新疆拉依克勒克隐伏斑岩矿床的发现、Re-Os 同位素定年及地质意义*

吕博[1] 孟贵祥[2] 杨岳清[2**] 严加永[2] 赵金花[2] 邓震[2] 李超[3]

LÜ Bo[1], MENG GuiXiang[2], YANG YueQing[2**], YAN JiaYong[2], ZHAO JinHua[2], DENG Zhen[2] and LI Chao[3]

1. 地质过程与矿产资源国家重点实验室,中国地质大学地球科学与资源学院,北京 100083
2. 中国地质科学院矿产资源研究所,国土资源部成矿作用和资源评价重点实验室,北京 100037
3. 国家地质实验测试中心,北京 100037

1. *State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources*, *China University of Geosciences*, *Beijing* 100083, *China*
2. *Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment*, *MLR*, *Institute of Mineral Resources*, *Chinese Academy of Geological Sciences*, *Beijing* 100037, *China*
3. *National Research Center of Geoanalysis*, *Beijing* 100037, *China*

2013-10-25 收稿, 2014-02-13 改回.

Lü B, Meng GX, Yang YQ, Yan JY, Zhao JH, Deng Z and Li C. 2014. Discover of Layikeleke insidious porphyry deposit in Xinjiang, Re-Os isotope dating and its geological implications. *Acta Petrologica Sinica*, 30(4):1168 – 1178

Abstract Qiongheba ore concentration area was important component of porphyry copper metallogenic belt in Junggar, Xinjiang. Several porphyry copper deposits have been found in this area, but the extensive distribution of the Gobi desert makes surface prospecting difficulty in this area. In recent years, successfully use of comprehensive geophysical exploration methods in this area, has made a new buried copper (molybdenum) porphyry deposit found. The findings was mostly based on surface Induced Polarization (IP) methods, which defined a NW-trending, 5000m long and 500 ~ 1000m wide IP anomaly, and deep drilling. The drilling verification indicates that the IP anomaly caused by concealed copper (molybdenum) mineralization tonalite body. The tonnage of the deposit has reach to medium large size in copper (molybdenum), the associated gold and lead-zinc are also in good prospect. A concealed skarn type copper iron-rich ores which close the tonalite body is also found. Based on the preliminary study on petrology, geochemistry, metallogenic characteristics of tonalite, the Re-Os isotope dating was carry out on the six molybdenite samples, the weighted mean age is 411.1 ± 2.4Ma. It is consistent with mineralization age of porphyry copper deposit in this area. These age characteristics further evidenced that there is a magma-hydrothermal polymetallic mineralization event in this area during the Upper Silurian and Lower Devonian. All these indicate that Layikeleke metallogenic province has great prospection potential, and has important significance in deepening our understanding of magmatic hydrothermal metallogenesis in this area.

Key words Re-Os isotopic age; Molybdenite; Porphyry copper deposit; Tonalite; Alteration; Qiongheba in Xinjiang

摘 要 琼河坝是新疆环准噶尔斑岩成矿带中一个重要矿集区,在地表已发现数个斑岩型铜矿,但由于戈壁滩等第四系覆盖,给以地表矿化线索为主的找矿工作带来诸多困难。近年,利用综合地球物理探测手段,在第四系覆盖区取得重大深部找矿成果,在琼河坝中南部的拉依克勒克地区,发现一个深部斑岩铜(钼)矿床。该矿床是通过地表大比例尺激电扫面,确定一个北西走向、长 5000m、宽 500 ~ 1000m 形态较完整的激电异常,通过钻探验证发现的。含矿岩体为一英云闪长岩体,不仅铜(钼)已经达到中型规模,金、铅锌也有很好的前景。在紧邻斑岩矿体的东南部位,还存在一个隐伏的矽卡岩型富铜-铁矿体。本文在对英云闪长岩的蚀变作用、地球化学、成矿特征研究基础上,对蚀变岩中 6 件辉钼矿样品的 Re-Os 同位素年龄做了测

* 本文受中国地质调查局地质矿产评价专项(1212011085024)、新疆维吾尔自治区地质勘查基金项目(A11-3-XJ4)、"十一五"国家支撑计划项目(2006CB412600)和地质过程与矿产资源国家重点实验室开放课题基金项目(GPMR2013)联合资助.

第一作者简介: 吕博, 男,1983 年生,博士生,矿床学专业,E-mail: lvbosama@gmail.com

** **通讯作者**:杨岳清,男,1941 年生,研究员,主要从事矿物、矿床和地球化学研究工作,E-mail: yangyueqing0@sina.com

定，其加权平均模式年龄为 411.1 ±2.4Ma，与本地区其它斑岩矿床的成矿年龄基本一致，进一步确证了琼河坝地区上志留到下泥盆世是区内重要的斑岩型铜多金属成矿期。这对进一步明确琼河坝地区斑岩型矿床的成矿环境和找矿方向有重要意义。

关键词 Re-Os 同位素年龄；辉钼矿；斑岩型铜矿床；英云闪长岩；蚀变作用；新疆琼河坝

中图法分类号 P588.122；P597.3；P618.41

1 引言

琼河坝地区（图 1）是新疆环准噶尔斑岩成矿带（董连慧等，2009；杨富全等，2010；申萍等，2010；冯京等，2010）中一个重要的矿集区（王晓地等，2006；王登红等，2009；陈仁义等，1995），近几年陆续发现了蒙西（屈迅等，2009；梁广林等，2010；肖鸿等，2010；张永等，2010a，b）和尔赛（程松林等 2010；杜世俊等，2010）、铜华岭（郭丽爽等，2009）等斑岩型矿床；还发现了宝山、北山等铁、金矿床。优越的成矿条件和相对较低的工作程度，使该地区具有寻找与岩浆热液有关矿床的良好前景。但戈壁滩严重的第四系覆盖，造成了主要依靠地表露头的传统地质找矿勘查工作面临很大困难，因此，必须依靠现代地球物理技术“穿透”覆盖层，获取深部成矿信息。

近年，笔者在对前人大量地、物、化资料分析的基础上，对琼河坝地区开展了更大比例尺的综合地球物理方法找矿勘查工作。在铜华岭斑岩铜矿北部大面积第四系覆盖的拉依克勒克地区，开展了 1∶5 万高精度重、磁面积测量和数据分析，在此基础上选定了成矿有利区，经 1∶1 万激电中梯扫面，发现了一个呈北西向带状展布的极化率异常，异常长度大于 5km、宽度在 500 ~ 1000m（图 2）。异常由两部分构成，北西侧异常较宽，中间有分叉现象，似乎由多个异常体组成；南东侧异常较为规整，且异常幅度较大。1∶5 万区域重磁局部异常图上对应矿床位置为局部重力低、无磁异常特征。根据区域局部重磁异常与中酸性岩体的关系，该区深部显然应为中酸性岩体。根据局部高极化、低重力、低磁力和低电阻率组合异常特征，推测磁异常组合由矿化岩体引起，随后作者对异常进行了钻探验证。在垂直异常走向的零勘探线上，布置了 ZK0-2 钻孔（图 2），在 40m 厚的第四系和泥盆系之下，发现一厚达近千米的含矿似斑状英云闪长岩体，并在其中圈出了铜（钼）矿体。随后在异常的东、中、西部位又陆续进行了钻探验证，发现覆盖层之下主体也为蚀变英云闪长岩，在其中也可圈出铜（钼）矿体，而且金、锌（铅）矿化也有很好的显示。到目前位置，已经控制的铜（钼）资源量达到中型。根据目前对蚀变英云闪长岩体规模的估计，铜（钼）、金、铅锌资源量还有很好的远景。

为进一步查明该矿床的成岩、成矿特征，为区域找矿勘查提供新的思路和信息，笔者对其含矿岩体开展了岩石学、地球化学、热液蚀变及矿化特征和辉钼矿的 Re-Os 同位素年龄测定等方面的工作。本文重点介绍这些研究工作的进展，并对其地质意义进行分析，为琼河坝地区寻找与岩浆热液活动有关的铜多金属矿床提供有意义信息。

2 区域地质背景

琼河坝地区构造上处于哈萨克斯坦-准噶尔板块（Ⅰ级），准噶尔微板块（Ⅱ级），谢米斯台-库兰卡兹干-纸房古生代复合岛弧带（Ⅲ级）中（董连慧等，2009，2010），早古生代岛弧遗迹已不多见，仅在区内最老地层中-上奥陶统（也可能有志留系）中保留一些活动大陆边缘岛弧的中-基性火山岩建造。晚古生代岛弧活动特征明显，基岩出露区下-中泥盆世-下石炭世时期的滨海-浅海相火山岩建造分布十分广泛。中生代沉积物基本仅为中侏罗统的陆相碎屑岩建造，不整合覆盖于古生代地层之上。

区内侵入岩发育，它们几乎占到全区出露基岩总面积的 1/3（屈迅等，2009，2010），总体分成加里东和海西期，均以中-酸性岩为主，从浅成岩株（脉）到中深成岩基均有所分布，常见岩体有黑云母二长花岗岩、英云闪长岩、闪长玢岩等。但由于区内戈壁滩大面积分布，地层和侵入岩的出露均不理想。

区内已发现铁、铜、钼、金，煤及非金属等矿产 16 种，矿产地达 50 余处。矿床成因类型较多，主要有 3 大类：①构造蚀变岩型金矿，以北山金矿床为代表；②矽卡岩型铁（铜）矿，以宝山矿床为代表（张锦祥等，2007）；③斑岩型铜矿，以蒙西和尔赛-铜华岭矿床为代表，本文讨论的成矿类型也属于这一类，但成矿特征又有所不同。

3 含矿岩体特征

由激电异常所推断的拉依克勒克隐伏岩体，主体为英云闪长岩，此外，还有黑云母二长花岗岩、黑云母钾长花岗岩，花岗闪长斑岩、斜长花岗斑岩、细粒蚀变钠长石化花岗岩等，从穿插关系看，前二类岩体形成早于英云闪长岩，其他岩体晚于英云闪长岩。英云闪长岩侵位在泥盆系下统托让格库都克组火山-碎屑岩中（新疆维吾尔自治区国土资源厅，2010），对围岩有较强的蚀变改造，在接触带产生较广泛的青盘岩化，本节主要对英云闪长岩的岩石学、热液蚀变及矿化特征做一论述。

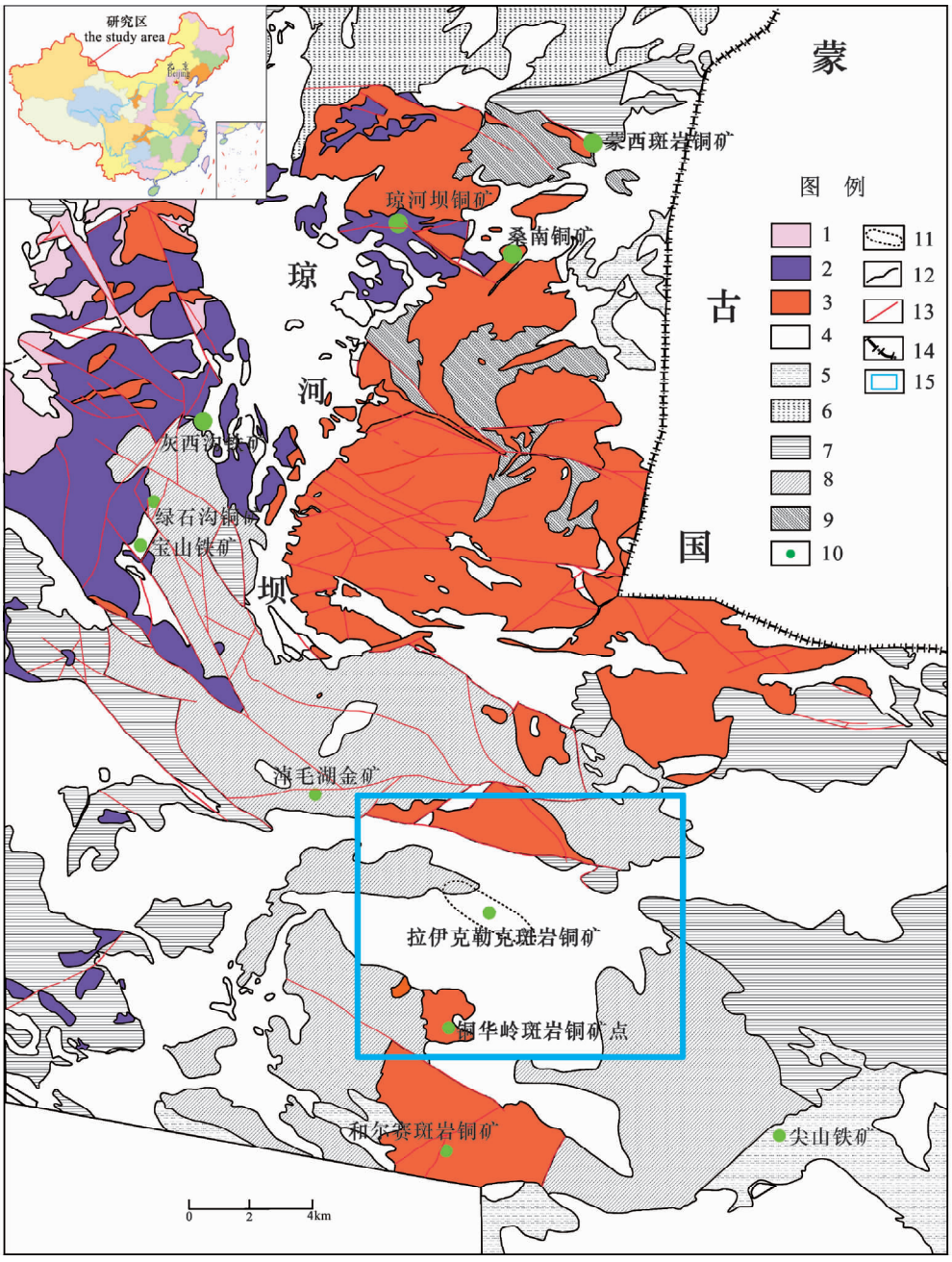


图 1 新疆琼和坝地区地质概要图

1-二叠纪侵入岩;2-石炭纪侵入岩;3-泥盆-志留纪侵入岩;4-第四系;5-侏罗系;6-二叠系;7-石炭系;8-泥盆-志留系;9-奥陶系;10-矿床点;11-依克勒克隐伏斑岩矿床范围;12-地质界线;13-断层;14-国界线;15-图 2 范围

Fig. 1 Sketch geological map of the Qiongheba area, Xinjiang

1-Permian intrusive rocks; 2-Carboniferous intrusive rocks; 3-Devonian-Silurian intrusive rocks; 4-Quatermary; 5-Jurassic; 6-Permian; 7-Carboniferous; 8-Devonian-Silurian; 9-Ordovician; 10-ore occurrence; 11-the scope of concealed porphyry deposit of Layikeleke; 12-geological boundary; 13-fault; 14-national boundary line; 15-the boundary of Fig. 2

3.1 英云闪长岩岩石学和地球化学特征

英云闪长岩组成矿物主要为中长石、石英、黑云母和角闪石,碱性长石很少,磁铁矿普遍存在,以不等粒结构为主。中长石中普遍存在环带结构,晶体较自形,但粒度往往相差较大,甚至达 6 倍,因此,岩体常呈现似斑状结构,中长石含量在 65% ~70%。石英以很不规则形态分布于斜长石粒间,粒度相差也较大,其含量一般在 17% ~20%,暗色矿物为角闪石和黑云母,含量 6% ~10%,角闪石普遍以翠绿色、无解理的大片假象出现,其中沿长轴方向有铁质析出,最为显著

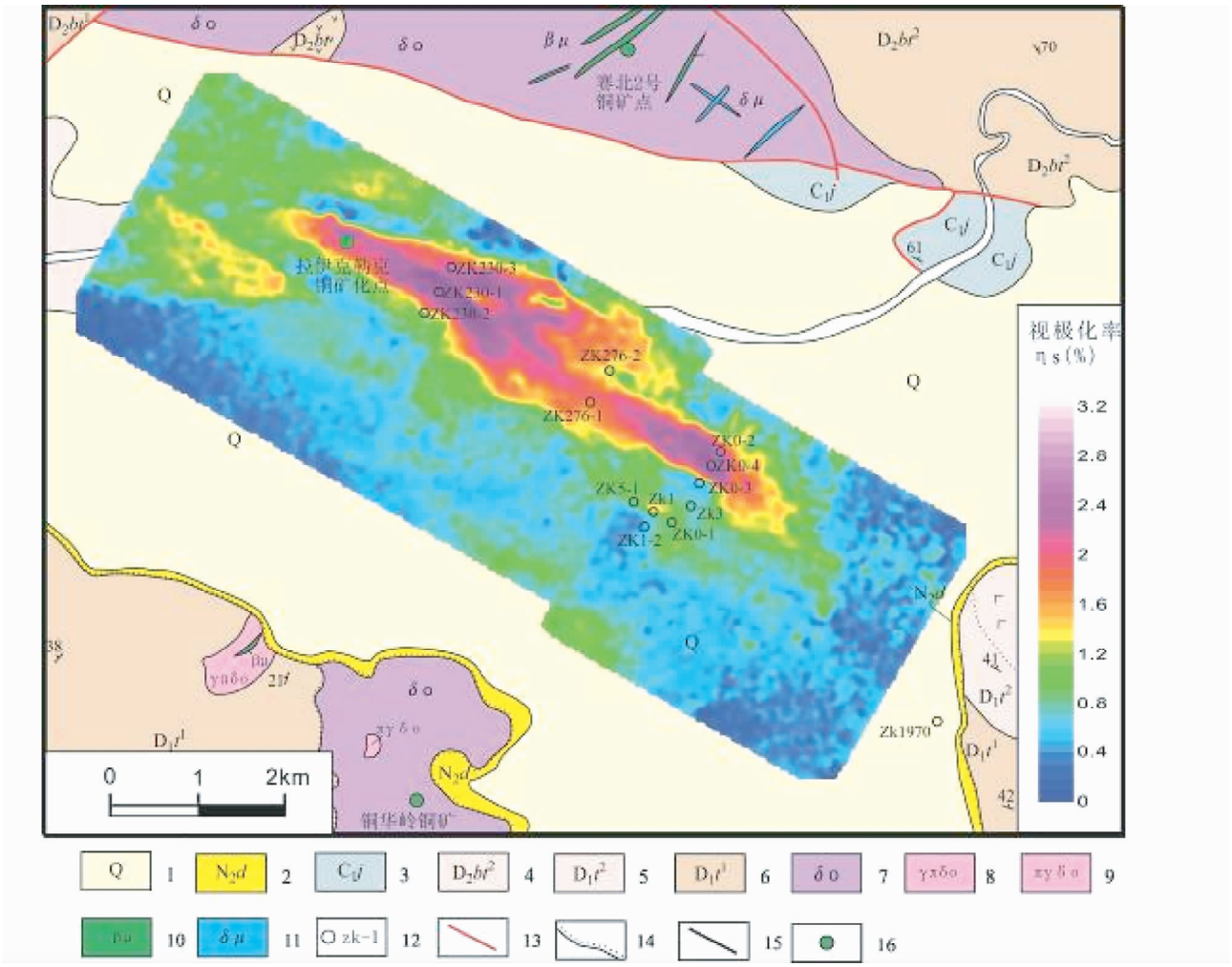


图 2 新疆拉依克勒克矿区地质图和探查区激电异常平面图

1-第四系;2-新近系上新统;3-石炭系下统姜巴斯套组;4-泥盆系中统北塔山组中段;5-泥盆系下统托让格库都克组中段;6-泥盆系下统托让格库都克组下段;7-英云闪长岩;8-细粒斑状英云闪长岩;9-英云闪长斑岩;10-辉绿岩脉;11-闪长玢岩脉;12-钻孔;13-断层;14-不整合面界线;15-地质界线;16-已知矿床(点)

Fig. 2 Geological map of the Layikeleke district stacked with induce polarize anomalies

1-Quaternary; 2-Pliocene in Neogene; 3-Jiangbasitao Formation of Lower Carboniferous; 4-Middle segment of Beitashan Formation in Middle Devonian; 5-Middle segment of Tuoranggekuduke Formation in Lowe Devonian; 6-lower part of Tuoranggekuduke Formation in Lower Devonian; 7-tonalite; 8-fine-porphyritic tonalite; 9-tonalitic porphyrite; 10-diabasic dike; 11-diorite porphyrite dike; 12-drilling; 13-fault; 14-uncomformity boundary; 15-geological boundary; 16-known deposits

的特征是在它之上常常有次生小片状黑云母集合体集聚分布。原生黑云母主要以不规则长条状-片状分布于斜长石和石英粒间,而且大部分也已蚀变,表现为退色和铁质的析出。

在英云闪长岩中常穿插有花岗闪长斑岩,钾长花岗岩,花岗细晶岩,钾长岩,辉绿岩等,它们在钻孔中的视厚度均很小,而且在其中也见不到主岩体中的热液蚀变及铜钼矿化,因此,推断它们是主岩体产生蚀变矿化后,以脉岩形式侵入的。

岩石的化学成分由国家地质实验测试中心完成分析(表1),主要元素用 X 荧光光谱仪(2100)分析;微量元素用等离子质谱仪(X-series)分析,分析精度优于 5%。

在英云闪长岩中由于蚀变作用普遍发育,特别是微细石英的存在,使岩体的 SiO_2 含量稍偏高,Na_2O 含量全部大于 K_2O,K_2O/Na_2O 普遍偏低,介于 0.09 ~ 0.44,平均仅有 0.29。其它成分基本和世界及我国的石英闪长岩-花岗闪长岩(Daly,1936;黎彤等,1998)相近。不论是英云闪长岩还是表列的其他岩石,它们在 SiO_2-K_2O 图上(图3),集中处于钙碱性系列和低钾系列之间。这与和尔赛斑岩铜矿区主体岩石的投点是一致的(杜世俊等,2010)。

英云闪长岩等岩石的稀土元素含量均不高,总量介于 53.34×10^{-6} ~ 66.81×10^{-6},但轻重稀土比值较大,LREE/HREE 变化于 5.92 ~ 9.34,其 $(La/Yb)_N$ 也有类似的特征,比

表 1 拉依克勒克地区英云闪长岩及其他岩石化学成分(主量元素:wt%;稀土和微量元素:$\times 10^{-6}$)

Table 1 Geochemical composition of tonalite and other rocks in Layikeleke area (major elements: wt%; trace elements: $\times 10^{-6}$)

样品号	ZK1-1-22	ZK0-3-28	ZK2-1-14	ZK5-1-7	ZK0-3-9	230 槽	ZK1-45	QH-1	ZK0-3-12
岩性	英云闪长岩					花岗闪长斑岩	细-中粒黑云母二长花岗岩	斜长花岗斑岩	细粒蚀变钠长石化花岗岩
SiO_2	67.54	65.00	63.98	66.47	64.98	64.45	67.14	67.06	69.61
TiO_2	0.22	0.35	0.42	0.28	0.34	0.34	0.28	0.23	0.25
Al_2O_3	15.85	16.77	17.46	16.42	16.76	17.52	15.93	16.85	13.89
Fe_2O_3	1.15	1.70	2.73	1.63	1.66	1.77	1.42	1.41	0.33
FeO	1.54	2.01	1.60	1.72	2.03	2.08	1.92	1.54	2.23
MnO	0.07	0.13	0.13	0.10	0.13	0.28	0.07	0.14	0.09
MgO	1.05	1.78	1.90	1.36	1.34	1.51	1.23	1.04	0.99
CaO	2.99	2.12	4.33	3.67	3.74	4.66	3.20	3.41	2.41
K_2O	1.30	1.92	1.11	1.06	0.94	0.40	1.52	1.08	1.01
Na_2O	5.38	4.30	3.70	4.58	3.53	4.61	4.59	5.03	6.04
P_2O_5	0.11	0.16	0.18	0.13	0.14	0.17	0.12	0.16	0.11
CO_2	0.42	0.25	0.25	0.25	0.34	0.17	0.25	0.17	1.52
H_2O^+	1.48	2.88	1.90	1.42	2.52	1.38	1.64	1.32	1.26
LOI	1.90	2.92	1.82	1.47	2.62	1.28	1.46	1.25	2.00
Total	99.52	99.41	99.61	99.14	98.55	99.24	99.13	99.37	100.48
La	11.7	10.4	10.4	10.5	7.96	8.91	12.1	9.43	8.66
Ce	21.2	20.8	21.7	21.6	17.6	20.7	24.4	18.3	18.6
Pr	2.46	2.67	2.62	2.46	2.17	2.26	2.71	2.20	2.28
Nd	9.31	10.6	11.0	9.58	8.49	8.95	10.3	8.80	9.14
Sm	1.55	1.96	2.20	1.78	1.88	1.83	1.83	1.74	1.77
Eu	0.68	0.70	0.85	0.74	0.94	0.67	0.67	0.69	0.59
Gd	1.87	1.78	3.21	1.98	1.88	1.67	1.79	1.97	2.15
Tb	0.23	0.34	0.38	0.29	0.31	0.29	0.29	0.28	0.26
Dy	1.10	1.68	1.81	1.44	1.59	1.51	1.29	1.29	1.20
Ho	0.23	0.31	0.35	0.28	0.31	0.27	0.25	0.25	0.24
Er	0.80	1.06	1.17	0.87	1.04	0.98	0.88	0.87	0.83
Tm	0.10	0.14	0.14	0.12	0.15	0.12	0.11	0.11	0.09
Yb	0.77	0.97	1.02	0.89	1.03	0.90	0.83	0.81	0.77
Lu	0.12	0.15	0.16	0.14	0.16	0.14	0.13	0.12	0.10
Y	7.02	10.2	9.80	8.52	9.49	8.85	7.97	7.78	6.66
Rb	19.4	32.1	19.4	16.9	15.9	5.50	24.7	18.0	14.1
Ba	521	440	317	750	271	203	632	548	340
Th	1.62	0.94	0.97	1.92	1.71	0.87	2.02	0.62	1.31
U	0.40	0.62	0.62	0.49	1.00	0.48	0.50	0.46	0.37
Sr	807	616	794	738	568	714	665	818	334
Zr	83.8	69.8	88.6	86.8	82.7	87.3	92.4	73.2	81.9
Hf	2.17	1.75	2.08	2.11	2.14	1.98	2.17	1.76	1.95
Nb	2.96	3.47	3.77	4.04	3.73	3.33	3.97	3.47	3.82
Ta	0.19	0.28	0.24	0.32	0.30	0.24	0.34	0.29	0.30
V	43.5	73.5	78.0	60.0	66.4	60.2	53.6	38.6	43.2
Cr	12.1	14.4	17.5	15.0	13.3	7.97	22.9	6.62	11.6
Ni	6.47	7.14	12.4	9.21	8.39	6.54	12.7	4.94	6.91
Co	6.44	6.14	9.97	6.62	6.22	7.27	7.41	4.99	5.65
∑REE	59.14	63.76	66.81	61.19	54.55	58.07	65.55	54.64	53.34
LREE/HREE	8.98	7.33	5.92	7.76	5.96	7.37	9.34	7.22	7.28
$(La/Yb)_N$	10.01	7.07	6.71	7.78	5.09	6.53	9.61	7.68	7.41
δEu	1.23	1.13	0.99	1.21	1.53	1.16	1.13	1.15	0.93

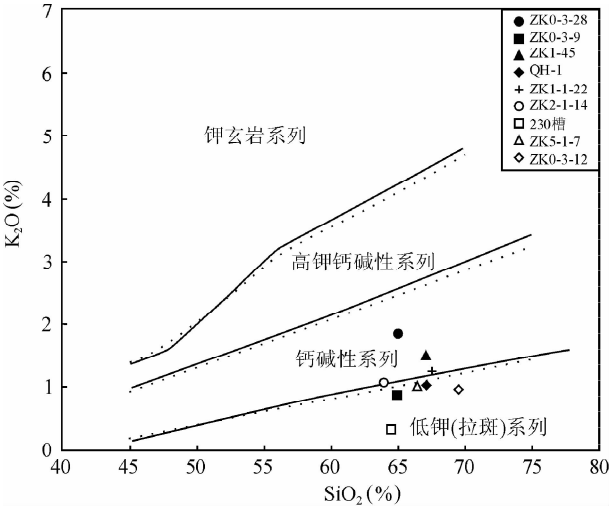


图 3 拉依克勒克地区英云闪长岩等岩石 SiO_2-K_2O 图

Fig. 3 SiO_2-K_2O diagram of tonalite and other rocks in Layikeleke area

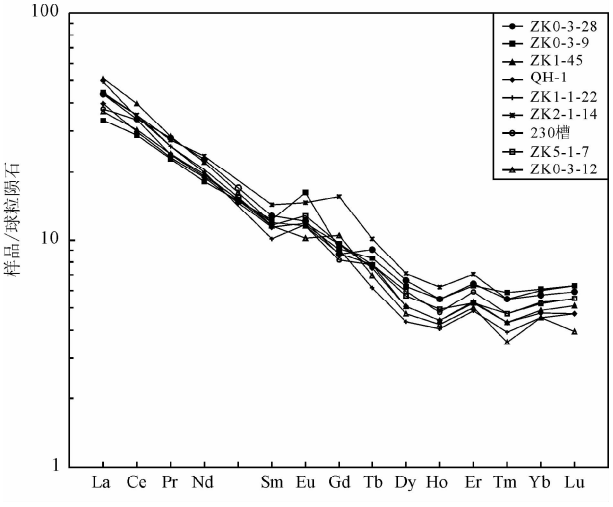


图 4 拉依克勒克矿化区英云闪长岩等岩石的稀土模式图

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of tonalite and other rocks in Layikeleke area

值介于 5.09 ~ 10.01，在模式图中呈较明显的右倾斜（图 4），Eu 基本无亏损，δEu 变化于 0.93 ~ 1.53，说明斜长石在岩浆的结晶分异演化过程中一直起到了稀土元素最主要载体的作用。

其它微量元素相对原始地幔的亏损和富集特征如图 5 所示：较富集的元素有 Rb、Ba、U、K、Sr 及 Zr、Hf、La 等大离子亲石元素，Th、Ti、Nb、Ta 的亏损，表明原始岩浆在演化早期就有金红石、钛铁矿等富含高场强元素矿物的结晶，P 主要受磷灰石分离结晶作用的制约，和原始地幔相比也有一定减少，值得注意的是所列举的各类岩石中，V、Cr、Ni、Co 的含量

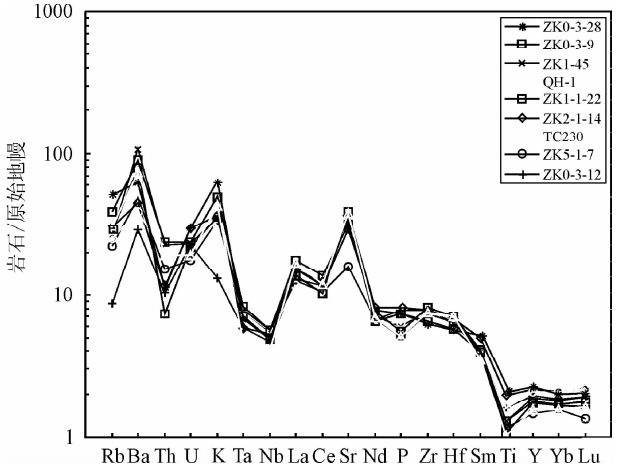


图 5 拉依克勒克矿化区英云闪长岩等岩石的微量元素蛛网图

Fig. 5 Trace element primitive mantle-normalized spider diagram of tonalite and other rocks in Layikeleke area

相对岩石圈中的花岗闪长岩类也明显偏少，根据维诺格拉多夫（1962）的资料（Röler and Lange, 1972），花岗闪长岩类中，V 的含量在 100×10^{-6}，Cr 的含量在 50×10^{-6}，Ni 的含量在 55×10^{-6}，Co 的含量在 10×10^{-6}，而表 1 的相应数值全部偏低，这可能表明英云闪长岩等岩石经历了较漫长的分异演化，一些偏基性高场强元素遗留于地壳深部。

3.2 英云闪长岩的热液蚀变特征

岩石具有广泛和较强的热液蚀变，热液对原岩的改造从早到晚经历了如下过程：

黑云母化 主要表现为次生黑云母对角闪石的交代，在次生黑云母化之前，角闪石就已发生了蚀变，即使在黑云母化很弱的英云闪长岩中，也极难见到新鲜的角闪石，而是以不太规整的大片状出现，在单偏光下显翠绿色，在正交偏光下具较弱的多色性，次生黑云母以小片集合体集聚其上（图 6a）。

绢云母化 起初表现为绢云母在斜长石表面浸染状分布，随着蚀变作用的增强，从稠密浸染分布到完全取代斜长石，仅保留其假象。当绢云母化进一步增强时，其晶体明显增大，呈晶簇、放射状集合体不均匀分布在斜长石和石英粒间。

绢英岩化 主要表现为绢云母和次生石英集合体取代原岩中的斜长石（钾长石）-石英-黑云母组合，次生石英在绢英岩中主要表现为微细粒石英集合体的不规则分布。

硅化 主要表现为规模不等的石英细脉沿构造裂隙分布，它们对以上蚀变岩石均有穿切特点。

粘土化 主要出现在近接触带弱蚀变的英云闪长岩中，表现为高岭石等粘土矿物在长石矿物表面大面积分布，宏观表现为岩石发红。

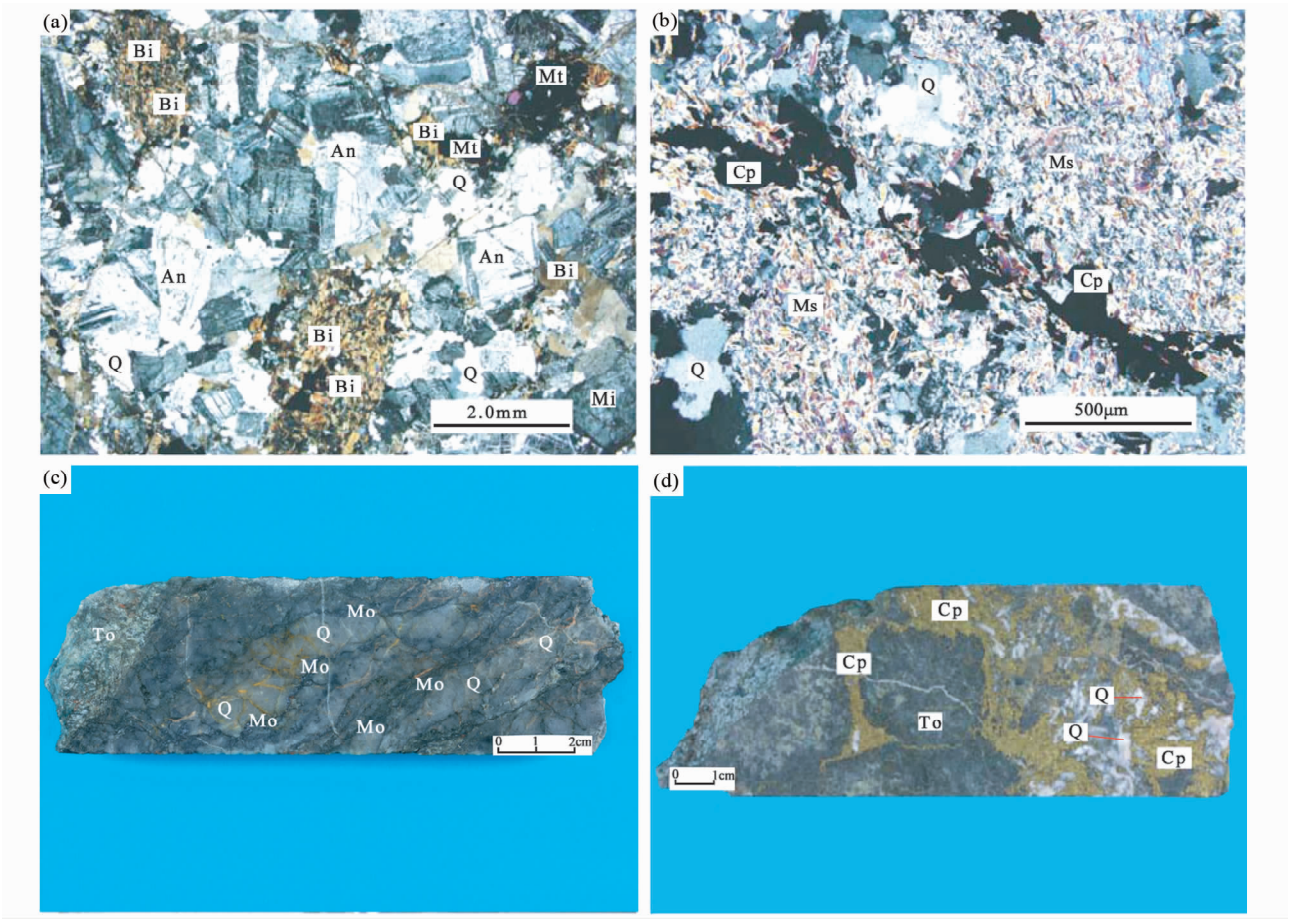


图 6 拉依克勒克英云闪长岩镜下及岩心照片

(a)-英云闪长岩,正交偏光,;(b)-黄铜矿以不规则团粒(黑色)分布在云英岩中,正交偏光;(c)-在晚期石英脉中,辉钼矿呈不规则细脉分布;(d)-在强硅化英云闪长岩中,黄铜矿和石英以不规则脉体分布其中. 缩写:An-中长石;Q-石英;Bi-黑云母;Mi-微斜长石;Mt-磁铁矿;Ms-绢云母; Mo-辉钼矿; Cp-黄铜矿; To-未蚀变英云闪长岩

Fig. 6 Photomicrographs of tonalite and Cu-Mo ore from Layikeleke

(a)-tonalite, orthogonal polarization; (b)-greisen chalcopyrite distribution in the tonalite, orthogonal polarization; (c)-molybdenite irregular distribution in the late quartz vein; (d)-chalcopyrite produced in irregular quartz vein of the strong silicified tonalite. Abbreviation: An-andesine; Q-quartz; Bi-biotite; Mi-microcline; Mt-magnetite; Ms- sericite; Mo-molybdenite; Cp-chalcopyrite; To-no alteration tonalite

另外,在岩石中也常出现钾长石化,表现为钾长石脉呈不规则的分布在蚀变岩石中。

英云闪长岩对围岩也有较强的蚀变改造,由于围岩岩性主要是中性火山岩系,围岩中的蚀变以阳起石化发育为特征,有时也出绿帘石化、绿泥石化和碳酸盐化,呈现出较典型的青盘岩化。

总之,在英云闪长岩中,斑岩矿床的特征蚀变组合全部存在。

以上蚀变在钻孔岩芯中的分布并不是很有规律,蚀变强度和岩石中微裂隙的发育关系较密切(高合明等,1994),微裂隙越发育,蚀变也越强。

3.3 矿化特征

目前,在拉依克勒克英云闪长岩中圈出的主要是铜(钼)矿体,金、锌等元素也有很好的成矿显示,成矿元素基本以独立矿物形式产出。其成矿作用和英云闪长岩的热液蚀变密切相关。

铜的成矿作用从英云闪长岩的绢云母化开始,到绢英岩化-硅化达到高潮,黄铜矿或浸染状分布在绢云母-石英集合体中(图 6b),或者和石英单独积聚分布构成富矿石(图 6d)。辉钼矿在绢英岩化阶段形成不多,主要在其后的硅化阶段,在石英脉中以不规则细脉形式产出(图 6c)。黄铜矿和黄铁矿紧密伴生,但黄铁矿总先于黄铜矿形成,黄铜矿或包裹黄铁矿,或穿插黄铁矿。金和锌的成矿作用相对较晚,而且多以闪锌矿(黄铜矿)-石英脉的形式出现。

当围岩捕掳体处于强蚀变矿化英云闪长岩中时,有时也可改造成云英岩化和硅化发育的铜矿石。

表 2 新疆拉伊克勒克铜矿化蚀变英云闪长岩中辉钼矿 Re-Os 同位素数据

Table 2 Re-Os dating data of molybdenite from Layikelek copper (molybdenum) mineralization tonalite, Xinjiang

样品号	m(g)	Re($\times10^{-6}$)		^{普}Os($\times10^{-9}$)		^{187}Re($\times10^{-6}$)		^{187}Os($\times10^{-9}$)		模式年龄(Ma)	
		测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
ZK2-1	0.00226	816397	6596	0.3336	2.2433	513122	4146	3521	35	410.4	6.2
ZK2-2	0.00229	834896	6719	1.2504	7.0072	524749	4223	3602	30	410.7	5.8
ZK2-3	0.00060	843865	7417	0.1873	0.4198	530386	4662	3632	32	409.6	6.0
ZK2-4	0.00212	654354	5231	3.6089	3.8149	411274	3288	2828	22	411.3	5.7
ZK2-5	0.00044	669747	6072	0.1797	0.6042	420949	3817	2900	23	412.2	6.0
ZK2-6	0.00215	816397	6596	0.3336	2.2433	513122	4146	3521	35	410.4	6.2

注：(1)^{普}Os 是根据原子量表(Wieser, 2006)和同位素丰度表(Bohlker *et al.*, 2005)，通过^{192}Os/^{190}Os 测量比计算得出，表中的^{187}Os 是^{187}Os 同位素总量；(2)Re、Os 含量的不确定度包括样品和稀释剂的称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测量的分馏校正误差、待分析样品同位素比值测量误差，置信水平 95%；(3)因为辉钼矿 Re 含量很高，几乎不含非放射成因的^{187}Os，故用样品的 Re、Os 含量按照下列公式直接计算模式年龄：$t=1/\lambda[\ln(1+{}^{187}\mathrm{Os}/{}^{187}\mathrm{Re})]$，其中 $\lambda(^{187}\mathrm{Re}\text{ 衰变常数})=1.666\times10^{-11}\,\mathrm{a}^{-1}$(Smoliar *et al.*, 1996)，模式年龄的不确定度还包括衰变常数的不确定度(1.02%)，置信水平 95%

从赋矿岩体的岩性及结构构造特征看，拉依克勒克英云闪长岩和国内外典型斑岩矿床的赋矿岩体有较大差异，它应属于中-深成岩体，但从岩体中的蚀变及矿化特征看，和斑岩矿床又基本无异，这说明在一定的地质环境中，绢英岩化-硅化和铜(钼)的细脉-浸染型矿化也可以发生在中深成的中-酸性岩体中。

4 辉钼矿的 Re-Os 同位素年龄测定

本文用于测试的 6 件辉钼矿样品均采自拉伊克勒克蚀变英云闪长岩中 ZK02 号钻孔(图 2)不同深度的石英细脉中，脉宽 1～8mm，辉钼矿在脉中以片径 0.5mm 左右的片状集合体分布，伴生矿物有黄铁矿和黄铜矿。辉钼矿的分离、挑选是在廊坊市科大岩石矿物分选技术服务有限公司完成的，挑选的辉钼矿样品纯度在 99% 以上。然后将选纯的辉钼矿样品在玛瑙乳钵中研磨至 200 目以下，以避免大颗粒辉钼矿中由于 Re 和 Os 的失耦而引起的测年误差(Stein *et al.*, 2001, 2003; 杜安道等, 2007)。

辉钼矿样品的 Re-Os 同位素年龄测试是在国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室完成，测试工作由中国地质科学院国家地质实验测试中心李超、杜安道研究员完成，测试方法及程序详见有关文献(Stein *et al.*, 2003; Selby *et al.*, 2004; 杜安道等, 1994, 2001; 屈文俊和杜安道, 2003, 李超等, 2009; 杨胜洪等, 2007)，采用美国 TJA 公司生产的 TJA X-series 电感藕合等离子体质谱仪测定同位素比值。本次实验的全流程空白为 Re=0.0002ng，^{187}Os=0.0002ng。实验流程由 JDC 监控，测定的模式年龄为(139.0±2.0)Ma，对应的年龄推荐值为(139.6±3.8)Ma，两者在误差范围内完全一致，表明本次测试的数据是可信的。

6 件样品的辉钼矿 Re-Os 同位素测年结果列于表 2，其 Re 含量为 654354×10^{-9}～843865×10^{-9}，平均 772609×10^{-9}，^{普}Os 含量为 0.1797×10^{-9}～3.6089×10^{-9}，平均 0.9823×10^{-9}，辉钼矿中 Re 含量之高在我国斑岩型矿床中少见，辉钼矿的高 Re 含量也完全保证了样品 Re、Os 测试分析的精确度。6 个样品的模式年龄变化范围很小，其加权平均年龄为 411.1±2.4Ma，MSWD=0.116，置信度为 95%(图 7)。

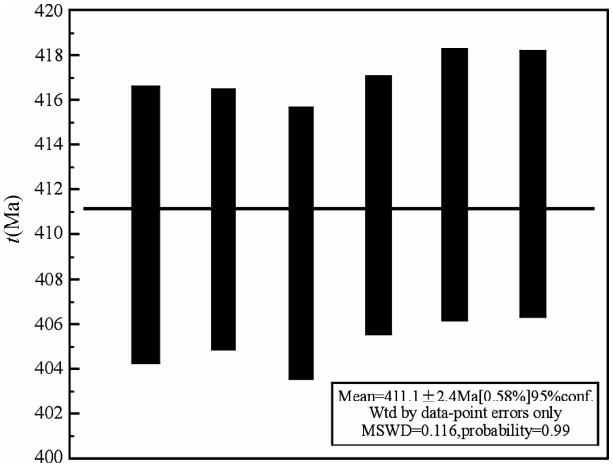


图 7 拉依克勒克铜(钼)矿化花岗岩中辉钼矿 Re-Os 同位素加权平均年龄

Fig. 7 Weighted avarage Re-Os ages of molybdenite from Layikelek copper (molybdenum) mineralization granite, Xinjiang

5 讨论

(1)琼河坝地区发现较早的蒙西大型斑岩型铜(钼)矿床中辉钼矿的 Re-Os 同位素年龄为 411.6Ma(张永等, 2010b)，和尔赛-铜华岭斑岩型铜(钼)矿床中辉钼矿的 Re-Os 同位素年龄为 409±12Ma(杜世俊等, 2010)，拉伊克勒克斑岩型铜-钼多金属矿床中辉钼矿的 Re-Os 同位素年龄为

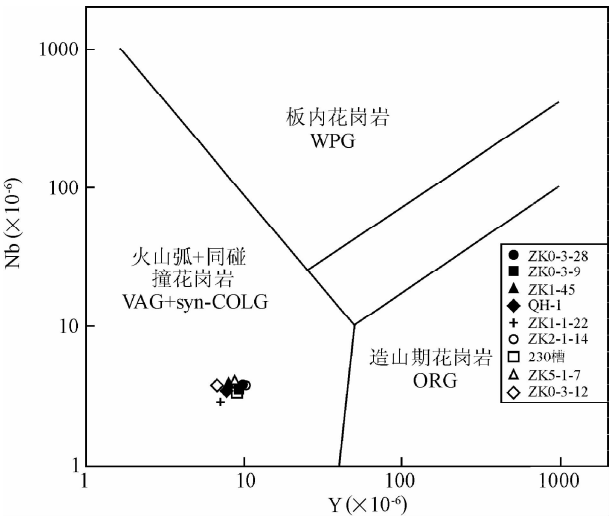


图 8 拉依克勒克地区英云闪长岩及其他岩石的 Y-Nb 图解

Fig. 8 Y vs. Nb diagram of tonalite and other rocks in Layikeleke area

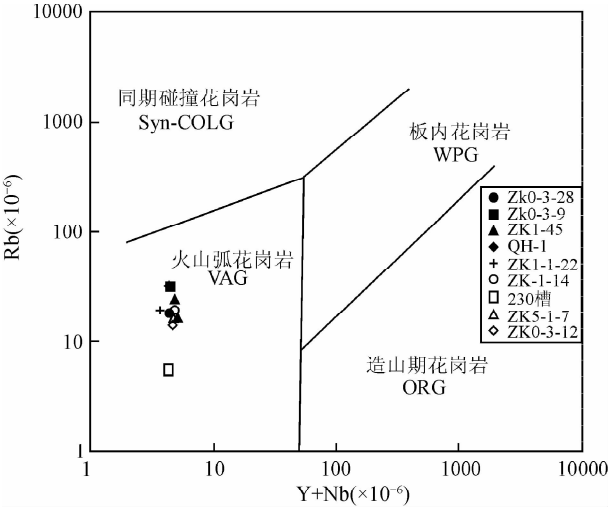


图 9 拉依克勒克地区英云闪长岩及其他岩石的 Yb + Nb-Rb 图解

Fig. 9 Yb + Nb vs. Rb diagram of tonalite and other rocks in Layikeleke area

411.1Ma,3 个矿床中辉钼矿的 Re-Os 同位素年龄如此相近,进一步确证了琼河坝地区上志留到下泥盆世是区内重要的斑岩型铜多金属成矿期。

(2)与蒙西斑岩铜矿有成因联系的斜长花岗斑岩 U-Pb 年龄为 413Ma(张永等,2010a),与和尔赛-铜华岭斑岩铜矿有成因联系的花岗闪长斑岩和英云闪长岩锆石 U-Pb 年龄为 411Ma(杜世俊等,2010)。在两个矿床中,成岩年龄早于成矿年龄 2Myr 左右,即琼河坝地区与斑岩矿床有关岩体的形成时间应在志留纪晚期。

对拉伊克勒克英云闪长岩和相伴生的中-酸性侵入岩中部分微量元素在 Y-Nb(图 8)和 Y + Nb-Rb(图 9)中的投点表明,它们均处于火山弧 + 同碰撞花岗岩区和火山弧花岗岩区,蒙西斑岩矿床中与成矿有关的斜长花岗斑岩和和尔赛-铜华岭斑岩矿床中与成矿有关花岗闪长斑岩和英云闪长岩中相关微量元素在图 8 和图 9 中的投点也是在这个范围(张永等,2010a;杜世俊等,2010)。表明琼河坝地区形成斑岩矿床的侵入岩是在相同的构造环境中产生的。

琼河坝地区大地构造环境前人已有较多论述(董连慧等,2009,2010;杜世俊等,2010;郭丽爽等,2009;屈迅等,2009),其共同认识是:在古生代漫长地质历史时期,哈萨克斯坦-准噶尔板块与西伯利亚-塔里木板块发生多期碰撞-挤压活动过程中,在二者的边缘地带形成了大洋岛弧、大陆岛弧等多种构造环境,其中琼河坝地区所处的谢米斯台-库兰卡兹干-纸房构造带是在早古生代陆缘岛弧基础上,叠加发育了晚古生代岛弧构造的复合岛弧,在矿产资源的勘查中,人们主要关注到的是晚古生代地质建造中的矿产,对早古生代岛弧地质建造中的矿产有所忽视。琼河坝地区成岩成矿年龄在 413 ~ 409Ma 斑岩型矿床的陆续发现,提醒人们对早古生代岛弧中的矿产也应给予重视。

(3)根据对我国 50 余个斑岩型和热液型钼矿床中辉钼矿的 Re 含量统计,90% 以上辉钼矿中 Re 含量低于 100000×10^{-9},但在琼河坝地区,拉依克勒克斑岩型矿床中辉钼矿的 Re 含量介于 $654354 \times 10^{-9} \sim 843865 \times 10^{-9}$,平均 772609×10^{-9};蒙西斑岩矿床中辉钼矿 Re 含量 $227635 \times 10^{-9} \sim 1135489 \times 10^{-9}$,平均 916342×10^{-9}(屈迅等,2009),铜华岭矿床中辉钼矿 Re 含量 $375900 \times 10^{-9} \sim 677300 \times 10^{-9}$,平均 444920×10^{-9}(杜世俊等,2010)。3 个矿床中辉钼矿的 Re 含量均如此高是非常值得重视的。

(4)长期以来,人们认同斑岩型矿床主要局限于浅成斑岩体中,因而斑岩型矿床的寻找,首先以发现斑岩体而开展,但近年来包括琼河坝在内的我国诸多地区,在中酸性深成岩中伴随绢云母化-云英岩化-硅化等蚀变而产生的细脉浸染型铜-钼等多金属的成矿作用,促使人们对斑岩矿床的概念也发生了较大的变化(张洪涛等,2004),显然,这对于斑岩型矿床的寻找可能会产生飞跃式的进展。

(5)拉依克勒克隐伏斑岩型矿床的发现过程中,重磁、激电等地球物理方法的综合使用起到了极其重要的作用,目前还有诸多新异常等待去验证。有理由相信,在琼河坝及新疆第四系广泛分布区,通过较深入和较系统的地球物理和其它地质工作,在隐伏矿产资源的寻找上会有重大突破。

6 结论

(1)通过大比例尺重磁、电综合地球物理勘查技术,在新疆琼河坝第四系覆盖区发现了拉伊克勒克斑岩型铜(钼)矿床。本文首次对该矿床含矿岩体的岩石学、地球化学、蚀变

与矿化特征进行了研究；

（2）拉伊克勒克斑岩型铜-钼多金属矿床的 Re-Os 同位素年龄为 411.1Ma，与区域上其它斑岩型矿床成矿年龄相近，进一步确证了琼河坝地区晚志留世到早泥盆世存在一期成矿作用；

（3）成矿岩体的微量元素分析表明，拉伊克勒克斑岩型铜-钼多金属矿床形成于陆缘岛弧环境。该矿床的发现提醒人们注意早古生代岛弧中的矿产；

（4）该矿床的发现，进一步验证了大比例尺重磁、电综合地球物理技术在覆盖区寻找隐伏矿床是行之有效的。

致谢 感谢两位审稿人提出的宝贵意见。

References

Chen RY, Liu GH and Ma YW. 1955. Geological characteristics and genetic mechanism of Cu-Au mineralization in Qiongheba, Xinjiang. Geology and Prospecting, 31(1): 26 – 31 (in Chinese with English abstract)

Cheng SL, Wang SX, Feng J, Tan KB, Jia HX and Chen Q. 2010. Geological characteristics and prospecting standards of the He'ersai copper deposit, Xinjiang. Xinjiang Geology, 28(3): 254 – 259 (in Chinese with English abstract)

Daly RA. 1936. Igneous Rocks and the Depths of the Earth. New York and London: Mcgraw Hill Comp., 1 – 598

Dong LH, Xu XW, Qu X and Li GM. 2009. Tectonic setting and formation mechanism of the circum-Junggar porphyritic copper deposit belts. Acta Petrologica Sinica, 25(4): 713 – 737 (in Chinese with English abstract)

Dong LH, Qu X, Zhu ZX and Zhang LC. 2010. Tectonic evolution and metallogenesis of Xinjiang, China. Xinjiang Geology, 28(4): 351 – 357 (in Chinese with English abstract)

Du AD, He HL, Ying WN, Zou XQ, Song YL, Song DZ, Chen SZ and Qu WJ. 1994. A study on the rhenium-osmiun geochronometry of molybdenite. Acta Geologica Sinica, 68(4): 339 – 347 (in Chinese with English abstract)

Du AD, Zhao DM, Wang SX, Sun DZ and Liu DY. 2001. Precise Re-Os dating for molybdenite by ID-NTIMS with Carius Tube sample preparation. Rock and Mineral Analysis, 20(4): 247 – 252 (in Chinese with English abstract)

Du AD, Qu WJ, Wang DH, Li HM, Feng CY, Liu H, Ren J and Zeng FG. 2007. Subgrain-size decoupling of Re and ^{187}Os within molybdenite. Mineral Deposits, 26(5): 572 – 580 (in Chinese with English abstract)

Du SJ, Qu X, Deng G, Zhang Y, Cheng SL, Lu HF, Wu Q and Xu XW. 2010. Chronology and tectonic setting of the intrusive bodies and associated porphyry copper in Hersai area eastern Junggar. Acta Petrologica Sinica, 26(10): 2981 – 2996 (in Chinese with English abstract)

Feng J, Xu SQ, Zhao Q and Lan X. 2010. Metallogenesis regularity of porphyry copper in Xinjiang and vectors for prospecting. Xinjiang Geology, 28(1): 43 – 51 (in Chinese with English abstract)

Gao HM, Yu CW and Bao ZY. 1994. Dynamics of vein formation in porphyry copper deposits. Geological Review, 40(6): 508 – 512 (in Chinese with English abstract)

Guo LS, Zhang R, Liu YL, Xu FJ and Su L. 2009. Zircon U-Pb age of Tonghualing intermediate-acid intrusive rocks, eastern Junggar, Xinjiang. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis (Online First), (1): 22 – 27 (in Chinese with English abstract)

Li C, Qu WJ and Du ND. 2009. Comprehensive study on extraction of rhenium with acetone in Re-Os isotopic dating. Rock and Mineral Analysis, 28(3): 233 – 238 (in Chinese with English abstract)

Li T, Yang HY and Wu SX. 1998. On the average chemical composition of granitoids in China and the world. Geotectonica et Metallogenia, 22(1): 29 – 34 (in Chinese with English abstract)

Liang GL, Xu XW, Gao CR, Wu HP, Zhang ZF, Zhao FZ, Yan XL and Qiao JC. 2010. Geological and geophysical characteristics and prognostic analysis of Mengxi porphyry Cu-Mo deposit, eastern Junggar. Xinjiang Geology, 28(4): 402 – 408 (in Chinese with English abstract)

Qu WJ and Du AD. 2003. Highly precise Re-Os dating of molybdenite by ICP-MS with Carius tube sample digestion. Rock and Mineral Analysis, 22(4): 254 – 257 (in Chinese with English abstract)

Qu X, Xu XW, Liang GL, Qu WJ, Du SJ, Jiang N, Wu HP, Zhang Y, Xiao H and Dong LH. 2009. Geological and geochemical characteristics of the Mengxi Cu-Mo deposite and its constraint to tectonic setting of the Qiongheba magmatic arc in eastern Junggar Xinjiang. Acta Petrologica Sinica, 25(4): 765 – 776 (in Chinese with English abstract)

Qu X, Xu XW, Dong LH, Liang GL, Deng G, Zhou G and Chen SL. 2010. Tectonic types of porphyry copper deposit in eastern Junggar, Xinjiang. Xinjiang Geology, 28(1): 32 – 37 (in Chinese with English abstract)

Röler HJ and Lange H. 1972. Geochmical Tables. Edition Lepzig, 175 – 177

Selby D and Creaser RA. 2004. Macroscale NTIMS and microscale LAMC-ICP-MS Re-Os isotopic analysis of molybdenite: Testing spatial restrictions for reliable Re-Os age deteminations, and implications for the decoupling of Re and Os within molybdenite. Geochim. Cosmochim. Acta, 68(19): 3897 – 3908

Shen P, Dong LH, Feng J, Wang H, Xu XW, Xue CJ and Qu X. 2010. Distribution, age and metallogenic characteristics of the porphyry copper deposits in Xinjiang, China. Xinjiang Geology, 28(4): 358 – 364 (in Chinese with English abstract)

Stein HJ, Markey RJ, Morgan JW, Hannah JL and Chersten A. 2001. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: How and why it works. Terra Nova, 13(6): 479 – 486

Stein HJ, Chersten A, Hannah JL and Markey RJ. 2003. Subgrainschle decoupling of Re and ^{187}Os and assessment of laser ablation ICP-MS spot dating in molybdenite. Geochim. Cosmochim. Acta, 67(19): 3673 – 3686

The General office of Land and Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region. 2010. Regional Geological Survey Report, China. Beijing: China University of Geosciences Press (in Chinese)

Wang DH, Li HQ, Ying LJ, Mei YP and Chu ZL. 2009. Copper and gold metallogenic epoch and prospecting potential in Qiongheba area of Yiwu County, Xijiang. Mineral Deposits, 28(1): 73 – 82 (in Chinese with English abstract)

Wang XD, Liu DQ, Tang YL and Zhou RH. 2006. Metallogenic characteristics and perspective of the porphyry copper in Qiongheba, Yiwu County. Xinjiang Geology, 24(4): 398 – 404 (in Chinese with English abstract)

Xiao H, Wei JH, Liang GL, Zhang ZF, Wu HP, Zhao FZ, Yan XL and Xu XW. 2010. Metallogenic stage and statistical significance of ore-forming elements of Mengxi porphyry Cu-Mo deposit, eastern Junggar. Xinjiang Geology, 28(4): 427 – 433 (in Chinese with English abstract)

Yang FQ, Yan SH, Liu GR, Zhou G, Zhang ZX, Liu F, Gen XX and Gou CL. 2010. Geological characteristics and metallogenesis of porphyry copper deposits in Junggar, Xinjiang. Mineral Deposits, 29(6): 956 – 971 (in Chinese with English abstract)

Yang SH, Qu WJ, Yang G, Du AD and Chen JF. 2007. The correction of mass fractionation in the measurement of rhenium and osmium isotope ratios by ICP-MS. Rock and Mineral Analysis, 26(1): 4 – 8 (in Chinese with English abstract)

Zhang HT, Chen RY and Han FL. 2004. Reunderstanding of metallogenic geological conditions of porphyry copper deposits in China. Mineral Deposits, 23(2): 150 – 163 (in Chinese with English abstract)

Zhang JX, Nie WD, Zhao XL, Zhang MJ, Zhu J and Xu XW. 2007. Geological characteristics and metallogenic model of the Baoshan iron deposit and some prospectinc indicators in the Yiwu County, Xinjiang. Xinjiang Geology, 25(4): 369 – 372 (in Chinese with English abstract)

Zhang Y, Liang GL, Qu X, Du SJ, Wu Q, Zhang ZF, Dong LH and Xu XW. 2010a. Evidence of U-Pb age and Hf isotope of zircons for Early Paleozoic magmatism in the Qiongheba arc, East Junggar. Acta Petrologica Sinica, 26(8): 2389 – 2398 (in Chinese with English abstract)

Zhang Y, Liang GL, Wu QY, Wu Q, Zhang ZF, Wu HP, Qu X and Xu XW. 2010b. Characteristics and formation mechanism of the veins in Mengxi porphyry Cu-Mo deposit, eastern Junggar, Xinjiang China. Acta Petrologica Sinica, 26(10): 2997 – 3006 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

维诺格拉多夫(1962)资料,应该补充转引自谁? 否则直接该文献!!!

陈仁义, 刘光海, 马义文. 1995. 新疆琼河坝铜金矿化地质特征及成因机理. 地质与勘探, 31(1): 26 – 31

程松林, 王世新, 冯京, 谭克彬, 贾红旭, 陈强. 2010. 和尔赛斑岩型铜矿床地质特征及找矿标志. 新疆地质, 28(3): 254 – 259

董连慧, 徐兴旺, 屈迅, 李光明. 2009. 初论环准噶尔斑岩铜矿带的地质构造背景与形成机制. 岩石学报, 25(4): 713 – 737

董连慧, 屈迅, 朱志新, 张良臣. 2010. 新疆大地构造演化与成矿. 新疆地质, 28(4): 351 – 357

杜安道, 何红蓼, 殷万宁, 邹晓秋, 孙亚利, 孙德忠, 陈少珍, 屈文俊. 1994. 辉钼矿的铼-锇同位素地质年龄测定方法研究. 地质学报, 68(4): 339 – 347

杜安道, 赵敦敏, 王淑贤, 孙德忠, 刘敦一. 2001. Carius 管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-锇同位素地质年龄. 岩矿测试, 20(4): 247 – 252

杜安道, 屈文俊, 王登红, 李厚民, 丰成友, 刘华, 任静, 曾法刚. 2007. 辉钼矿亚晶粒范围内 Re 和 ^{187}Os 的失耦现象. 矿床地质, 26(5): 572 – 580

杜世俊, 屈迅, 邓刚, 张永, 程松林, 卢鸿飞, 吴琪, 徐兴旺. 2010. 东准噶尔和尔赛斑岩铜矿成岩成矿时代与形成的构造背景. 岩石学报, 26(10): 2981 – 2996

冯京, 徐仕琪, 赵青, 兰险. 2010. 新疆斑岩型铜矿成矿规律及找矿方向. 新疆地质, 28(1): 43 – 51

高合明, 於崇文, 鲍征宇. 1994. 斑岩铜矿床中脉体形成的动力学. 地质论评, 40(6): 508 – 512

郭丽爽, 张锐, 刘玉琳, 许发军, 苏犁. 2009. 新疆东准噶尔铜华岭中酸性侵入体锆石 U-Pb 年代学研究. 北京大学学报(自然科学版)网络版, (1): 22 – 27

李超, 屈文俊, 杜安道. 2009. 铼-锇同位素定年法中丙酮萃取铼的系统研究. 岩矿测试,28(3): 233 – 238

黎彤 袁怀雨 吴胜昔. 1998. 中国花岗岩类和世界花岗岩类平均化学成分的对比研究. 大地构造与成矿学, 22(1): 29 – 34

梁广林, 徐兴旺, 高长荣, 吴慧平, 张征峰、赵富庄, 闫西林, 乔家昌. 2010. 蒙西斑岩铜矿地质地球物理特征及找矿潜力分析. 新疆地质, 28(4): 402 – 408

屈文俊, 杜安道. 2003. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定辉钼矿铼-锇地质年龄. 岩矿测试, 22(4): 254 – 257

屈迅, 徐兴旺, 梁广林, 屈文俊, 杜世俊, 姜能, 吴惠平, 张永, 肖鸿, 董连慧. 2009. 蒙西斑岩型铜钼矿地质地球化学特征及其对东准噶尔琼河坝岩浆岛弧构造属性的制约. 岩石学报, 25(4): 765 – 776

屈迅, 徐兴旺, 董连慧, 梁广林, 邓刚, 周刚, 陈松林. 2010. 新疆东准噶尔斑岩铜矿主要构造类型. 新疆地质, 28(1): 32 – 37

申萍, 董连慧, 冯京, 王核, 徐兴旺, 薛春纪, 屈迅. 2010. 新疆斑岩型铜矿分布、时代及成矿特点. 新疆地质, 28(4): 358 – 364

新疆维吾尔自治区国土资源厅. 2010. 中华人民共和国区域地质调查报告(1∶50000). 北京: 中国地质大学出版社

王登红, 李华芹, 应立娟, 梅玉萍, 初振利. 2009. 新疆伊吾琼河坝地区铜、金矿成矿时代及其找矿前景. 矿床地质, 28(1): 73 – 82

王晓地, 刘德权, 唐延龄, 周汝洪. 2006. 伊吾县琼河坝地区斑岩铜矿成矿地质特征及远景评价. 新疆地质, 24(4): 398 – 404

肖鸿, 魏俊浩, 梁广林, 张征峰, 吴慧平, 赵富庄, 闫西林, 徐兴旺. 2010. 蒙西斑岩铜钼矿床成矿阶段及成矿元素统计分析意义. 新疆地质, 28(4): 427 – 433

杨富全, 闫升好, 刘国仁, 周刚, 张志欣, 刘锋, 耿新霞, 郭春丽. 2010. 新疆准噶尔斑岩铜矿地质特征及成矿作用. 矿床地质, 29(6): 956 – 971

杨胜洪, 屈文俊, 杨刚, 杜安道, 陈江峰. 2007. 电感耦合等离子体质谱法测量铼和锇同位素比值的质量分馏校正. 岩矿测试, 26(1): 4 – 8

张洪涛, 陈仁义, 韩芳林. 2004. 重新认识中国斑岩铜矿的成矿地质条件. 矿床地质, 23(2): 150 – 163

张锦祥, 聂卫东, 赵献丽, 张明君, 朱靖, 徐兴旺. 2007. 新疆伊吾县宝山铁矿地质特征、成矿模式与找矿方向. 新疆地质, 25(4): 369 – 372

张永, 梁广林, 屈迅, 杜世俊, 吴琪, 张征峰, 董连慧, 徐兴旺. 2010a. 东准噶尔琼河坝岛弧早古生代岩浆活动的锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素证据. 岩石学报, 26(8): 2389 – 2398

张永, 梁广林, 吴倩怡, 吴琪, 张征峰, 吴惠平, 屈迅, 徐兴旺. 2010b. 东准噶尔蒙西斑岩铜钼矿床脉体特征及其形成机制. 岩石学报, 26(10): 2997 – 3006