

# 青海东昆仑西藏大沟金矿床花岗闪长斑岩 锆石 U-Pb 年龄、地球化学及其成矿意义

李金超<sup>1,2,3</sup>, 孔会磊<sup>1,2</sup>, 栗亚芝<sup>1,2</sup>, 国显正<sup>1,2</sup>, 南卡俄吾<sup>4</sup>, 王贤孝<sup>5</sup>,  
贾群子<sup>1,2</sup>, 张斌<sup>1,2</sup>, 姚学钢<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054;

2. 国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 陕西 西安 710054;

3. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054;

4. 陕西省土地工程建设集团, 陕西 西安 710075;

5. 青海省柴达木综合地质矿产勘查院, 青海 格尔木 816000)

**摘要:** 利用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年, 对位于东昆仑地区巴颜喀拉成矿带的西藏大沟金矿床进行研究, 首次获得与成矿有密切关系的花岗闪长斑岩加权平均年龄为  $(225.0 \pm 1.2)$  Ma, 厘定为晚三叠世; 岩石明显富集大离子亲石元素 (Rb、Sr、Ba、K)、轻稀土元素和 Pb, 明显亏损高场强元素 (如 Nb、Ta、P、Ti), 显示轻稀土元素强烈富集的右倾式稀土配分型式。结合东昆仑地区区域构造演化及金矿成矿年代学资料分析认为, 西藏大沟金矿床花岗闪长斑岩形成于挤压向伸展转换阶段, 西藏大沟金矿床成矿时间应介于 225.0 ~ 218.6 Ma, 属晚三叠世。

**关键词:** 地球化学; 锆石 U-Pb 测年; 花岗闪长斑岩; 西藏大沟; 东昆仑

中图分类号: P618.51; P588.12; P597.3

文献标识码: A

## ZIRCON U-PB DATING, GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND METALLOGENIC SIGNIFICANCE OF GRANODIORITE PORPHYRY FROM THE XIZANGDAGOU GOLD DEPOSIT IN EAST KUNLUN, QINGHAI PROVINCE

LI Jinchao<sup>1,2,3</sup>, KONG Huilei<sup>1,2</sup>, LI Yazhi<sup>1,2</sup>, GUO Xianzheng<sup>1,2</sup>, NAMKHA Norbu<sup>4</sup>,  
WANG Xianxiao<sup>5</sup>, JIA Qunzi<sup>1,2</sup>, ZHANG Bin<sup>1,2</sup>, YAO Xuegang<sup>1,2</sup>

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

2. Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, MLR, Xi'an 710054, Shannxi China;

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

4. Shannxi Provincial Land Engineering Construction Group, Xi'an 710075, Shannxi, China;

5. Qaidam Integrated Geological Exploration Institute of Qinghai Province, Golmud 816000, Qinghai, China)

**Abstract:** The Xizangdagou gold deposit lies in the Bayan Har tectonic belt of East Kunlun. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating shows that the weighted mean age of granodiorite porphyry, which is closely related

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目 (DD20160013, 12120115022101, 1212010918044, 12120113029000)

作者简介: 李金超 (1976-), 男, 高级工程师, 博士研究生, 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 (1962-), 男, 研究员, 从事矿床学及成矿规律研究。E-mail: xajqunzi@126.com

收稿日期: 2017-12-05; 修回日期: 2018-02-05

吴芳编辑

with the mineralization of the Xizangdagou gold deposit, is  $(225.0 \pm 1.2)$  Ma, in the Late Triassic. This suite of rocks are enriched in LILE (such as Rb, Sr, Ba, K), LREE and Pb, relatively depleting in HFSE (such as Nb, Ta, P, Ti), with rich LREE and low HREE. Based on the study of evolutionary characteristics of regional structures and chronologic data of gold deposits in East Kunlun, the authors suggest that the granodiorite porphyry in the Xizangdagou gold deposit was formed under a conversion tectonic setting from compressional to extensional, and the Xizangdagou gold deposit formed at 225.0 ~ 218.6 Ma, in the Late Triassic.

**Key words:** geochemistry; zircon U-Pb dating; granodiorite porphyry; Xizangdagou; East Kunlun

东昆仑位于中央造山带中西部<sup>[1-2]</sup>, 该区金矿资源较丰富, 是我国著名的“金腰带”<sup>[3]</sup>。近年来, 该区金矿找矿工作取得显著效果<sup>[4]</sup>, 西藏大沟金矿床等新矿床取得新发现。众多学者针对该区与金矿成矿有关的岩体开展了锆石 U-Pb 定年<sup>[5-9]</sup>、成矿物质来源<sup>[10-16]</sup>及金矿床的成矿年代学<sup>[4,17-20]</sup>等研究, 取得了丰硕的科研成果, 但是针对西藏大沟金矿床仅见有找矿标志研究<sup>[21]</sup>。目前研究表明, 典型内生金矿床中脉岩与金矿脉紧密伴生, 在成因上具有联系<sup>[22-23]</sup>, 这些脉岩与矿体多共生在一起, 可能是岩浆提供成矿物质<sup>[22-25]</sup>; 也可能由于后期蚀变作用影响, 岩脉与金矿密切共生说明二者具有相同的源区<sup>[26]</sup>。因此, 金矿区出露的脉岩对于矿区地质演化和矿化过程研究具有重要意义<sup>[22]</sup>。野外调查与室内综合研究认为, 西藏大沟金矿床花岗闪长斑岩与金矿化存在密切的时空与成因联系; 针对西藏大沟金矿床中的矿化花岗闪长斑岩开展系统的锆石 U-Pb 定年、岩石

地球化学研究, 以期约束该矿床矿化过程。

## 1 地质背景

东昆仑造山带是一个具有复杂演化历史的多旋回造山带<sup>[27]</sup>。西藏大沟金矿床位于东昆仑地区昆南断裂以南, 属巴颜喀拉成矿带(见图1)。区内地层时代跨度范围大<sup>[18]</sup>, 除震旦系、寒武系、志留系外, 从元古宇至第四系均见有出露; 其中元古界、石炭系、二叠系分布相对广泛。金水口岩群、万保沟群、洪水川组和八宝山组等地层是区内金多金属重要赋矿地层。该区构造发育, 由北向南发育昆北断裂、昆中断裂、昆南断裂等。主断裂控制着构造和地层区划<sup>[28]</sup>, 主断裂旁侧的次级断裂控制着矿体的产出<sup>[4]</sup>。该区岩浆活动强烈且频繁, 持续时间长, 岩石类型齐全<sup>[29]</sup>; 其中与金矿床形成具有密切关系的中酸性侵入岩在该区广泛分布。

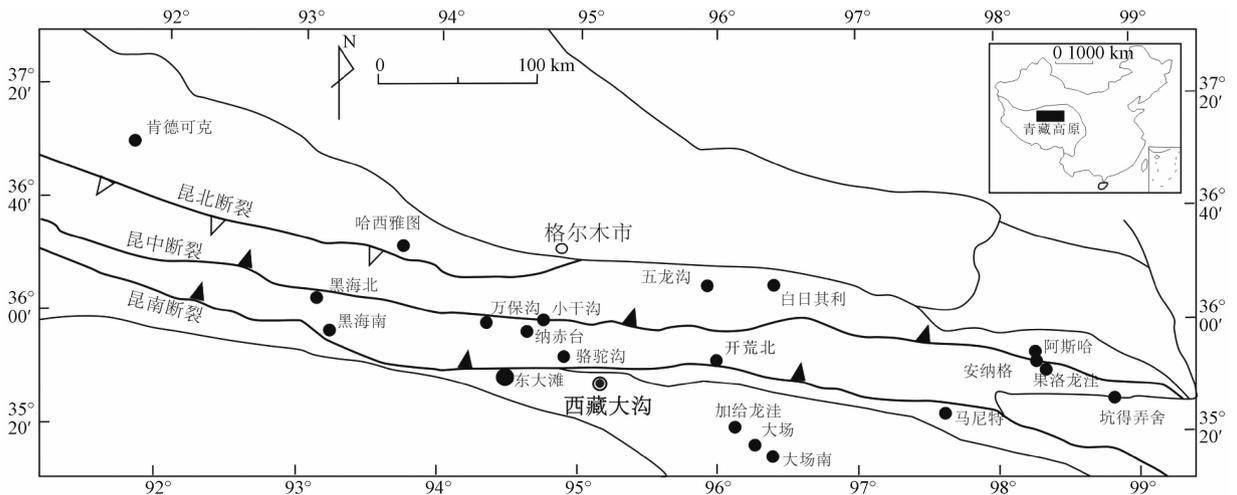


图1 东昆仑地区金矿床分布图

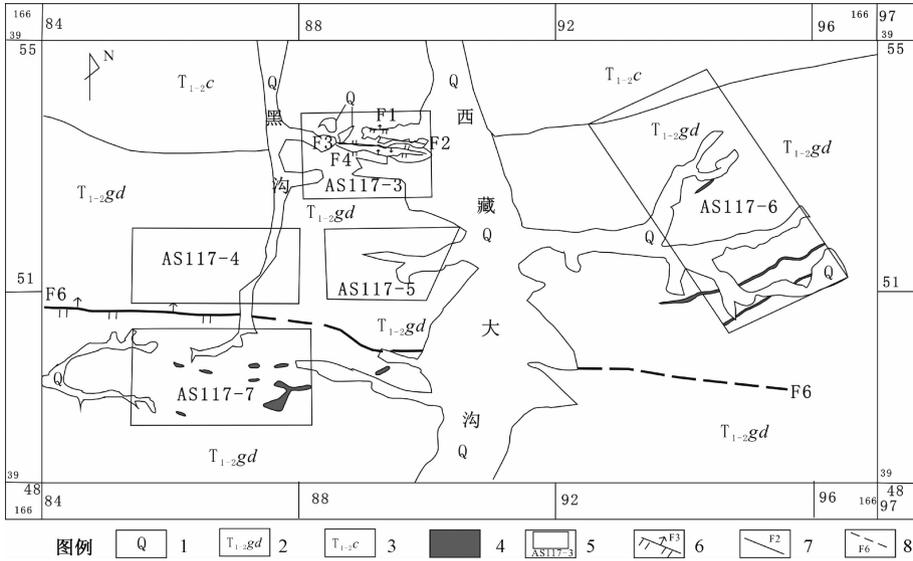
Fig. 1 Distribution of gold deposits in the eastern Kunlun area

西藏大沟金矿床矿区地层, 主要为昌马河组、甘德组(见图2), 二者呈断层接触。其中昌马河

组主要出露在北部, 岩性以长石质杂砂岩夹板岩为主。甘德组主要出露在中部和南部, 岩性以板

岩、砂岩为主。区内构造活动以断裂为主，其中 AS117-3 异常中 F2 和 F3 断裂对该矿床金矿成矿具有重要意义。F2 断裂呈东西向，发育在早一中三叠世巴颜喀拉山群甘德组中。F3 断裂呈北西西向，为早三叠世巴颜喀拉群昌马河组、甘德组的分界

断裂。矿区地表仅发育有燕山—印支期的侵入岩及岩脉，北部见有少许花岗闪长岩出露，出露面积约 0.02 km<sup>2</sup>；区内岩脉主要有花岗闪长斑岩脉、花岗岩脉等，以花岗闪长斑岩脉为主，发育规模较小，分布严格受断裂构造的控制。



1—第四系；2—甘德组；3—昌马河组；4—花岗闪长斑岩脉；5—异常区位置及编号；6—实测逆断层及编号；7—性质不明断层及编号；8—推测断层及编号

图 2 西藏大沟金矿床地质简图

Fig. 2 Geological sketch map of the Xizangdagou gold deposit

截止 2015 年底，在 AS117-3 和 AS117-7 等异常区内共发现了 30 条个金矿（化）体，显示了较好的找矿潜力和找矿前景。该金矿床赋矿岩石为

砂质板岩、泥质板岩（见图 3），矿化岩层中石英脉普遍发育，石英脉呈网状或单脉。矿体中硅化、绢云母化、黄铁矿化等蚀变强烈。

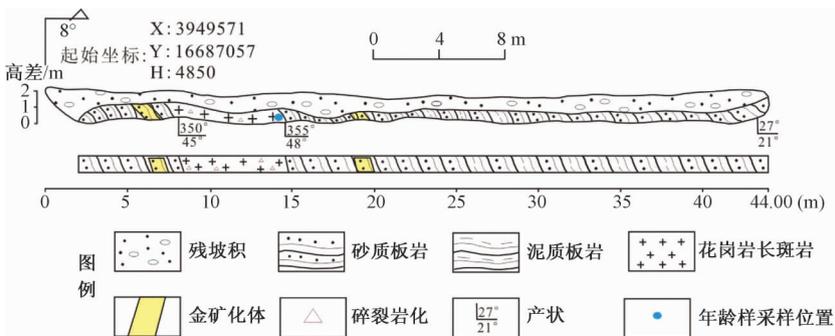


图 3 西藏大沟金矿床 14XZTC2 探槽素描图及采样位置示意图

Fig. 3 The sketch of 14XZTC2 trench and sampling location in the Xizangdagou gold deposit

## 2 样品采集及测试方法

### 2.1 样品采集及样品特征

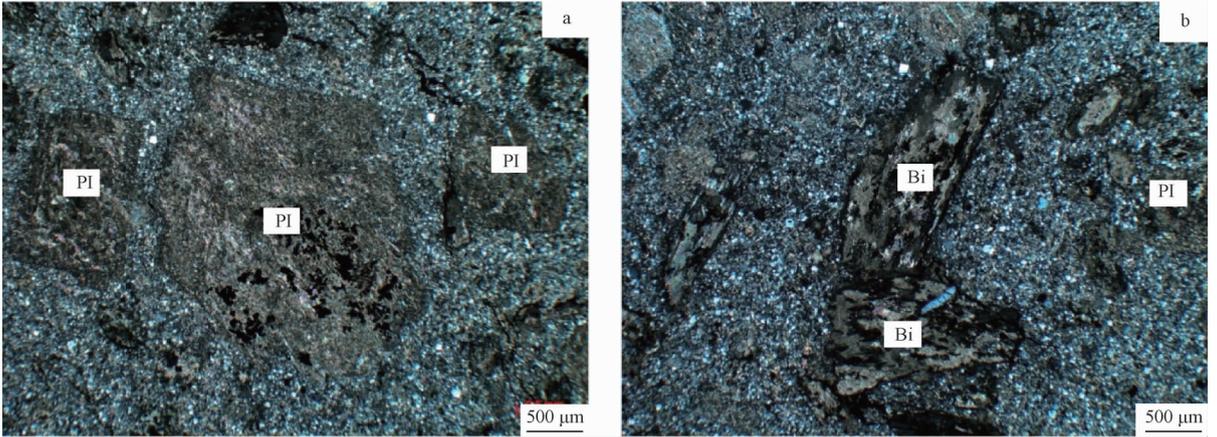
在探槽（14XZTC2）中采取花岗闪长斑岩的 1

件年龄样（编号 14XZUPb01）和 5 件地球化学样（编号 14XZH01-05）。该斑岩脉体与金矿体均产于破碎蚀变带中，蚀变带岩石普遍具片理化、碎裂岩化、泥化，硅化较强的砂质板岩即为金矿体，而花岗闪长斑岩脉具有矿化显示，金矿体与花岗

斑岩脉紧密相邻, 同时化学分析结果显示, 砂质板岩与花岗闪长斑岩脉中金含量具有正相关关系, 金矿体与花岗闪长斑岩脉的空间展布均受破碎蚀变带的控制, 由此表明, 金矿体不仅与接触的花岗闪长斑岩脉相关, 并且二者同时受构造控制。

花岗闪长斑岩呈灰白色, 块状构造, 斑状结构, 基质为显微粒状结构。岩石中斑晶含量约占 40%, 斑晶矿物成分主要为斜长石和黑云母; 斜长

石斑晶晶体形态多呈板状, 粒径大小一般在 0.3 ~ 4 mm 之间, 晶体次生蚀变较强, 普遍被绢云母和细小帘石交代 (见图 4a), 有些晶体也被方解石、绿泥石交代, 仅保留长石晶体板状假象。黑云母斑晶 (见图 4b) 常被绿泥石交代, 有时也被白云母、铁质交代。基质主要由长石与石英组成, 晶体粒径在 0.05 ~ 0.1 mm 之间, 为显微粒状结构, 基质中长石也常发生绢云母化。



a—花岗闪长斑岩中的斜长石斑晶普遍被绢云母和细小帘石交代 (正交偏光); b—花岗闪长斑岩中的黑云母斑晶 (正交偏光)  
Pl—斜长石; Bi—黑云母

图 4 西藏大沟花岗闪长斑岩显微照片

Fig. 4 Microphotographs of the Xizangdagou granodiorite porphyry

## 2.2 测试方法

### (1) 锆石 U-Pb 定年

锆石的挑选在河北区域地质调查所实验室, 利用标准重矿物分离技术分选完成。锆石的制靶、反射光和阴极发光在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。锆石的制靶在显微镜下挑选表面平整光洁、不同长宽比例的锆石制作。通过反射光和 CL 图像研究锆石的晶体形貌和内部结构特征<sup>[4,30-32]</sup>, 选择同位素分析的最佳点进行测年。锆石 U-Pb 定年在西安地质调查中心实验室完成, 激光束斑直径 24  $\mu\text{m}$ , 91500 为年龄标定标样, 锆石同位素比值和年龄数据应用 Glitter 程序进行计算和处理, 年龄计算及谐和图的绘制采用 Isoplot 程序完成<sup>[4,30-32]</sup>。

### (2) 岩石地球化学

岩石地球化学测试均在西安地质调查中心实验室完成, 其中主量元素采用 X 荧光光谱分析法, 分析精度优于 1%; 微量元素采用等离子质谱分析法, 分析精度优于 5% ~ 10%<sup>[4,30-32]</sup>。

## 3 测试结果

### 3.1 岩石地球化学

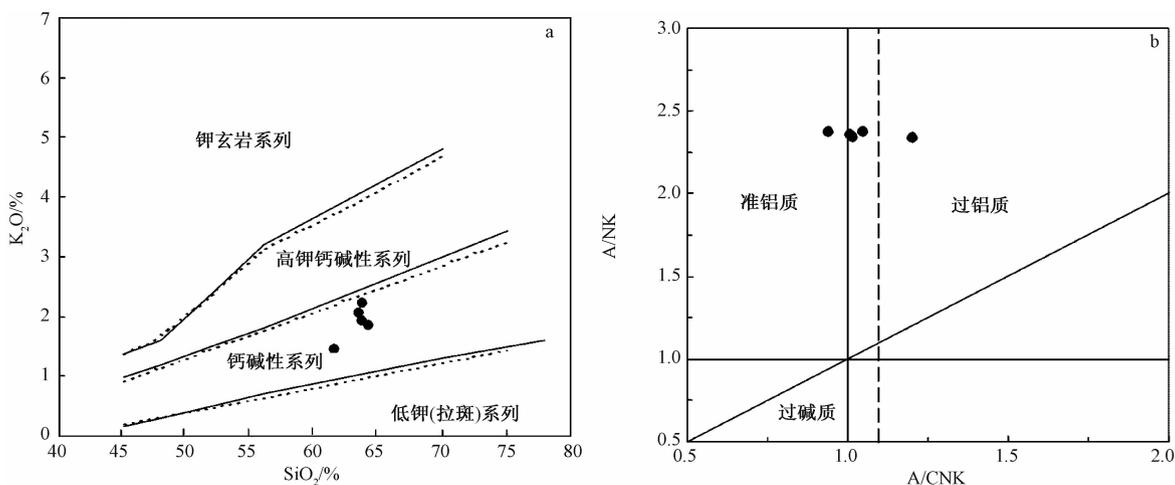
西藏大沟金矿床花岗闪长斑岩主量元素中 (见表 1), 样品的  $\text{SiO}_2$  含量变化范围为 61.37% ~ 63.81%。在  $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$  图上 (见图 5a), 岩石主要落在钙碱性系列区。样品的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为 15.49% ~ 16.62%, 铝饱和指数  $A/\text{CNK}$  为 0.931 ~ 1.242, 平均为 1.05, 在  $A/\text{CNK}$ - $A/\text{NK}$  图解上 (见图 5b), 多数样品落入过铝质区域。

原始地幔标准化微量元素蜘蛛图 (见图 6a) 显示, 花岗闪长斑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、Sr、Ba、K)、轻稀土元素和 Pb, 相对亏损高场强元素 (如 Nb、Ta、Ti、P), Ta、Nb 和 Ti 具 “TNT” 负异常<sup>[5]</sup>, Rb/Sr 为 0.125 ~ 0.317, Nb/Ta 为 12.00 ~ 13.99。

稀土总量为  $82.74 \times 10^{-6}$  ~  $93.03 \times 10^{-6}$ , 平均为  $87.48 \times 10^{-6}$ 。在稀土元素球粒陨石标准化配分

表1 西藏大沟花岗闪长斑岩主量元素 (wt%) 和微量元素含量 ( $10^{-6}$ )Table 1 Contents of major elements (wt%) and trace elements ( $\times 10^{-6}$ ) of the Xizangdagou granodiorite porphyry

编号	14XZH01	14XZH02	14XZH03	14XZH04	14XZH05	编号	14XZH01	14XZH02	14XZH03	14XZH04	14XZH05
SiO <sub>2</sub>	61.37	63.20	63.04	63.81	63.40	Zr	85.80	115.00	105.00	104.00	112.00
TiO <sub>2</sub>	0.45	0.47	0.52	0.48	0.48	Hf	2.84	3.49	3.26	3.12	3.36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.49	16.18	16.55	16.62	16.58	Y	11.00	11.40	12.60	12.30	10.60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.50	0.42	0.93	0.50	0.34	La	19.20	19.20	20.60	20.40	18.70
FeO	3.57	3.44	3.30	3.45	3.49	Ce	36.60	34.20	38.20	38.90	34.80
MnO	0.10	0.09	0.08	0.09	0.07	Pr	3.93	3.84	4.31	4.28	3.82
MgO	4.03	3.22	3.22	2.85	2.83	Nd	13.80	13.50	16.00	15.90	13.60
CaO	5.50	4.65	5.02	4.99	3.32	Sm	2.81	2.84	3.24	3.06	2.82
Na <sub>2</sub> O	3.10	3.00	3.05	3.25	2.98	Eu	0.97	0.92	1.07	1.08	0.73
K <sub>2</sub> O	1.42	1.86	2.02	1.80	2.23	Gd	2.72	2.65	2.93	3.06	2.53
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.12	0.12	0.14	0.12	0.13	Tb	0.43	0.43	0.46	0.46	0.40
LOI	4.36	3.33	2.12	2.01	4.13	Dy	2.11	2.15	2.53	2.38	2.18
Total	100.01	99.98	99.99	99.97	99.98	Ho	0.42	0.43	0.50	0.48	0.44
A/CNK	0.931	1.05	1.013	1.015	1.242	Er	1.20	1.20	1.39	1.31	1.20
Rb	57.30	77.80	72.90	75.60	97.60	Tm	0.18	0.18	0.21	0.20	0.18
Ba	572.00	535.00	636.00	562.00	434.00	Yb	1.17	1.20	1.34	1.32	1.16
Th	6.19	6.55	6.57	6.94	6.86	Lu	0.18	0.18	0.21	0.20	0.18
U	2.63	2.76	2.32	2.96	3.01	ΣREE	85.72	82.92	92.99	93.03	82.74
Ta	0.80	0.78	0.75	0.74	0.73	LREE/HREE	9.19	8.85	8.72	8.89	9.00
Nb	9.92	10.10	9.62	9.61	8.76	La <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub>	11.77	11.48	11.03	11.09	11.56
Pb	14.60	12.00	15.60	15.20	16.60	δEu	1.07	1.03	1.06	1.08	0.84
Sr	457.00	458.00	401.00	413.00	308.00	δCe	1.03	0.98	0.99	1.02	1.01

图5 西藏大沟花岗闪长斑岩 K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> 图解及 A/CNK-A/NK 图解Fig. 5 K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> and A/CNK-A/NK plots for the Xizangdagou granodiorite porphyry

模式图 (见图 6b) 上, 各样品配分曲线几近一致, 显示为同源岩浆演化特点, 轻重稀土比值 (LREE/HREE) 为 8.72 ~ 9.19, 平均为 8.93, 二者明显分异, (La/Yb)<sub>N</sub> 为 11.03 ~ 11.77, 平均 11.38, 显示了轻稀土元素 (LREE) 强烈富集的右倾式稀土配分型式。(La/Sm)<sub>N</sub> 为 4.10 ~ 4.41, 平均 4.29, (Gd/Yb)<sub>N</sub> 为 1.80 ~ 1.92, 平均 1.86, 说明轻稀土之间分异较强而重稀土之间分异不明显, 相对平坦。

### 3.2 锆石 U-Pb 年代学

花岗闪长斑岩中锆石多为短柱状及长柱状, 长宽比为 1:1 ~ 3:1。多数锆石自形程度较好, 发育岩浆震荡环带, 具岩浆结晶锆石特征 (见图 7)。29 个有效分析点测试结果 (见表 2) 显示 Th/U 比值为 0.11 ~ 0.26, 该样品所测定的锆石具岩浆成因性质<sup>[5]</sup>。锆石数据较集中, 落在谐和线及其附近, 其加权平均年龄与谐和年龄值二者恰好一致 (见图 8), 均为 225.0 ± 1.2 Ma (MSWD = 0.14)。

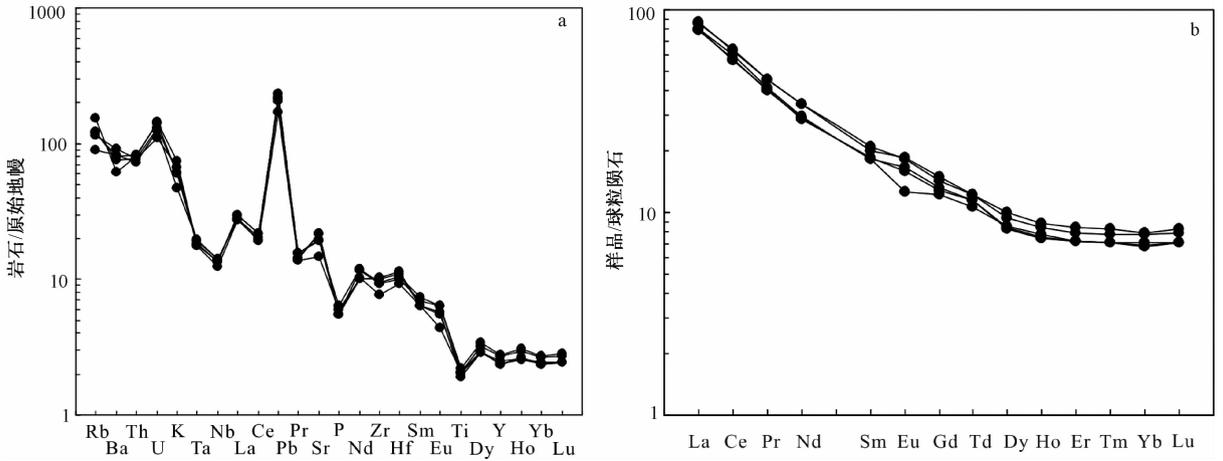


图6 西藏大沟花岗闪长斑岩的微量元素原始地幔标准化蛛网图及稀土元素球粒陨石标准化配分曲线图(标准化数值据文献[29])

Fig. 6 Primitive mantle-normalized trace element patterns and chondrite-normalized REE patterns of Xizangdagou granodiorite porphyry



图7 西藏大沟花岗闪长斑岩锆石阴极发光照片

Fig. 7 CL images of zircons from the Xizangdagou granodiorite porphyry

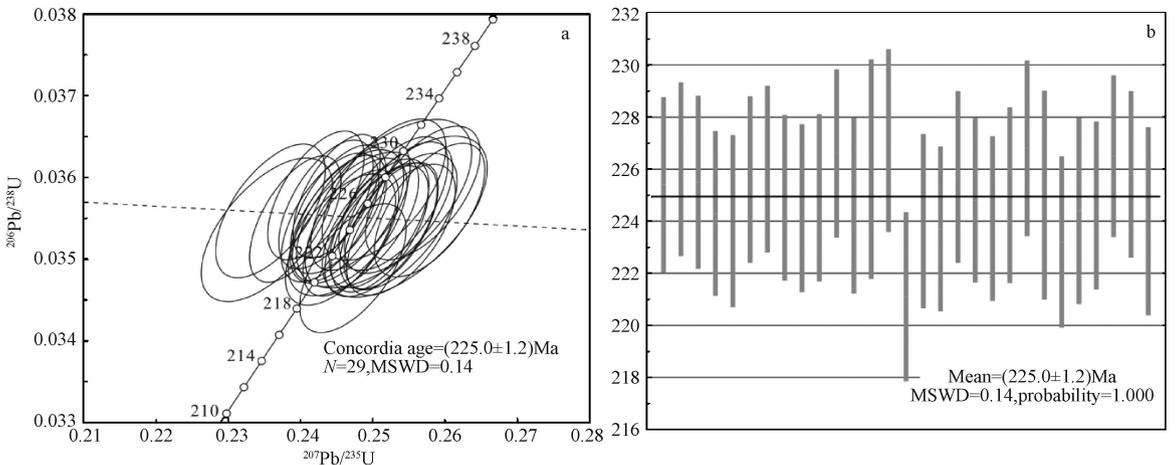


图8 西藏大沟花岗闪长斑岩锆石 U-Pb 年龄谐和图与加权平均年龄图

Fig. 8 Zircon U-Pb concordia diagram and weighted mean ages diagram of the Xizangdagou granodiorite porphyry

表2 西藏大沟金矿床花岗闪长斑岩锆石 LA-ICP-MS 测年结果

Table2 LA-ICP-MS dating data of zircons from the Xizangdagou granodiorite porphyry

样品编号	含量/ $10^{-6}$		Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
	$^{232}\text{Th}$	$^{238}\text{U}$		比值	$1\sigma$	比值	$1\sigma$	比值	$1\sigma$	年龄/Ma	$1\sigma$	年龄/Ma	$1\sigma$	年龄/Ma	$1\sigma$
14XZDG-1	68.2	389.5	0.18	0.0481	0.0010	0.2359	0.0050	0.0356	0.0005	102.1	47.9	215.0	4.1	225.4	3.4
14XZDG-2	81.3	549.4	0.15	0.0514	0.0010	0.2529	0.0050	0.0357	0.0005	258.5	42.7	228.9	4.0	226.0	3.3
14XZDG-3	94.3	458.4	0.21	0.0525	0.0010	0.2579	0.0051	0.0356	0.0005	308.5	41.9	232.9	4.1	225.5	3.3
14XZDG-4	151.5	1133.3	0.13	0.0517	0.0008	0.2526	0.0043	0.0354	0.0005	273.1	35.0	228.7	3.5	224.3	3.2
14XZDG-5	76.4	724.2	0.11	0.0521	0.0010	0.2539	0.0050	0.0354	0.0005	288.3	42.1	229.8	4.0	224.0	3.3
14XZDG-6	112.0	760.7	0.15	0.0499	0.0008	0.2452	0.0044	0.0356	0.0005	191.5	37.7	222.7	3.6	225.6	3.2
14XZDG-7	121.1	748.0	0.16	0.0495	0.0008	0.2435	0.0043	0.0357	0.0005	171.6	37.7	221.3	3.5	226.0	3.2
14XZDG-8	197.0	1092.2	0.18	0.0501	0.0008	0.2454	0.0043	0.0355	0.0005	200.7	37.0	222.8	3.5	224.9	3.2
14XZDG-9	193.6	870.5	0.22	0.0513	0.0009	0.2509	0.0046	0.0354	0.0005	255.8	38.4	227.3	3.7	224.5	3.2
14XZDG-10	109.7	611.5	0.18	0.0499	0.0009	0.2441	0.0045	0.0355	0.0005	187.8	39.0	221.8	3.6	224.9	3.2
14XZDG-11	128.1	840.2	0.15	0.0491	0.0008	0.2422	0.0044	0.0358	0.0005	151.6	39.1	220.2	3.6	226.6	3.2
14XZDG-12	115.7	557.6	0.21	0.0519	0.0011	0.2536	0.0054	0.0355	0.0006	279.0	46.4	229.5	4.3	224.6	3.4
14XZDG-14	292.9	1310.7	0.22	0.0511	0.0017	0.2516	0.0080	0.0357	0.0007	246.7	74.7	227.8	6.5	226.0	4.2
14XZDG-15	97.9	771.1	0.13	0.0509	0.0011	0.2516	0.0057	0.0359	0.0006	235.4	50.5	227.8	4.6	227.1	3.5
14XZDG-16	173.9	774.2	0.22	0.0514	0.0010	0.2472	0.0049	0.0349	0.0005	257.9	42.8	224.3	4.0	221.1	3.3
14XZDG-17	257.1	990.7	0.26	0.0515	0.0010	0.2511	0.0051	0.0354	0.0005	263.0	44.8	227.5	4.2	224.0	3.4
14XZDG-18	150.9	1032.4	0.15	0.0507	0.0008	0.2470	0.0044	0.0353	0.0005	227.4	37.3	224.1	3.6	223.7	3.2
14XZDG-19	155.2	864.0	0.18	0.0516	0.0010	0.2536	0.0049	0.0356	0.0005	268.1	42.1	229.5	4.0	225.7	3.3
14XZDG-20	209.7	1348.9	0.16	0.0489	0.0008	0.2393	0.0042	0.0355	0.0005	142.3	37.2	217.8	3.4	224.8	3.2
14XZDG-21	90.7	597.6	0.15	0.0515	0.0008	0.2510	0.0045	0.0354	0.0005	260.9	37.2	227.4	3.6	224.1	3.2
14XZDG-22	143.6	817.6	0.18	0.0503	0.0010	0.2464	0.0052	0.0355	0.0005	208.7	47.0	223.7	4.2	225.0	3.4
14XZDG-23	112.1	868.9	0.13	0.0520	0.0010	0.2569	0.0052	0.0358	0.0005	286.7	44.6	232.2	4.2	226.8	3.4
14XZDG-24	275.9	1263.1	0.22	0.0520	0.0016	0.2544	0.0075	0.0355	0.0007	283.0	68.7	230.2	6.1	225.0	4.0
14XZDG-25	57.2	485.9	0.12	0.0505	0.0010	0.2455	0.0050	0.0352	0.0005	219.4	45.2	222.9	4.1	223.2	3.3
14XZDG-26	79.0	532.1	0.15	0.0506	0.0012	0.2473	0.0060	0.0354	0.0006	223.4	55.1	224.4	4.9	224.4	3.6
14XZDG-27	203.2	1235.9	0.16	0.0507	0.0009	0.2477	0.0047	0.0355	0.0005	225.7	40.5	224.7	3.8	224.6	3.2
14XZDG-28	250.1	1017.6	0.25	0.0497	0.0007	0.2450	0.0040	0.0358	0.0005	179.4	33.5	222.5	3.3	226.5	3.1
14XZDG-29	95.4	602.4	0.16	0.0505	0.0009	0.2483	0.0045	0.0357	0.0005	218.5	39.1	225.2	3.7	225.8	3.2
14XZDG-30	130.0	776.8	0.17	0.0483	0.0012	0.2354	0.0060	0.0354	0.0006	112.0	59.6	214.6	4.9	224.0	3.6

因此,  $225.0 \pm 1.2$  Ma 代表了该岩体的侵位年龄, 即其形成于晚三叠世。

## 4 讨论

### 4.1 花岗闪长斑岩成因及其形成动力学地质背景

岩石显示明显的 Ta、Nb 和 Ti 具“TNT”负异常<sup>[5]</sup>, 显示出俯冲幔源岩石成分的特点<sup>[33]</sup>, 也可能是岩浆受到地壳物质的混染<sup>[34]</sup>。Rb/Sr 比值 (0.125 ~ 0.317) 介于上地幔值 (0.034)<sup>[35]</sup> 和地壳值 (0.35)<sup>[36]</sup> 之间, 更接近地壳值; Nb 和 Ta, Zr 和 Hf 具有相同的离子价态和相似的离子半径, 具有相似的地球化学行为, Nb/Ta 比值 (12.00 ~ 13.99) 与地壳平均值 (12.5 ~ 13.5)<sup>[34]</sup> 基本一致, Zr/Hf 比值 (30.2 ~ 33.3) 更接近球粒陨石 34.2, 而小于大陆地壳 36.7<sup>[36]</sup>, 表明岩石可能发生了一定程度的分异; 花岗闪长斑岩中 P, Ti 元素

均出现明显的负异常, 可能是由于磷灰石和钛铁矿的分离结晶<sup>[5]</sup>, 以上特征说明西藏大沟金矿床花岗闪长斑岩具有壳源岩石特征, 在演化过程中发生了一定程度的结晶分异作用。

在 Th/Hf-Ta/Hf 图解上 (见图 9a), 样点落入活动大陆边缘和板内岩浆岩过渡区域。在 Rb- (Y + Nb) 花岗岩判别图解上 (见图 9b), 样点落于弧花岗岩和后碰撞花岗岩过渡区域, 暗示花岗闪长斑岩形成于拼贴后同碰撞向后碰撞伸展转换的构造背景。西藏大沟金矿位于东昆仑地区巴颜喀拉造山带, 而后的形成与阿尼玛卿洋盆演化密切相关。阿尼玛卿洋盆形成于晚石炭世, 晚二叠世阿尼玛卿洋开始向北俯冲、削减, 形成了一套浊流相的复理石沉积; 中三叠世洋盆闭合, 东昆仑地区进入陆内造山阶段, 巴颜喀拉地块和柴达木南缘地块发生强烈碰撞, 形成巴颜喀拉造山带。在俯冲和碰撞过程中, 东昆仑地区发生强烈的壳—

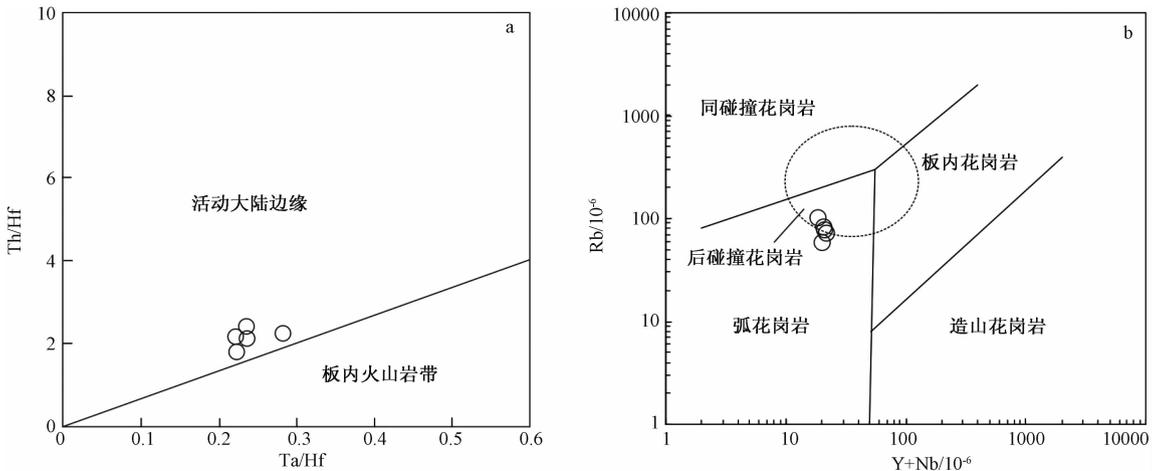


图9 西藏大沟花岗闪长斑岩构造环境判别图

Fig. 9 Tectonic setting discrimination diagrams of the Xizangdagou granodiorite porphyry

幔相互作用,并开始从挤压构造体制向伸展构造体制转换。

一般认为,230~190 Ma 东昆仑地区进入陆内阶段<sup>[37]</sup>,而研究获得的西藏大沟花岗闪长斑岩锆石 U-Pb 年龄为 225.0 Ma,正好处于俯冲拼贴后挤压向伸展转换阶段,地壳增厚使下地壳物质部分熔融,“相对松弛”的应力背景使下地壳发生拆沉<sup>[38]</sup>。下地壳物质熔融形成了大量的花岗质岩浆,同时有地幔物质的混染,形成混合岩浆,后经侵位、结晶分异,在 225.0 Ma 左右形成西藏大沟金矿床花岗闪长斑岩。

#### 4.2 花岗闪长斑岩对金矿床形成的意义

印支期是东昆仑地区岩浆活动最为强烈的时期,中三叠世阿尼玛卿洋闭合对该区影响广泛,形成了一系列与矽卡岩型、蚀变岩型等矿床成矿有重要关系的中酸性岩体。例如蚀变岩型金矿床有:阿斯哈获得花岗斑岩锆石 U-Pb 年龄为  $232.6 \pm 1.4$  Ma<sup>[6]</sup>,大水沟英云闪长岩锆石 U-Pb 年龄为  $239.5 \pm 0.9$  Ma<sup>[8]</sup>。同时东昆仑地区获得众多金矿成矿年龄,例如瑙木浑金矿矿石绢云母<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 坪年龄为  $227.8 \pm 1.1$  Ma<sup>[4]</sup>,大场金矿床矿石绢云母<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 坪年龄为  $218.6 \pm 3.2$  Ma<sup>[19]</sup>。以上众多学者研究表明,东昆仑地区由北向南,金矿成矿年龄逐渐变新<sup>[16,18]</sup>,这与该区复合造山作用在时空上的“构造迁移”相一致<sup>[19]</sup>。因此推断,处于巴颜喀拉造山带的西藏大沟金矿床成矿时间应晚于昆中带的瑙木浑金矿床成矿时代,与同构造带的大场金矿床成矿时间应基本一致。研究获得的矿化花岗闪长斑岩锆石 U-Pb 年龄  $225.0 \pm 1.2$  Ma 应略

早于金矿床成矿时间,该年龄数据为金矿床成矿时间确定提供了约束依据。因此,西藏大沟金矿床成矿时间应介于 225.0~218.6 Ma,属晚三叠世。

## 5 结论

(1) 花岗闪长斑岩明显富集大离子亲石元素 (Rb、Sr、Ba、K)、轻稀土元素和 Pb,明显亏损高场强元素 (如 Nb、Ta、P、Ti),显示轻稀土富集的右倾式稀土配分型式。

(2) 综合东昆仑地区区域地质构造演化特征,认为西藏大沟金矿床花岗闪长斑岩形成于挤压向伸展转换阶段,Rb/Sr、Nb/Ta 等特征反映出岩石具壳源岩浆的特点。

(3) 根据花岗闪长斑岩与金矿体的空间接触关系,结合东昆仑地区区域构造演化及该区金矿床成矿年代学资料,研究认为西藏大沟金矿床成矿时间应介于 225.0~218.6 Ma,属晚三叠世。

**致谢** 在野外工作期间,得到青海省柴达木综合地质矿产勘查院野外项目组大力支持;研究过程中得到长安大学钱壮志教授等帮助;在此表示衷心感谢。

#### 参考文献/References

- [1] 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)
- [2] 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)
- [3] 李金超. 青海东昆仑地区金矿成矿规律及成矿预测 [D]. 西安: 长安大学, 2017.  
LI Jinchao. Metallogenic regularity and metallogenic prognosis of gold deposit in the East Kunlun orogen, Qinghai Province [D]. Xi'an: Chang'an University, 2017. (in Chinese with English abstract)
- [4] 李金超, 孔会磊, 栗亚芝, 等. 青海东昆仑璐木浑金矿蚀变绢云母 Ar-Ar 年龄、石英闪长岩锆石 U-Pb 年龄和岩石地球化学特征 [J]. 地质学报, 2017, 91 (5): 979~991.  
LI Jinchao, KONG Huilei, LI Yazhi, et al. Ar-Ar age of altered sericite, zircon U-Pb age of quartz diorite and geochemistry of the Naomuhun gold deposit, East Kunlun [J]. Acta Geologica Sinica, 2017, 91 (5): 979~991. (in Chinese with English abstract)
- [5] 李碧乐, 孙丰月, 于晓飞, 等. 东昆中隆起带东段闪长岩 U-Pb 年代学和岩石地球化学研究 [J]. 岩石学报, 2012, 28 (4): 1163~1172.  
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)
- [6] 岳维好. 东昆仑东段沟里金矿集区典型矿床地质地球化学及成矿机理研究 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2013.  
YUE Weihao. Mineral deposits geochemistry and metallogenic mechanism in Gouli Gold Deposit, East Kunlun [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2013. (in Chinese)
- [7] 李金超, 贾群子, 杜玮, 等. 东昆仑东段阿斯哈矿床石英闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及岩石地球化学特征 [J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 2014, 44 (4): 1188~1199.  
LI Jinchao, JIA Qunzi, DU Wei, et al. LA-ICP-MS zircon dating and geochemical characteristics of quartz diorite in Asihah gold deposit in East Segment of the Eastern Kunlun [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2014, 44 (4): 1188~1199. (in Chinese with English abstract)
- [8] 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)
- [9] 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)
- [10] 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)
- [11] 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 deposit, Eastern Kunlun, Qinghai Province [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2012, 42 (6): 1676~1687. (in Chinese with English abstract)
- [12] 丁清峰, 王冠, 孙丰月, 等. 青海省曲麻莱县大场金矿床成矿流体演化: 来自流体包裹体研究和毒砂地温计的证据 [J]. 岩石学报, 2010, 26 (12): 3709~3719.  
DING Qingfeng, WANG Guan, SUN Fengyue, et al. Ore-forming fluid evolution of Dachang gold deposit in Qumalai County, Qinghai Province: evidence from fluid inclusion study and arsenopyrite geothermometer [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26 (12): 3709~3719. (in Chinese with English abstract)
- [13] 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)
- [14] 丰成友, 张德全, 李大新, 等. 青海东昆仑造山型金矿硫、铅同位素地球化学 [J]. 地球学报, 2003, 24 (6): 593~598.  
FENG Chengyou, ZHANG Dequan, LI Daxin, et al. Sulfur and lead isotope geochemistry of the orogenic gold deposits in East Kunlun area, Qinghai Province [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2003, 24 (6): 593~598. (in Chinese with English abstract)
- [15] Ding Q F, Jiang S Y, Sun F Y, et al. Origin of the Dachang gold deposit, NW China: constraints from H, O, S, and Pb

- isotope data [J]. *International Geology Review*, 2013, 55 (15): 1885 ~ 1901.
- [16] 赵俊伟. 青海东昆仑造山带造山型金矿床成矿系列研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2008.  
ZHAO Junwei. Study on orogenic gold mettallogenic series in Eastern Kunlun orogenic belt, Qinghai Province [D]. Changchun: Jilin University, 2008. (in Chinese with English abstract)
- [17] 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 Geoscientia Sinica*, 2000, 21 (4): 389 ~ 395. (in Chinese with English abstract)
- [18] 丰成友. 青海东昆仑地区的复合造山过程及造山型金矿床成矿作用 [D]. 北京: 中国地质科学院, 2002.  
FENG Chengyou. Multiple orogenic processes and mineralization of orogenic gold deposits in the East Kunlun orogen, Qinghai Province [D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2002. (in Chinese with English abstract)
- [19] 张德全, 党兴彦, 余宏全, 等. 柴北缘-东昆仑地区造山型金矿床的 Ar-Ar 测年及其地质意义 [J]. *矿床地质*, 2005, 24 (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, 24 (4): 87 ~ 98. (in Chinese with English abstract)
- [20] 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): 895 ~ 902.  
XIAO Ye, FENG Chengyou, LI Daxin, et al. Chronology and fluid inclusions of the Guoluolonga gold deposit in Qinghai Province [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2014, 88 (5): 895 ~ 902. (in Chinese with English abstract)
- [21] 刘具仓. 青海省格尔木市西藏大沟南金成矿地质特征与找矿标志 [D]. 北京: 中国地质大学 (北京), 2013.  
LIU Jucang. Gold metallogenic geological characteristics and ore-prospecting criterion south of Tibet gully, in Golmud Qinghai province [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2013. (in Chinese with English abstract)
- [22] 梁亚运. 胶东早白垩世基性脉岩岩石成因与成矿动力学驱动 [D]. 北京: 中国地质大学 (北京), 2017.  
LIANG Yayun. Petrogenesis of the Early Cretaceous Mafic Dikes and Metallogenic Dynamics in Jiaodong Peninsula [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2017. (in Chinese with English abstract)
- [23] Goldfarb R J, Taylor R D, Collins G S, et al. Phanerozoic continental growth and gold metallogeny of Asia [J]. *Gondwana Research*, 2014, 25 (1): 48 ~ 102.
- [24] 杨立强, 邓军, 王中亮, 等. 胶东中生代金成矿系统 [J]. *岩石学报*, 2014, 30 (9): 2447 ~ 2467.  
YANG Liqiang, DENG Jun, WANG Zhongliang, et al. Mesozoic gold metallogenic system of the Jiaodong gold province, eastern China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2014, 30 (9): 2447 ~ 2467. (in Chinese with English abstract)
- [25] 夏锐. 东昆仑古特提斯造山过程与金成矿作用 [D]. 北京: 中国地质大学 (北京), 2017.  
XIA Rui. Paleo-tethys orogenic process and gold metallogenesis of the East Kunlun [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2017. (in Chinese with English abstract)
- [26] Yang L Q, Deng J, Goldfarb R J, et al.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronological constraints on the formation of the Dayingezhuang gold deposit: new implications for timing and duration of hydrothermal activity in the Jiaodong gold province, China [J]. *Gondwana Research*, 2014, 25 (4): 1469 ~ 1483.
- [27] 张凯, 苟荣涛, 刘树林, 等. 东昆仑大干沟一带铜金锑矿特征及找矿意义 [J]. *地质力学学报*, 2012, 18 (4): 401 ~ 409.  
ZHANG Kai, GOU Rongtao, LIU Shulin, et al. Characteristics and significance of the copper-gold-antimony deposits in Dagangou area, East Kunlun [J]. *Journal of Geomechanics*, 2012, 18 (4): 401 ~ 409. (in Chinese with English abstract)
- [28] 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-mineralization and copper-gold polymetallic ore prospecting research in East Kunlun metallogenic belt in Qinghai [J]. *Northwestern Geology*, 2014, 45 (4): 69 ~ 75. (in Chinese with English abstract)
- [29] 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)
- [30] 孔会磊, 李金超, 栗亚芝, 等. 青海东昆仑东段加当辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及其地质意义 [J]. *地质与勘探*, 2017, 53 (5): 889 ~ 902.  
KONG Huilei, LI Jinchao, LI Yazhi, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating and its geological significance of the Jiadang gabbro in the eastern section of East Kunlun, Qinghai Province [J]. *Geology and Exploration*, 2017, 53 (5): 889 ~ 902. (in Chinese with English abstract)
- [31] 孔会磊, 李金超, 栗亚芝, 等. 青海东昆仑哈陇休玛辉石橄辉岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及其地质意义 [J]. *地质*

- 科技情报, 2017, 36 (1): 41~47.
- KONG Huilei, LI Jinchao, LI Yazhi, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating and its geological significance of the Halongxiuma pyroxene peridotite in East Kunlun, Qinghai Province [J]. Geological Science and Technology Information, 2017, 36 (1): 41~47. (in Chinese with English abstract)
- [32] 张斌, 孔会磊, 李智明, 等. 东昆仑哈日扎铅锌多金属矿区英云闪长岩锆石 U-Pb 定年、地球化学及其地质意义 [J]. 地质科技情报, 2016, 35 (5): 9~17.
- ZHANG Bin, KONG Huilei, LI Zhiming, et al. Zircon U-Pb dating, geochemical and geological significance of the tonalites from the Harizha lead-zinc polymetallic mine in East Kunlun Mountains [J]. Geological Science and Technology Information, 2016, 35 (5): 9~17. (in Chinese with English abstract)
- [33] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [A]. Saunders A D, Norry M J. Magmatism in the Ocean Basins [M]. Geological Society, London, Special Publication, 1989, 42 (1): 313~345.
- [34] McKenzie D. Some remarks on the movement of small melt fractions in the mantle [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1989, 95 (1/2): 53~72.
- [35] Taylor S R, McLennan S M. The geochemical evolution of the continental crust [J]. Reviews of Geophysics, 1995, 33 (2): 241~265.
- [36] Rudnick L R, Fountain M D. Nature and composition of the continental crust: a lower crustal perspective [J]. Reviews of Geophysics, 1995, 33 (3): 267~309.
- [37] 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 Palaeozoic-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)
- [38] 孔会磊, 李金超, 黄军, 等. 东昆仑小圆山铁多金属矿区斜长花岗斑岩锆石 U-Pb 测年、岩石地球化学及找矿意义 [J]. 中国地质, 2015, 42 (3): 521~532.
- KONG Huilei, LI Jinchao, HUANG Jun, et al. Zircon U-Pb dating and geochemical characteristics of the plagiogranite porphyry from the Xiaoyuanshan iron-polymetallic ore district in East Kunlun Mountains [J]. Geology in China, 2015, 42 (3): 521~532. (in Chinese with English abstract)