in China*, 34(2): 306-314 (in Chinese with English abstract).
- Song, Z. B., Jia, Q. Z., Zhang, Z. Y., et al., 2010. Study on Geological Feature and Origin of Yemaquan Fe-Cu Deposit in Qimantage Area, Eastern Kunlun. *Northwestern Geology*, 43(4): 209-217 (in Chinese with English abstract).
- Song, Z. B., Zhang, Y. L., Chen, X. Y., et al., 2013. Geochemical Characteristics of Harizha Granite Diorite-Porphyry in East Kunlun and Their Geological Implications. *Mineral Deposits*, 32(1): 157-168 (in Chinese with English abstract).
- Sun, S. S., McDonough, W. F., 1989. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42 (1): 313-345. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19>
- Tao, G., Zhu, L. D., Li, Z. W., et al., 2017. Petrogenesis and Geological Significance of the North Liuhuangkuang Granodiorite in the West Segment of the Qilian Terrane: Evidences from Geochronology, Geochemistry, and Hf Isotopes. *Earth Science*, 42(12): 2258-2275 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.614>
- Taylor, S. R., McLennan, S. M., 1995. The Geochemical Evolution of the Continental Crust. *Reviews of Geophysics*, 33(2): 241. <https://doi.org/10.1029/95rg00262>
- van Achterbergh, E., Ryan, C. G., Jackson, S. E., et al., 2001. Data Reduction Software for LA-ICP-MS. In: Sylvester, P., ed., *Laser Ablation-ICPMS in the Earth Sciences: Principles and Applications*. Mineralogical Association of Canada, Ottawa, 239-243.
- Wang, S., Feng, C. Y., Li, S. J., et al., 2009. Zircon SHRIMP U-Pb Dating of Granodiorite in the Kaerqueka Polymetallic Ore Deposit, Qimantage Mountain, Qinghai Province, and Its Geological Implications. *Geology in China*, 36(1): 74-84 (in Chinese with English abstract).
- Wu, F. Y., Liu, X. C., Ji, W. Q., et al., 2017. Highly Fractionated Granites: Recognition and Research. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 47(7): 745-765 (in Chinese).
- Xu, Q. L., Sun, F. Y., Li, B. L., et al., 2014. Geochronological Dating, Geochemical Characteristics and Tectonic Setting of the Granite-Porphyry in the Mohexiala Silver Polymetallic Deposit, Eastern Kunlun Orogenic Belt. *Geotectonica et Metallogenia*, 38(2): 421-433 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.16539/j.ddgzyckx.2014.02.020>
- Yuan, W. M., Mo, X. X., Yu, X. H., et al., 2000. The Record of Indosinian Tectonic Setting from the Granitoid of Eastern Kunlun Mountains. *Geological Review*, 46(2): 203-211 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.16509/j.georeview.2000.02.013>
- Zhang, W., Zhou, H. W., Zhu, Y. H., et al., 2016. The Evolution of Triassic Granites Associated with Mineralization within East Kunlun Orogenic Belt: Evidence from the Petrology, Geochemistry and Zircon U-Pb Geochronology of the Mohexiala Pluton. *Earth Science*, 41(8): 1334-1348 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2016.520>

附中文参考文献

- 陈守建, 李荣社, 计文化, 等, 2006. 青藏高原北部茅口晚期地层缺失研究. *地层学杂志*, 30(3): 231-236.
- 丰成友, 李东生, 屈文俊, 等, 2009. 青海祁漫塔格索拉吉尔砂卡岩型铜钨矿床辉钨矿铼-钨同位素定年及其地质意义. *岩矿测试*, 28(3): 223-227.
- 丰成友, 王松, 李国臣, 等, 2012. 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. *岩石学报*, 28(2): 665-678.
- 丰成友, 王雪萍, 舒晓峰, 等, 2011. 青海祁漫塔格虎头崖铅锌多金属矿区年代学研究及地质意义. *吉林大学学报(地球科学版)*, 41(6): 1806-1817.
- 古凤宝, 1994. 东昆仑地质特征及晚古生代-中生代构造演化. *青海地质*, (1): 4-14.
- 计文化, 陈守建, 李荣社, 等, 2014. 青藏高原及邻区古生代构造-岩相古地理综合研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 302-305.
- 李艳广, 汪双双, 刘民武, 等, 2015. 斜锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年方法及应用. *地质学报*, 89(12): 2400-2418.

- 刘云华,莫宣学,喻学惠,等,2006.东昆仑野马泉地区景忍花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义.岩石学报,22(10):2457-2463.
- 罗明非,莫宣学,喻学惠,等,2015.东昆仑五龙沟晚二叠世花岗岩闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年、岩石成因及意义.地学前缘,22(5):182-195.
- 罗照华,邓晋福,曹永清,等,1999.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.现代地质,13(1):51-56.
- 罗照华,柯珊,曹永清,等,2002.东昆仑印支晚期幔源岩浆活动.地质通报,21(6):292-297.
- 莫宣学,罗照华,邓晋福,等,2007.东昆仑造山带花岗岩及地壳生长.高校地质学报,13(3):403-414.
- 潘彤,王秉璋,李东生,等,2016.青海东昆仑成矿环境成矿规律与找矿方向.北京:地质出版社,64.
- 余宏全,张德全,景向阳,等,2007.青海省乌兰乌珠尔斑岩铜矿床地质特征与成因.中国地质,34(2):306-314.
- 宋忠宝,贾群子,张占玉,等,2010.东昆仑祁漫塔格地区野马泉铁铜矿床地质特征及成因探讨.西北地质,43(4):209-217.
- 宋忠宝,张雨莲,陈向阳,等,2013.东昆仑哈日扎含矿花岗岩闪长斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及地质意义.矿床地质,32(1):157-168.
- 陶刚,朱利东,李智武,等,2017.祁连地块西段硫磺矿北花岗岩闪长岩的岩石成因及其地质意义:年代学、地球化学及 Hf 同位素证据.地球科学,42(12):2258-2275.
- 王松,丰成友,李世金,等,2009.青海祁漫塔格卡尔却卡铜多金属矿区花岗岩闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年及其地质意义.中国地质,36(1):74-84.
- 吴福元,刘小驰,纪伟强,等,2017.高分异花岗岩的识别与研究.中国科学(D辑:地球科学),47(7):745-765.
- 许庆林,孙丰月,李碧乐,等,2014.东昆仑莫河下拉银多金属矿床花岗岩年代学、地球化学特征及其构造背景.大地构造与成矿学,38(2):421-433.
- 袁万明,莫宣学,喻学惠,等,2000.东昆仑印支期区域构造背景的花岗岩记录.地质论评,46(2):203-211.
- 张炜,周汉文,朱云海,等,2016.东昆仑与成矿有关的三叠纪花岗岩演化:基于莫河下拉岩体岩石学、地球化学和锆石 U-Pb 年代学的证据.地球科学,41(8):1334-1348.