

青海龙尾沟铜金矿床含矿斑岩脉地质与地球化学特征及研究意义

安国英^{1,2}, 张汉成¹, 徐善法^{1,3}, 叶树民³

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 3. 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要: 青海省龙尾沟铜、金矿床是近年来阿尔金山南麓地区找矿工作所取得的重大突破, 已探明铜、金矿体与花岗斑岩脉具有直接成因关系。从地质和地球化学特征上讨论了花岗斑岩脉的特征与成矿的关系, 借此了解对龙尾沟铜、金矿床成因的认识。

关键词: 斑岩铜矿; 地球化学特征; 矿床成因; 青海龙尾沟

中图分类号: P632 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2005)06-0497-06

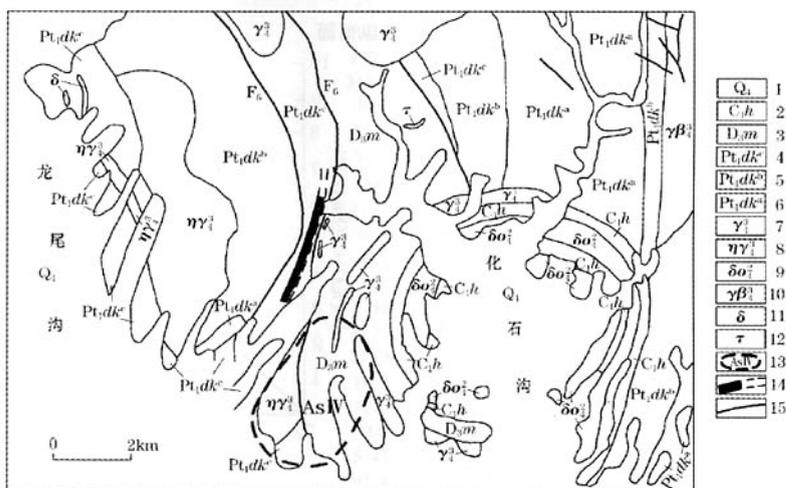
国内外的有关文献中, 普遍强调斑岩铜矿在成因上与钙碱性系列岩石有关^[1-3], 近期研究^[4-6]显示在我国青藏高原的喜马拉雅—西藏造山带广泛发育有与高钾钙碱性系列到高钾碱性系列岩石有关的斑岩型铜矿床。这表明与铜矿有关的斑岩既有钙碱性系列, 又有碱性钾质系列。

青海省龙尾沟铜、金矿床是在执行青海省委下达的“青海省冷湖镇龙尾沟一带金异常查证”项目过程中, 提交的1处铜金矿产地。已探明铜、金矿体与花岗斑岩脉具有直接成因关系, 或花岗斑岩脉

本身就构成工业矿体。笔者在矿区选取与成矿作用关系密切的中酸性斑岩脉, 对其地质和地球化学特征进行研究, 取得一些成因的认识, 借此指导进一步的找矿工作。

1 矿区地质概况

龙尾沟铜、金矿床地处柴达木准地台与塔里木地台接合部位的阿尔金山俯冲—碰撞造山带^[7]南部, 与祁连山断裂构造带相交切, 自元古代以来经历了多期次构造运动事件, 岩浆活动极为强烈, 矿区出露



1—第四系; 2—石炭系下统(怀头他拉组); 3—泥盆系上统(牦牛沟组); 4—达肯大坂群上岩组; 5—达肯大坂群中岩组; 6—达肯大坂群下岩组; 7—华力西晚期花岗岩; 8—华力西晚期二长花岗岩; 9—华力西中期石英闪长岩; 10—加里东期蚀变黑云母花岗岩; 11—闪长岩脉; 12—细晶斑岩脉; 13—化探异常及编号; 14—铜(金)矿化带; 15—断层及编号

图1 青海省龙尾沟铜、金矿区地质简况

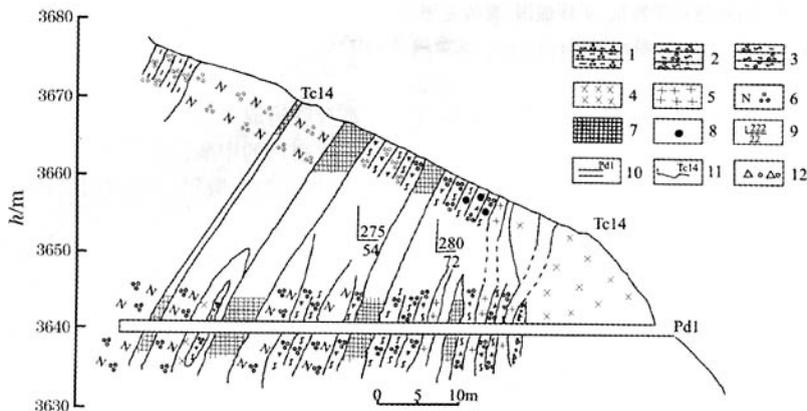
地层主要为下元古界达肯大板群, 次为泥盆系上统耗牛沟组、石炭系下统怀头他拉组及第四系(图1)。

矿区东南部化石沟具明显环形构造。区内断裂构造极为发育, 主要由阿尔金断裂系派生的北北东向断裂构成, 属压扭性质, 断面见明显扭曲现象, 呈向西凸弧形展布, 总体倾向东, 倾角70°左右。

矿区内岩浆活动强烈, 规模大, 期次多, 形成以华力西中晚期中酸—酸性侵入岩为主的岩株或岩脉, 局部可见铜、金多金属矿化现象。其中花岗岩脉及花岗斑岩、长英质斑岩等, 内部常可见到蚀变矿化现象, 局部富集形成铜、金矿石; 长英质斑岩脉内部多见蚀变矿化现象, 局部强硅化、绢云母化部位构成铜、金矿体。

2 花岗斑岩脉与铜、金矿化关系

从已查明铜、金矿床(体)的产出空间和矿化特征来看, 铜、金矿化与花岗斑岩脉有密切的时空关系。在平面上, 铜、金矿化主要赋存于沿化石沟环形构造分布的环状花岗斑岩脉中, 矿化体沿花岗斑岩脉断续延伸, 同时这些花岗斑岩脉或矿体的产出受环状断裂F₀及其派生的次级断裂或裂隙控制, 沿走向有分叉复合现象。在垂向上, 即探槽和平洞中可见到花岗斑岩脉或矿体呈多层出现, 且从北向南, 随着标高降低, 出现由多层花岗斑岩脉或矿体向深部逐渐收缩为两层直至一层岩脉或矿体的现象, 向深部延伸并与隐伏花岗岩体(株)相连接(图2)。



1—黑云石英片岩; 2—绢云绿泥石英片岩; 3—绿泥石英片岩; 4—辉长岩; 5—花岗岩; 6—花岗斑岩; 7—铜金矿体; 8—铜矿化; 9—产状; 10—平洞及编号; 11—探槽及编号; 12—破碎带

图2 14 线纵剖面

3 斑岩脉岩石地球化学特征

选取8件有代表性的斑岩脉样品, 进行了常量元素、微量元素和稀土元素的测试分析, 研究斑岩脉的地球化学特征。

3.1 岩石化学特征

斑岩脉的岩石化学成分列于表1。从表中可见, $w(\text{SiO}_2)$ 为 59.69% ~ 71.11%, 属中性—中酸性; $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 为 12.85% ~ 19.21%, 属铝饱和岩石; $w(\text{FeO})$ 低于 2%; $w(\text{MgO})$ 和 $w(\text{CaO})$ 低于 2%; $w(\text{K}_2\text{O})$ 为 2.30% ~ 7.25%, 属高钾特征。经计算, 里特曼指数(δ)介于 1.75 ~ 3.58 之间, 多数小于 3.3; 碱度率介于 2.21 ~ 5.12 之间; $w(\text{K}_2\text{O}) + w(\text{Na}_2\text{O})$ 介于 6.27% ~ 9.43% 之间, $w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O})$ 介于 0.58 ~ 15.10 之间, 多数大于 1, 属钙碱性钾质岩系。

与中国英安岩及花岗闪长岩平均值相比, 在岩石化学成分除 CaO 稍低, K_2O 稍高外, 近似中国英

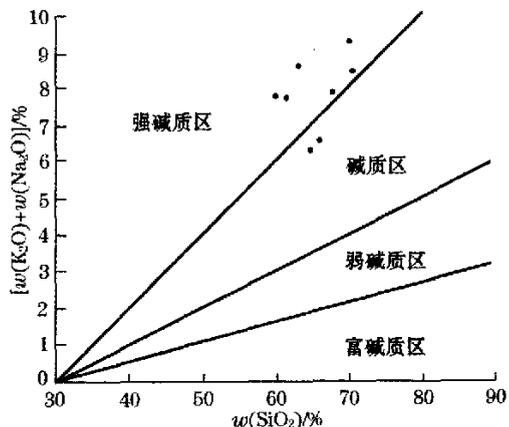


图3 成矿岩体 $w(\text{K}_2\text{O}) + w(\text{Na}_2\text{O})$ 对 SiO_2 变异图

安岩平均值, 与西藏玉龙的含矿斑岩的平均值接近^[8-9]。在岩石的硅-碱变异图(图3)上, 投影点集中在强碱质与碱质区的分界线附近, 属于适度富碱、低钙的岩石类型。

表1 斑岩脉的岩石化学成分对比

%

岩性	花岗斑岩					二长斑岩		正长斑岩	均值	离差	英安岩	花岗 闪长岩	含矿斑岩
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8			(1)	(2)	(3)
SiO ₂	68.30	71.11	66.44	65.47	70.79	61.45	59.69	64.20	65.93	3.85	65.70	64.98	68.21
TiO ₂	0.37	0.05	0.08	0.65	0.18	0.23	0.43	0.46	0.31	0.19	0.65	0.52	0.38
Al ₂ O ₃	15.50	13.49	17.21	14.42	12.85	16.00	19.21	14.97	15.46	1.92	15.24	16.33	14.55
Fe ₂ O ₃	2.25	1.43	2.59	4.92	2.25	6.47	4.12	4.25	3.54	1.58	2.88	1.89	1.56
FeO	1.05	0.58	0.54	2.90	0.76	0.58	0.50	0.85	0.97	0.75	1.56	2.49	1.34
MnO											0.10	0.09	0.04
MgO	0.88	0.35	0.68	1.96	0.53	1.10	1.65	1.48	1.08	0.54	1.57	1.94	1.29
CaO	0.53	1.53	0.49	1.46	1.16	0.13	0.06	0.74	0.76	0.53	4.00	3.70	1.25
Na ₂ O	3.20	5.18	2.45	3.97	4.24	1.43	0.48	3.76	3.09	1.45	3.13	3.67	3.00
K ₂ O	4.52	3.21	4.23	2.30	5.19	6.28	7.25	4.92	4.74	1.48	2.83	2.95	5.26
P ₂ O ₅	0.12	0.030	0.026	0.036	0.030	0.088	0.070	0.178	0.072	0.051	0.16	0.32	0.21
合计	96.72	96.96	94.74	98.09	97.98	93.76	93.46	95.81	95.47		97.82	98.88	97.09
δ	2.36	2.50	1.90	1.75	3.20	3.22	3.58	3.55					2.88
碱度率	2.86	3.53	2.21	2.30	5.12	2.83	2.34	3.47					2.53
w(K ₂ O)	1.41	0.62	1.73	0.58	1.22	4.39	15.10	1.31					
w(Na ₂ O)													
w(K ₂ O) + w(Na ₂ O)	7.72	8.39	6.68	6.27	9.43	7.71	7.73	8.68					

注:(1)、(2)分别是中国英安岩、花岗闪长岩均值(黎彤、饶纪龙等,1962);(3)是西藏玉龙铜矿的含矿斑岩的平均含量。

表2 含铜斑岩脉微量元素含量对比

元素	均值	标准离差	极小值	极大值	变异系数	中性岩*	酸性岩*	地壳丰度值
Au	16.76	18.415	1.0	57.4	1.10		4.5	4
Ag	3425.63	7207.85	192	22420	2.10	70	50	80
As	435.03	562.82	3.7	1698.5	1.29	2.4	1.5	2.2
Sb	1.29	0.915	0.25	2.96	0.71	0.2	0.26	0.6
Bi	21.57	27.95	0.29	83.34	1.30	0.01	0.01	0.2
Hg	21.36	18.61	5.1	58.8	0.87		0.08	0.089
W	23.9	35.57	0.78	114.71	1.49	1.0	1.5	1.1
Mo	2.3	1.26	0.45	4.70	0.55	0.9	1.0	1.3
F	938.38	936.30	163	3265	1.0	500	800	450
S	2102.00	1865.37	173	5723	0.89	200	400	400
Pb	193.19	378.50	17.8	1191.2	2.0	15	20	12
Zn	47.39	39.63	11.7	130.1	0.84	72	60	94
Cu	931.66	1004.14	4.8	2448.2	1.08	35	20	63
Ni	2.98	1.95	1.0	6.8	0.65	55	8	89
Co	5.28	3.74	0.5	11.9	0.71	10	5	25
V	36.74	13.02	22.7	59.4	0.35	100	40	140
Ti	1758.75	778.43	568	2849	0.44	8000	2300	6400
Cr	26.34	32.24	6.9	110.8	1.22	50	25	110
Mn	358.38	117.41	205	618	0.33	1200	600	1300
Sr	137.25	42.36	68	215	0.31	800	300	400
Rb	171.71	105.31	31	374	0.61	100	200	78
Ba	859.58	246.41	431	1249	0.29	650	830	390
U	1.90	1.03	0.13	3.23	0.54	1.8	3.5	1.7
Th	12.56	7.45	0.39	23.18	0.59	7	18	5.8
Nb	11.31	5.65	1.8	16.3	0.50	20	20	19
Ta	0.91	0.46	0.16	1.45	0.51	0.7	3.5	1.6
Zr	130.18	63.47	20	184	0.49	260	200	130
Hf	3.80	1.84	0.64	5.43	0.48	1.0	1.0	1.5
Li	29.23	26.89	4.7	97.4	0.92	20	40	21
Be	2.15	0.68	0.99	3.25	0.32	1.8	5.5	1.3
Cs	4.73	2.59	0.89	8.38	0.55		5.0	1.4
Ga	16.86	3.89	12.8	24.0	0.2	20	20	18
Tl	1.78	1.41	0.16	4.69	0.79	0.5	1.5	0.48
P	270.04	214.9	107	797	0.80	1600	700	1200
Ce	43.31	33.11	5.2	100.7	0.76		100	43
La	25.39	18.27	2.8	52.3	0.72		60	39

*引自维诺格拉多夫(Vinogradov,1962);地壳元素丰度值引自黎彤(1976);w(Au,Ag)/10⁻⁹,w(B)/10⁻⁶
万方数据

3.2 微量元素特征

斑岩脉中的微量元素含量能够有效地反映岩石成岩和成矿特征。表2中列举了斑岩的平均含量、标准偏差和变化系数。从表2可以看出：

(1) 斑岩脉中的 Ag、Cu、As、Pb 元素,不但平均含量非常高,而且变化系数也相当大,是最具找矿意义的地质体。

(2) 各元素的方差变化极为悬殊,方差大于 10^5 的元素有 Ag、S、Cu、F、Ti、As、Pb; 大于 10^4 小于 10^5 的元素有 Ba、P、Mn、Rb; 大于 10^3 小于 10^4 的元素有 Zr、Sr、Zn、W、Ce、Cr; 大于 10^2 小于 10^3 的元素有 Bi、Li、Hg、Au、La、V; 其余元素的方差均小于 100。

(3) 斑岩中 As、Sb、Bi、Hg、Cu、Pb、Ag、Au、W、Mo、Hf、Tl、S 等含量高于维氏值 (Vinogradov, 1962) 2 倍以上, 而 Co、Ni、Cr、Be、Ba、Rb、Cs、F 等元素的含量与维氏值大致相当或为偏高, 其他元素含量较低。

(4) 将斑岩脉和矿石微量元素含量特征进行对比 (图4), 可以看出斑岩和矿石中二者微量元素具有几乎一致的变化趋势, 反映出二者可能之间存在成因联系。

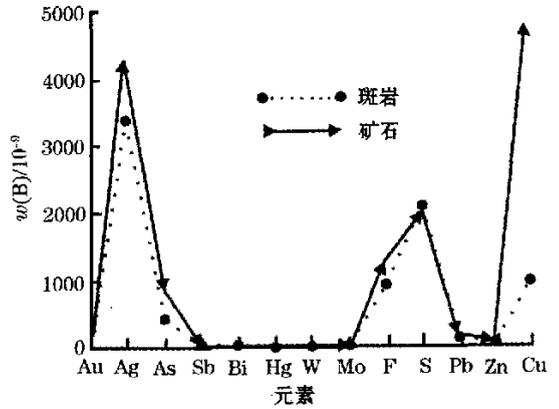


图4 斑岩及矿石微量元素含量对比

表3 斑岩脉稀土元素含量及特征值

10^{-6}

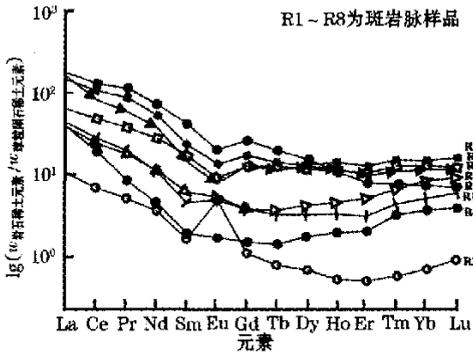
岩性 样号	花岗岩斑岩					二长斑岩		正长斑岩
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
La	14.0	3.3	20.9	55.5	12.6	47.9	12.0	47.6
Ce	22.5	5.8	40.1	105.1	19.9	68.1	15.5	91.4
Pr	2.32	0.60	4.47	12.74	2.07	6.76	1.02	10.07
Nd	6.5	2.3	16.6	44.2	6.8	22.3	2.8	31.8
Sm	0.91	0.32	3.28	8.02	1.15	2.94	0.38	4.81
Eu	0.37	0.37	0.69	1.42	0.40	0.57	0.13	0.97
Gd	1.0	0.3	3.1	6.9	1.0	3.4	0.4	4.4
Tb	0.16	0.04	0.55	0.94	0.19	0.59	0.07	0.67
Dy	1.13	0.23	3.94	4.89	1.42	4.44	0.60	4.24
Ho	0.25	0.04	0.88	0.77	0.35	1.04	0.15	0.86
Er	0.68	0.11	2.21	1.70	1.11	2.65	0.46	2.13
Tm	0.15	0.02	0.43	0.26	0.24	0.52	0.11	0.38
Yb	1.09	0.15	2.72	1.52	1.72	2.94	0.77	2.49
Lu	0.20	0.03	0.41	0.23	0.30	0.51	0.13	0.41
ΣREE	51.25	13.61	100.26	244.15	49.27	164.65	34.53	202.26
ΣLREE	46.60	12.69	86.04	226.98	42.92	148.57	31.83	186.65
ΣHREE	4.65	0.92	14.22	17.17	6.35	16.08	2.70	15.61
$\frac{w(\Sigma LREE)}{w(\Sigma HREE)}$	10.02	13.79	6.05	13.22	6.76	9.24	11.79	11.96
$\delta(Eu)/\%$	0.120	0.363	0.066	0.058	0.112	0.056	0.101	0.064
$\delta(Ce)/\%$	0.086	0.091	0.094	0.085	0.084	0.079	0.081	0.094
$[\frac{w(La)}{w(Yb)}]_N$	8.48	14.53	5.07	24.11	4.84	10.76	10.29	12.62

注: 由中国地质科学院研究所测试

3.3 稀土元素特征

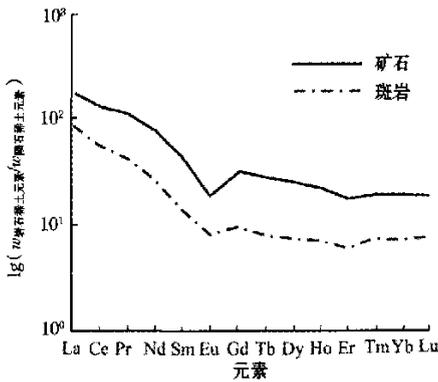
从表3可以看出, 斑岩脉 $w(\Sigma REE)$ 变化范围大, 从 13.61×10^{-6} 至 244.15×10^{-6} , $w(\Sigma LREE)$ 为 $12.69 \times 10^{-6} \sim 226.98 \times 10^{-6}$, $w(\Sigma LREE)/w(\Sigma HREE)$ 为 6.05 ~ 13.79, $(w_{La}/w_{Yb})_N$ 值为 5.07 ~ 24.11; $w_{Yb} < 2.94 \times 10^{-6}$, 变化于 $0.15 \times 10^{-6} \sim 2.94 \times 10^{-6}$ 万方数据

10^{-6} ; $\delta(Eu)$ 大于 0.105% 的有 3 个样品, $\delta(Eu)$ 小于 0.105% 有 5 个样品。从图5上看出, 除 R2 显示 Eu 峰外, 其他样品显示弱—中等程度的 Eu 亏损, $\delta(Ce)$ 小于 0.094, 稀土配分模式为 LREE 富集的右倾型, 这与矿石的稀土配分模式相一致 (图6), 反映出二者之间在成因上存在密切联系。



据 Boynton, 1984

图5 斑岩稀土元素配分模式



据 Boynton, 1984

图6 斑岩与矿石稀土元素配分模式

4 含矿斑岩脉的来源、形成和演化

斑岩的来源、形成和演化对成矿作用本质特征具有至关重要的意义,下面就这一问题进行讨论。

4.1 斑岩脉的物质来源

斑岩脉 SiO₂ 含量介于 59.69% ~ 71.11%, 岩性从中性到酸性, 反映了物质来源及其演化的复杂性。从微量元素特征看, 亏损高场强元素 Nb、Ta, 富集大离子不相容元素 Rb、Sr、Ba 等, 这些特征集中说明

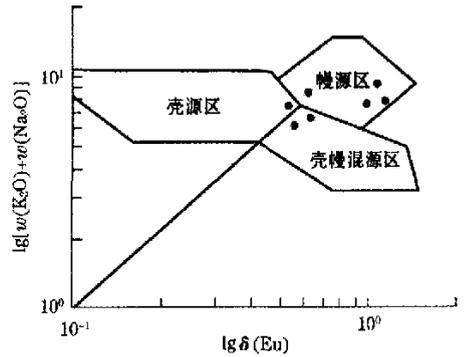


图7 含矿斑岩的全碱-δEu 投影

斑岩脉起源于上地幔。在全碱-铕异常图解上, 投影点主要位于幔源和壳幔混源区, 部分壳源(图7), 说明初始岩浆可能源于上地幔。 $w(Rb)/w(Sr)$ 比值介于 0.27 ~ 5.81 (绝大多数样品大于 0.5, 部分样品介于 0.05 ~ 0.5), 可见斑岩脉主要来自壳源, 部分壳幔混源。

4.2 岩浆形成过程

岩浆的形成有部分熔融、结晶分异、岩浆混合等多种方式。本区斑岩脉的 Co、Ni、Cr、V、Ti 等元素不仅含量低, 而且变化范围大, 暗示了结晶分异作用可能占主导地位。在 Zr-Ta、Hf-Ta 图解(图8)上, 表现为沿一定斜率和水平方向分布的基本特点; 沿一定斜率分布的斑岩为批式部分熔融的产物, 而沿水平方向分布的斑岩则为结晶分异作用的产物, 主要以结晶分异为主。据此推断, 形成斑岩脉的岩浆起源于上地幔, 基性的初始岩浆, 在上升至地壳浅部(莫霍面附近)时, 发生了铁镁质矿物的结晶分异, 这种分异后的岩浆在地壳底部发生底侵作用, 形成壳底岩浆房, 它的高温使其上部的下地壳发生部分熔融, 产生中性岩浆, 中性岩浆进一步结晶分异, 沿断裂构造形成中酸性斑岩脉。

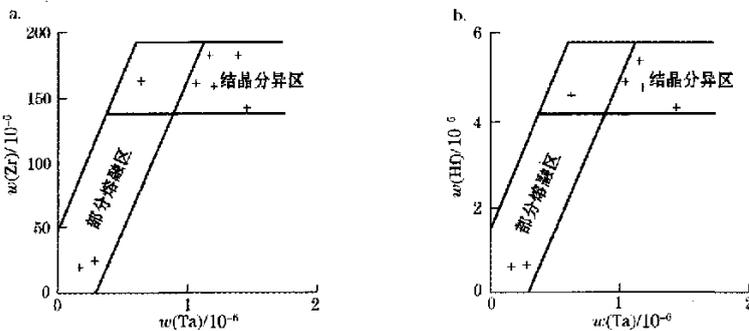


图8 矿区斑岩 Zr-Ta(a)、Hf-Ta(b) 图解

5 结论与讨论

通过对龙尾沟铜、金矿床含矿斑岩岩石化学成分和微量元素及稀土元素地球化学特征的研究,可以归纳出如下一些认识:

(1) 龙尾沟铜、金矿床的含矿斑岩属钙碱性钾质系列岩石,适度富碱、低钙的岩石类型,是成矿最有利的岩石类型。

(2) 与矿石相比,斑岩脉中的微量元素含量有几乎一致的变化趋势或明显的共消长关系,这与岩浆的形成和演化过程直接相关;尽管斑岩脉 Σ REE偏低,但二者具有一致的稀土配分模式,这意味着二者有着相似(同)的来源背景,可能为上地幔岩浆底侵后,部分熔融周围变质岩地层部分并经历结晶分异作用的结果。

(3) 已知矿床(体)的产出均与围绕化石沟环形构造分布的花岗斑岩脉有关,在已揭露探槽和平硐中均可见到花岗斑岩脉多层出现并有向深部逐步收敛,而化石沟环形构造推测深部存在隐伏花岗岩体(株),为已知矿床(体)的成矿作用提供丰富的成矿物质及热源并构成斑岩型铜、金矿床。

(4) 已知矿床(体)在空间上,严格受沿化石沟环形构造分布的环状断裂构造(F_6)控制,而 F_6 及其派生的次级断裂或裂隙又为深源岩浆底侵提供了占位空间,这种空间关系暗示着矿床的形成与斑岩

型铜、金矿床紧密相关。

基于上述认识,可以看出龙尾沟铜、金矿床属在成因上与陆缘走滑型斑岩成矿系统有关,其深部具有很大的勘探潜力,应进一步加强的化石沟环形构造深部勘探及研究力度,以期提交更大的储量成果。

参考文献:

- [1] Tittle S R. Geological characteristics and environment of some porphyry copper occurrences in the north-western Pacific [J]. *Econ-Geol*, 1975, 70: 499 - 514.
- [2] 芮宗瑶, 黄崇钶, 齐国明, 等. 中国斑岩铜(钼)矿[M]. 北京: 地质出版社, 1984.
- [3] 冶金工业部地质研究所. 中国斑岩铜矿[M]. 北京: 科学出版社, 1984. 34 - 38.
- [4] 徐正余, 陈福忠, 郑延中, 等. 青藏高原主要矿产及其分布规律[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- [5] 侯增谦, 曲晓明, 黄卫, 等. 冈底斯斑岩铜矿成矿带有望成为西藏第二条“玉龙”铜矿带[J]. *中国地质*, 2001, 28(10): 27 - 29.
- [6] 芮宗瑶, 陆彦, 李光明, 等. 西藏斑岩铜矿的前景展望[J]. *中国地质*, 2003, 30(3): 302 - 308.
- [7] 车自成, 刘良, 刘洪福, 等. 阿尔金断裂系的组成及相关中生代含油气盆地的成因特征[J]. *中国区域地质*, 1998, 17(4): 377 - 384.
- [8] 黎彤, 倪守斌. 地球和地壳的化学元素丰度[M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- [9] 黄崇钶, 白冶, 朱裕生, 等. 中国铜矿床[M]. 北京: 地质出版社, 2001: 79 - 80.

GEOLOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE LONGWEIGOU PORPHYRY COPPER-GOLD DEPOSIT IN QINGHAI PROVINCE

AN Guo-ying^{1,2}, ZHANG Han-cheng¹, XU Shan-fa^{1,3}, YE Shu-min³

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. China Aerogeophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China; 3. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, CAGS, Langfang 065000, China)

Abstract: The Longweigou porphyry copper deposit in Qinghai Province is an important deposit discovered in southern Altun Mountains in recent years. It has been proved that the Cu (Au) ore bodies are directly related to the granite-porphyry veins. Based on geological and geochemical background, this paper has discussed the relationship between the porphyry veins and the ore-forming process, and put forward the metallogenic mechanism of this porphyry Cu (Au) deposit.

Key words: granite porphyry Cu deposit; geochemical characteristics; genesis of the ore deposit; Longweigou in Qinghai

作者简介: 安国英(1966 -), 女, 高级工程师。1988年毕业于成都地质学院, 1997年毕业于长春科技大学获工学硕士学位, 现为地质大学(北京)在读博士研究生, 主要从事成矿预测和勘查地球化学科研工作。