

文章编号 :1007-3701(2006)03-0031-06

东昆仑野马泉地区矽卡岩矿床地球化学特征及其成因意义

刘云华¹, 莫宣学², 张雪亭^{2,3}, 许国武³(1. 宜昌地质矿产研究所, 湖北 宜昌 443003; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083;
3. 青海省地质调查院, 西宁 810012)

摘要 东昆仑西段(祁曼塔格)的野马泉地区,是青海省内一个重要的多金属成矿区。该区以往的工作程度较低,与花岗岩有关的铁、铜、多金属矿床多是近几年地质大调查中新发现的。本文通过对野马泉地区铁、铜、多金属矿床矿石矿物组合、围岩蚀变分带、黄铁矿 Co/Ni 比值、矿石稀土元素特征、矿床硫、铅同位素组成特征等的研究。结果表明,野马泉地区矽卡岩型多金属矿床的形成与东昆仑晚古生代-早中生代构造岩浆旋回造山后期的伸展引张环境形成的碱性 A 型花岗岩有关,成矿物质主要来自岩浆,具有深部来源特征,与幔源基性岩浆底侵及其与壳源酸性岩浆的混合作用有关,属于典型的钙、镁矽卡岩型矿床。

关键词 矽卡岩;多金属矿;地球化学;野马泉;东昆仑

中图分类号 P588.12⁺¹

文献标识码 A

东昆仑西段的野马泉地区是青海省重要的多金属成矿带之一,因为具有良好的成矿地质条件而倍受地质界的关注^[1~3]。特别是新一轮矿产资源大调查以来,在该区发现了大量与花岗岩有关的矽卡岩型 Fe、Cu、Pb、Zn、Ag 等多金属矿床或矿化点,并对矿床类型、矿物共生组合、矿石结构构造、围岩蚀变类型等矿床地质特征等进行了初步研究^[4],为该区进一步找矿指明了方向。本区以往的地质研究程度很低,对矿床地球化学及物质来源的研究较为薄弱,制约了对区域成矿规律和成矿条件的全面分析和认识。作者对野马泉地区矽卡岩型 Fe、Cu 多金属矿床矿床地球化学特征进行了研究,为本区进一步寻找与花岗岩有关的多金属矿床以及区域成矿物质来源和成矿规律的研究提供了新的资料。

1 成矿地质背景

东昆仑野马泉景忍花岗岩位于柴达木准地台南缘,在青海省的大地构造划分中,将其归属于东昆仑西段的昆北构造带祁曼塔格亚带^[5]。野马泉地区与多金属成矿作用有关的小岩株大小不等,单个岩体的出露面积从 0.5~5.5 km²。岩石呈肉红色,风化后呈紫红色,中细粒结构,块状构造。岩石类型为正长花岗岩。

前人研究后认为,本区与矽卡岩矿床主要与高钾钙碱性系列花岗质岩浆活动有关^①。经对成矿花岗岩岩石地球化学特征研究后认为,成矿花岗岩为碱性 A 型花岗岩,形成于造山后期的伸展引张环境,其成岩 SHRIMP 年龄测定值为 204 ± 2.6 Ma。

2 矿床地质特征

野马泉矽卡岩型 Fe、Cu、Pb、Zn、Ag 等多金属矿床赋矿地层主要为元古界狼牙山群、上奥陶统铁

收稿日期 2006-03-16

基金项目 青海省东昆仑野马泉-乌兰珠尔金属矿床成矿规律研究。

作者简介 刘云华(1965—),男,博士,从事矿物学、岩石学、矿床学研究。

①张德全等,柴达木盆地南北缘成矿地质环境及找矿远景对比研究科技报告数据。

石达斯群及石炭系上统四角羊沟组结晶灰岩、泥灰岩、白云质灰岩、白云岩等(见图1),矿床(点)主要产自正长花岗岩岩株周围及附近的矽卡岩断裂破碎带中。已发现大小矿体30余个,其中以景忍东Ⅱ-1号矿体、虎头崖Ⅰ-5、Ⅰ-17号矿体规模较大,矿体最长可达1580 m,最厚可达12 m,呈脉状、透镜体状、串珠状分布,总体上形态比较简单。

矿石矿物成分有磁铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜

矿、黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿、黝铜矿、蓝铜矿,白铁矿,少量辉铜矿、辉碲铅矿、锡石等;非金属矿物有石榴石、透辉石、透闪石、硅灰石、金云母、方解石,阳起石、绢云母、绿泥石等。

围岩蚀变主要发育有硅化、钠长石化、绿帘石化、绿泥石化、黄铁矿化、角岩化、透闪石化、阳起石化、石榴石化、透辉石化、金云母化和大理岩化等。

矽卡岩热液作用期次划分为早、中、晚三个阶段。

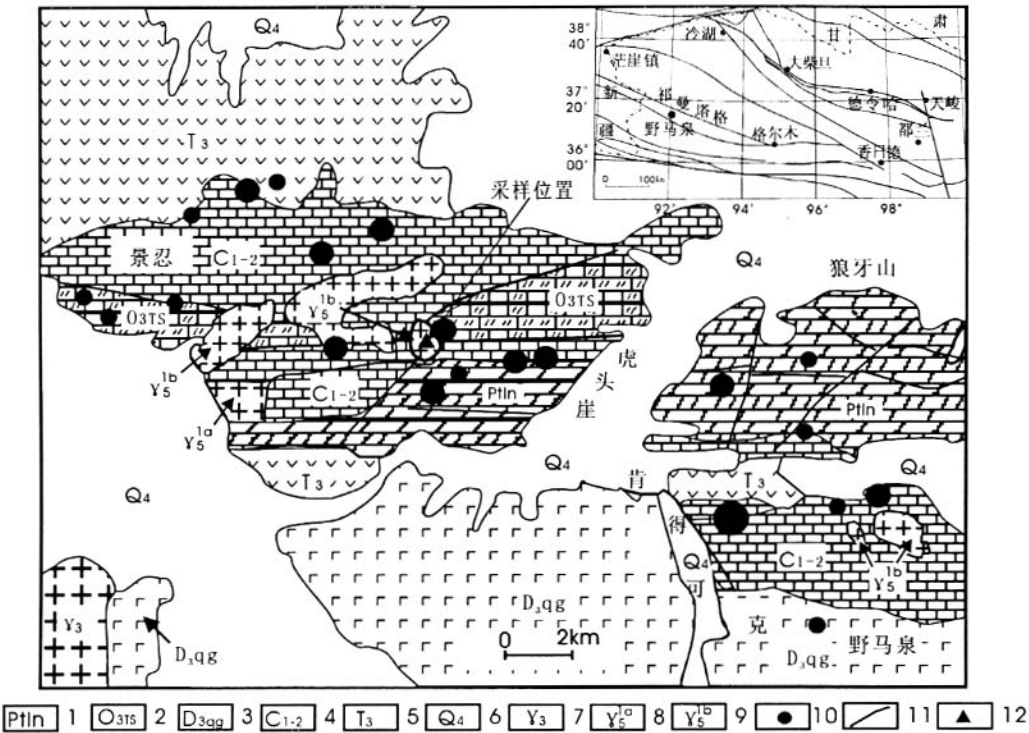


图1 野马泉地区地质矿产图

Fig. 1 The sketch map of geology and mineral deposits of Yemaquan area

1. 狼牙山群白云岩、白云质灰岩 2. 铁石达群上部板岩、白云岩 3. 契盖苏群安山岩、流纹质、含角砾凝灰岩 4. 四角羊、大干沟组生物碎屑灰岩、灰岩、白云岩、假鲕状灰岩 5. 流纹质含角砾凝灰熔岩 6. 风积、冲积物、亚砂土 7. 加里东期花岗岩 8. 印支早期花岗岩 9. 印支晚期花岗岩 10. 铜、铁、锌、银矿体 11. 断层

矿床围岩蚀变还具有明显的分带性,在岩体围岩接触带上(图2),从岩体到围岩依次为:①中细粒正长花岗岩;②钠长石化硅化花岗岩(内矽卡岩带),此带内有少量磁铁矿、黄铜矿产出;③粗粒矽卡岩带,矿体主要产于该带内,该带岩石较破碎,主要矽卡岩矿物为石榴石、其次为透辉石,矿体主要产于裂隙中;④透辉石矽卡岩带,该带矿体不同位置宽度变化较大,从十几厘米~几米范围,主要为透辉石化大理岩,透辉石粒度一般较小,其含量离

岩体近侧较高,可含有少量石榴石,其中含有少量浸染状的闪锌矿、黄铜矿等;⑤灰岩、大理岩带,有星点状黄铁矿化。具有典型的扩散双交代矽卡岩矿床特征。断裂破碎矽卡岩带中蚀变带的分布规律是,近岩体矽卡岩矿物主要以石榴石和透辉石为主,而远离岩体则主要以透闪石、阳起石、绿泥石为主,即近岩体以高温无水矽卡岩矿物为主,而远离岩体则以低温含水矽卡岩矿物为主,此分带特征与我国一些重要的矽卡岩多金属矿床的交代分带特

征相一致^[6]。

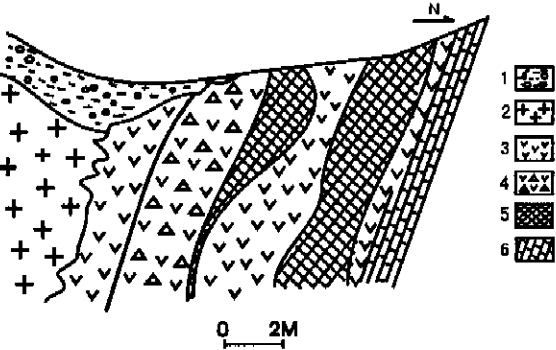


图2 景忍岩体与铜多金属矿体关系图

Fig. 2 A profile showing the relationship between Jingren granite pluton and Cu-polymetallic ores body

1. 第四系 2. 中细粒花岗岩 3. 矽卡岩 4. 破碎矽卡岩 5. 铁及多金属矿体 6. 灰岩、大理岩

矿石组构有交代结构、交代残余结构、骸晶结构、它形-自形粒状结构、固溶体分离结构、乳滴状

结构、填隙结构和粒状变晶结构;矿石构造有块状构造、稠密浸染状构造、斑杂状构造、脉状构造。

3 矿床地球化学特征

3.1 黄铁矿中微量元素特征比值

一般认为,黄铁矿中的Co,Ni含量及其比值具有较好的成因指示意义^[7]。沉积型黄铁矿中Co含量低,一般小于 1000×10^{-6} ,Co/Ni比值小于1;热液型黄铁矿中含Co高,为 $(400 \sim 2400) \times 10^{-6}$,Co/Ni比值大于1。本区黄铁矿电子探针分析结果见表1。黄铁矿主要元素Fe平均含量为45.77%,S平均含量为53.56%,与理论含量值Fe 46.55%和S平均含量为53.45%相比,接近于理论值,而黄铁矿Co/Ni比值为1.7~40,平均值为14.4,显示黄铁矿物质主要来源于岩浆热液的特点。

表1 野马泉地区黄铁矿电子探针分析结果
Table 1 Electronic microprobe analysis of pyrites in the deposits

矿物	样号	Co	Ni	S	Fe	Co/Ni
		$w_B/10^{-2}$				
黄铁矿	78	0.041	0.001	53.933	46.638	40.0
黄铁矿	82	0.054	0.003	53.704	44.924	16.7
黄铁矿	02	0.045	0.009	53.812	45.672	4.4
黄铁矿	08	0.138	0.010	53.448	46.304	14.0
黄铁矿	15	0.075	0.004	53.453	45.509	17.5
黄铁矿	18	0.049	0.008	54.071	46.223	6.3
黄铁矿	96	0.193	0.110	52.470	45.119	1.7

注:样品由中国地质大学(北京)测试中心电子探针室测。

3.2 矿石稀土元素特征

所测试的6件样品为致密块状、浸染状Cu多金属矿石,其中01、97号样品金属硫化物含量达95%以上,为致密块状,其余矿石样品金属硫化物含量均较低,为浸染状。矿石稀土元素分析结果见表2,从表中可以看出,稀土总量较低,变化较大, ΣREE 为 $21.69 \sim 208.85 \times 10^{-6}$,轻稀土轻微富集,轻重稀土分馏不明显,LREE/HREE值为2.61~10.25。分析结果还显示,硫化物含量越高矿石样品稀土总量越低,其原因是在岩浆热液作用阶段,

稀土元素主要富集在矽卡岩矿物中,而分配在硫化物中的稀土元素较低^[8]。

使用Taylor等(1985)球粒陨石值进行标准化,矿石稀土配分模式见图3,矿石样品具轻微Eu负异常, δEu 为0.47~0.98,与成矿花岗岩 δEu 值0.04相比,矿石钕亏损明显,比成矿花岗岩弱。除 δEu 亏损程度外,矿石与成矿花岗质岩石稀土配分模式极为类似,均具有右倾型Eu负异常的稀土元素分布模式,表明矿石物质来源及形成演化与花岗岩浆活动有关。

表2 矿石与成矿花岗岩稀土元素分析结果
Table 2 REE abundances of the ores and granite

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	L/H	σEu
$w_B/10^{-6}$																	
53	18.304	42.902	5.087	20.099	4.537	0.755	5.276	0.893	4.651	0.992	2.363	0.378	2.04	0.343	108.62	7.89	0.65
71	19.078	38.137	4.258	15.671	3.255	0.699	3.104	0.527	2.815	0.596	1.601	0.252	1.397	0.207	91.60	2.61	0.04
01	12.437	34.254	3.061	10.787	2.143	0.436	2.204	0.342	1.685	0.386	1.041	0.174	1.006	0.176	70.13	5.41	0.47
57	39.961	88.23	10.236	37.817	7.564	1.559	6.926	1.125	5.85	1.375	3.583	0.581	3.485	0.562	208.85	7.72	0.66
75	16.295	34.546	3.927	14.761	3.103	1.056	3.488	0.558	3.064	0.748	2.038	0.309	1.735	0.279	85.91	6.03	0.98
97	4.825	9.667	1.008	3.445	0.695	0.124	0.67	0.113	0.535	0.104	0.237	0.039	0.195	0.036	21.69	9.00	0.61
09	18.78	47.53	5.66	19.86	6.07	0.077	6.95	1.48	9.15	2.28	6.62	1.33	8.32	1.45	135.56	10.25	0.55

注 样品由中国科学院贵阳地球化学研究所测试 ,ICP-MS 方法测试 ,09 样为成矿花岗岩样品 ,其余为矿石样品

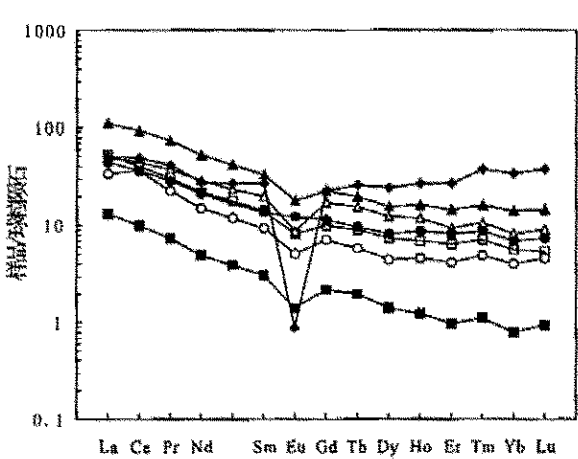


图3 稀土元素球粒陨石标准化分布型式图
Fig.3 Chondrite-normalized REE patterns of Yemaquan deposit

○ -01 ,△ -53 ,▲ -57 ,□ -71 ,● -75 ,■ -97 ,◆ -09

3.3 同位素地球化学特征

(1) 硫同位素

景忍矽卡岩型铜多金属矿床硫同位素分析结果列于表3 ,本区 $\delta^{34}S$ 介于 $-0.97 \sim 5.69\text{‰}$ 之间 ,测试的 7 个样品中有 6 个样品 $\delta^{34}S$ 集中在 $3.09\text{‰} \sim 5.69\text{‰}$ 的范围 ,其变化范围很小 ,反映其成矿物质来源单一和成矿过程中物理化学条件的相对稳定 ,暗示矿床硫主要来自深源 ,与我国其它地区矽卡岩矿床硫同位素特征相一致^[9]。同时也与东昆仑印支中期经历了大规模的地幔岩浆底侵和壳幔混合作用的大地构造背景一致^[10,11]。

(2) 铅同位素

景忍矽卡岩型铜多金属矿床铅同位素分析结果列于表4 ,矿床中方铅矿 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 值范围为

表3 硫同位素分析结果

Table 3 Analysis results of the S isotopic composition

样号	测试对象	$\delta^{34}S/\text{‰}$
80	黄铁矿	3.82
01	方铅矿	5.31
13	方铅矿	-0.97
58	方铅矿	3.09
77	方铅矿	5.49
97	方铅矿	5.69
78	黄铁矿	3.68

表4 矿床铅同位素组成和模式年龄

Table 4. Lead isotopic composition and model age of the ore deposit

样品号	样品名称	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$	μ	(Ma)
01	方铅矿	18.539	15.619	38.375	9.49	97
13	方铅矿	18.503	15.601	38.332	9.46	100
58	方铅矿	18.591	15.680	38.570	9.60	136
77	方铅矿	18.520	15.589	38.268	9.43	72
97	方铅矿	18.535	15.611	38.344	9.47	90

注 样品由宜昌地质矿产研究所同位素测试室测试

$18.520 \sim 18.591$, $^{207}Pb/^{204}Pb$ 值范围为 $15.589 \sim 15.680$, $^{208}Pb/^{204}Pb$ 值范围为 $38.268 \sim 38.570$,具有深源铅的特征。其模式年龄差别较大 ,为异常铅 ,其 μ 值变化不大 ,说明其来源及演化相同。将本区铅同位素比值投到 Zartman 等(1981)建立的全 球不同地质环境的铅演化模式和演化曲线的构造图解中(图 4) ,样品点主要集中于上地幔和造山带之间 ,个别点落在造山带之上 ,说明其物质来源

主要来自上地幔,可能有少量地壳铅的污染,与东昆仑地区同时代岩浆热液矿床和大部分矽卡岩矿床铅同位素组成特征一致,即铅具有多来源,但主要来自于岩浆[9,12,13]。

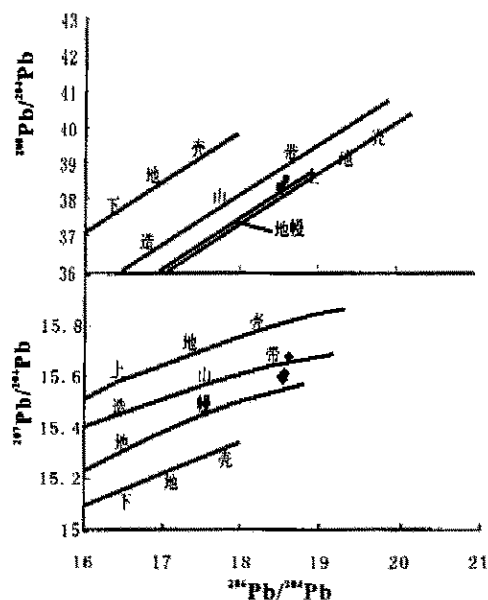


图4 矿床铅同位素组成分布图(底图据 Doe 和 Zartman, 1979)

Fig. 4 Distribution of the lead isotopic compositions in the deposit

4 矿床成因探讨

野马泉地区矽卡岩型 Fe、Cu、Pb、Zn、Ag 多金属矿床地质地球化学研究结果显示,矿床的形成与碱质 A 型花岗岩关系密切。黄铁矿 Co/Ni 比值、矿石稀土元素配分模式显示矿床物质主要来自于岩浆,矿床硫、铅同位素显示成矿物质主要来自于深源,这一结果和东昆仑印支期所处的大地构造背景相吻合。东昆仑晚古生代—早中生代是一个连续的构造岩浆演化过程,晚古生代东昆仑地区经历了由挤压向伸展的大转变[14],三叠纪中—晚期经历了大规模的幔源基性岩浆底侵及其与壳源酸性岩浆的混合作用[10,11,15],在造山后期伸展环境下形成了碱质 A 型花岗岩岩浆。壳幔相互作用的同时,带来了丰富的幔源成矿物质,这也是区域 Fe、Cu 多金属成矿作用主要与印支期岩浆活动有关的根本原因。

①莫宣学等,原地矿部定向基金项目“东昆仑中晚成矿地质背景与找矿方向的框架研究”,1998。

成矿物质随岩浆一起上升至地表附近,岩体定位之后逐渐冷却结晶,而岩体中的热液和成矿物质在结晶作用晚期从岩体中分离并逐渐富集,沿岩体围岩接触面及断裂带进入碳酸盐地层,与围岩发生交代作用形成矽卡岩,在交代作用发生的同时,热液的物理化学条件发生变化,热液中的成矿物质沉淀富集,形成矽卡岩型矿床。结合矿床地质特征不难看出,野马泉地区 Cu 多金属矿床主要产于侵入岩接触带附近,属于典型的与酸性岩浆有关的矽卡岩型[16]Fe、Cu、Pb、Zn、Ag 矿床。

5 结论

(1) 野马泉景忍矽卡岩多金属矿床的形成与东昆仑晚古生代—早中生代构造岩浆旋回造山后期的伸展引张环境形成的碱性 A 型花岗岩有关,成矿物质主要来自岩浆,具有深部来源特征,与幔源基性岩浆底侵及其与壳源酸性岩浆的混合作用有关。

(2) 野马泉 Fe、Cu 多金属矿床产于岩体与碳酸盐地层接触带及其附近附近的断裂带中,受接触带及断裂构造的控制,属于典型的与酸性岩浆有关的矽卡岩型矿床。

参考文献:

- [1] 胡正国,刘继庆,钱壮志,等. 东昆仑区域成矿规律分析—关于找矿工作的战略思考[J]. 西安工程学院学报, 1999, 21(4): 46—50.
- [2] 徐文艺,张德全,阎升好,等. 东昆仑地区矿产资源大调查进展与前景展望[J]. 中国地质, 2001, 28(1): 25—29.
- [3] 胡正国,刘继庆,钱壮志等. 东昆仑区域成矿规律初步研究[J]. 黄金科学技术, 1998, 6(5~6): 6—13.
- [4] 刘云华,莫宣学,张雪亭等. 东昆仑野马泉地区矽卡岩矿床地质特征及控矿条件[J]. 华南地质与矿产, 2005(3): 18—23.
- [5] 姜春发,杨经绥,冯秉贵,等. 昆仑开合构造[M]. 北京: 地质出版社, 1992, 154—156.
- [6] 赵一鸣. 我国一些重要矽卡岩 Pb—Zn 多金属矿床的交代分带[J]. 矿床地质, 1997, 16(2): 120—129.
- [7] Loftus Hills G. et al. Cobalt, nickel and selenium in sulfide as indicators of ore genesis[J]. Mineralium Deposi-

ta ,1967 2 228—242.

[8] 刘英俊 ,等.《元素地球化学导论》[M]. 北京 :地质出版社 ,1987.

[9] 赵一鸣 ,林文蔚 ,毕承思 ,等. 中国矽卡岩矿床[M]. 北京 :地质出版社 ,1990 ,123—126.

[10] 刘成东 ,莫宣学 ,罗照华 ,等. 东昆仑壳 - 幔岩浆混合作用 :来自锆石 SHRIMP 年代学的证据[J]. 科学通报 , 2004 ,49(6) 596—602.

[11] 罗照华 ,柯珊 ,曹永清 ,等. 东昆仑印支晚期幔源岩浆活动[J]. 地质通报 ,2002 ,21(6) 292—297.

[12] 赵斌. 中国主要矽卡岩及矽卡岩型矿床[M]. 北京 :科学出版社 ,1989.

[13] 张乾、潘家永. 论接触交代矽卡岩型多金属矿床的矿质来源 - 以铅同位素组成为依据[J]. 矿物学报 ,1994 年 ,第 14 卷 ,第 4 期 :369—372.

[14] 李光明 ,沈远超 ,刘铁兵. 东昆仑祁漫塔格地区华力西期花岗岩地质地球化学特征. 地质与勘探 ,2001 ,37 (1) :73—78.

[15] 钱壮志 ,胡正国 ,李厚民. 东昆仑中带印支期浅成 - 超浅成岩浆岩及其构造环境[J]. 矿物岩石 ,2000 ,20 (2) :14—18.

[16] 吴言昌 ,邵桂清 ,吴炼. 岩浆矽卡岩及其矿床[J]. 安徽地质 ,1996 6 (2) 30—39.

The Geochemical Characteristics and the Meaning of Skarn-Type Deposits in Yemaquan Area , Eastern Kunlun

LIU Yun-hua¹ ,MO Xuan-xue² ,ZHANG Xue-ting³ ,XU Guo-wu³

(1. Yichang institute of Geology and Mineral Resources , Yichang 443003 , Hubei ,China 2. China University of Geosciences , Beijing 100083 ,China 3. Qinghai institute of geological survey ,Xining 810012 ,Qinghai ,China)

Abstract :Yemaquan region in western part of the East Kunlun Range(the Qimantage) is one of the important polymetallogenic districts in Qinghai Province. Many granitoid-related iron , copper and polymetallic deposits and occurrences have newly been discovered during the recent regional geological investigations. This paper studies mineral assemblage , Co/Ni ratios of pyrites , REE and S , Pb isotopic compositions , as well as rock alteration zoning of the iron , copper and polymetallic deposits in Yemaquan region. The results indicate that the skarn-type polymetallogenic deposits in the studied area are related with the alkalic A-type granite , which was formed in lithospheric extensional tectonic setting during the late stage of late Paleozoic-early Mesozoic tectonomagmatic cycle. These deposits of which contains the ore-forming materials with the deep derived characters were mainly from the magma , they are relative to the mixing between underplating mantle-derived basic magma and crust-derived acidic magma , and belong to the typical Ca , Mg skarn-type deposits.

Key words :Skarn ; Polymetallogenic ; Geochemistry ; East Kunlun ; Yemaquan