

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

青海拉鸡山早古生代“开”、“合”演化的地球化学证据及成矿

邓清禄 杨巍然

(中国地质大学地球科学院, 武汉, 430074)

内容提要 位于青藏高原北部的拉鸡山下古生界为典型的火山—复理石活动类型建造, 并赋含有丰富的矿产。本文基于地质、地球化学的方法, 对拉鸡山早古生代火山盆地的“开”、“合”历史及“开”、“合”与铜、金等多金属矿产形成作用的关系进行了探索。认识到拉鸡山早古生代经历了3个旋回的“开”、“合”; 拉鸡山铜、金等多金属矿源层形成于“开”的阶段, 而“合”的作用最终促使矿物质活化、迁移和富集。“开”、“合”与成矿关系的认识, 无疑会增加在成矿规律方面的知识, 也有益于指导找矿。

关键词 青海拉鸡山 火山盆地 早古生代 “开”、“合” 成矿作用 多金属矿床

1 地质背景

拉鸡山位于青藏高原北部, 是祁连山系的一部分。拉鸡山地区地壳表层结构及其岩石组成可划分为三部分: 中浅变质的前寒武纪基底岩系; 早古生代的陆内开合带火山—沉积岩系; 泥盆系及侏罗系、第三系构成的盖层岩系。三套地层之间发育角度不整合(图1)。

下古生界由中、上寒武统、奥陶系及下志留统组成, 它们构成拉鸡山出露地层的主体。

中寒武统泥旦山群(ϵ_2nd), 分上、下两个岩组, 下岩组(ϵ_2nd^1)为基性、中基性熔岩夹火山角砾岩; 上岩组(ϵ_2nd^2)为中性、中基性熔岩、凝灰岩夹长石、石英砂岩。

上寒武统六道沟群(ϵ_3ld), 分上、中、下3个岩组, 下岩组(ϵ_3ld^1)以基性、中基性熔岩为主夹火山角砾岩及沉积砾岩、灰岩; 中岩组(ϵ_3ld^2)以中基性熔岩为主夹火山角砾岩及少量凝灰岩; 上岩组(ϵ_3ld^3)以中基性熔岩为主夹火山角砾岩、凝灰岩、板岩, 偶见酸性熔岩。

下奥陶统分花抱山组(O_1h)和阿依山组(O_1a), 花抱山组以硬砂岩为主夹中性、中基性熔岩、凝灰岩及火山角砾岩; 阿依山组发育中酸性到中基性的熔岩及火山角砾岩。

中奥陶统查甫群(O_2ch), 为中基性的熔岩及凝灰岩、板岩、砂砾岩。

上奥陶统药水泉群(O_3ys), 下部以长石、石英砂岩为主夹凝灰岩, 上部以中性熔岩为主夹砂、砾岩。

下志留统(S_1)为长石、石英砂岩及板岩, 缺失火山岩。

早古生代火山沉积岩系总厚达15000 m以上。火山岩变质轻微, 但有不同程度的蚀变。

拉鸡山早古生代火山—沉积岩系呈近东西向带状展布, 长约200 km, 宽10~20 km

注: 本文为“八五”国家攻关项目“紧缺矿产勘查与评价研究”子课题(编号85-901-02-5)部分成果。

本文1997年2月收到, 5月改回, 刘淑春编辑。

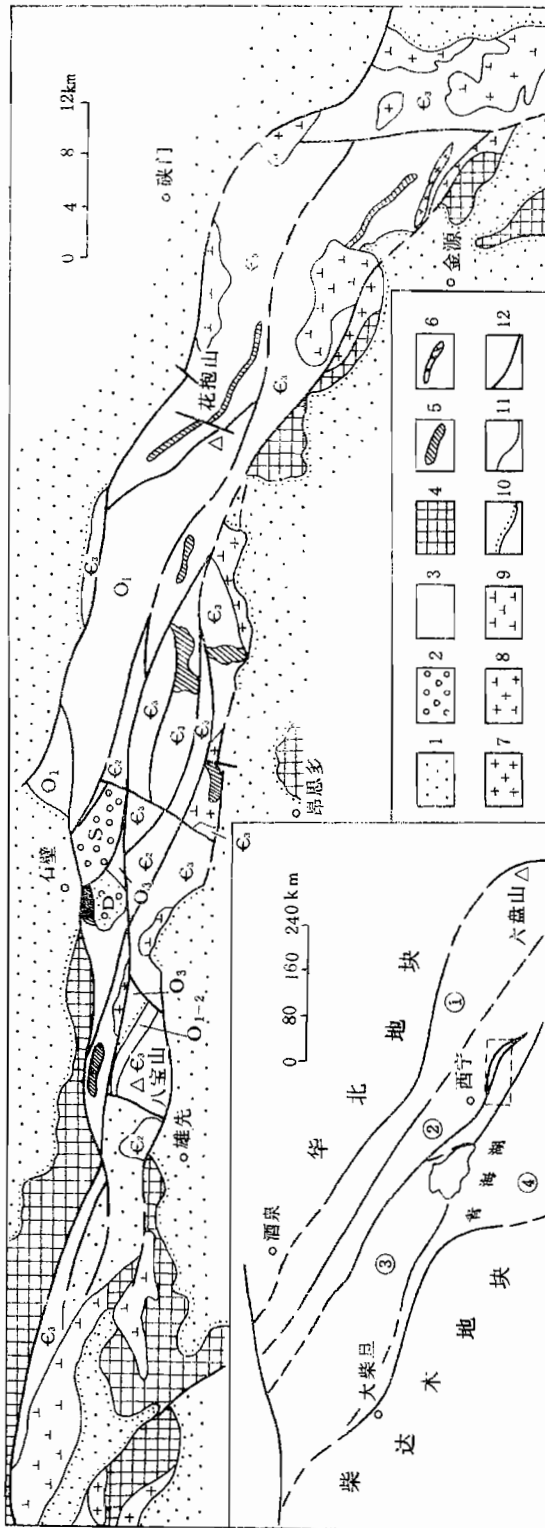


图1 拉鸡山早古生代火山岩盆地略图

Fig. 1 Sketch of the Early Paleozoic volcanic basin of Laji Mountain

1—中、新生代覆盖区; 2—磨拉石建造; 3—早古生代火山岩建造; 4—前寒武变质岩系; 5—超基性侵入岩; 6—基性侵入岩; 7—花岗岩; 8—花岗闪长岩; 9—闪长岩; 10—不整合界线; 11—地质界线; 12—断层; ①—北祁连构造带; ②—中祁连构造带; ③—南祁连构造带; ④—西秦岭构造带; ⑤—泥盆系磨拉石; S—志留系杂砂岩; O₃—药水泉群安山岩及火山沉积岩; O₂—查甫群中基性熔岩及火山沉积岩; O₁—花袍山组及阿依山组中性火山岩为主夹火山沉积岩; C₃—六道沟群中基性熔岩为主; 夹火山角砾岩; C₂—泥旦山群中基性熔岩及火山沉积岩

1—Meso-Cenozoic cover area; 2—molasse formation; 3—Early Paleozoic volcanic rock formation; 4—Precambrian metamorphic series; 5—ultramafic intrusive rock; 6—mafic intrusive rock; 7—granite; 8—granodiorite; 9—diorite; 10—unconformity; 11—geological boundary; 12—fault; ①—North Qilian orogenic belt; ②—Central Qilian basement upward area; ③—South Qilian orogenic belt; ④—West Qinling orogenic belt; D—Devonian molasse; S—Silurian graywacke; O₃—andesite and volcanic sediments of the Yaoshuiquan Group; O₂—neutral-basic lava and volcanic sediments of the Chapu Group; O₁—neutral volcanic rock interbedded with volcanic sediments of the Huabaoshan Formation and the Ayishan Formation; C₃—neutral-basic breccia of the Liudaogou Group; C₂—neutral-basic lava and volcanic sediments of the Nidanshan Group

(图 1)。火山岩带南、北两侧各发育有一条断裂带,它们控制了火山岩带的发育边界,并都向火山沉积岩带内侧倾斜,外侧发育前寒武系基底岩系。因此,断裂具正断层性质,本文将早古生代的拉鸡山看作为火山(断陷)盆地。

2 火山盆地“开”、“合”演化

对拉鸡山早古生代火山岩分层进行了系统的采样与测试(表 1, 2),同时收集了一些前人的分析资料。对这些资料按时序进行分析整理,结果表明拉鸡山火山岩带地球化学特征随时序呈现有规律的变化,可以划分出 3 个旋回(表 3)。对于每一旋回,从开始到结束有如下规律:

表 1 拉鸡山火山岩盆地微量元素分析结果($\times 10^{-6}$)

Table 1 Trace element contents($\times 10^{-6}$) in volcanic rocks in Laji Mountain

时代	样号	Sr	K ₂ O (%)	Rb	Ba	Th	Ta	Nb	Ce	P (%)	Zr	Hf	Sm	TiO ₂ (%)	Y	Yb	Sc	Cr
O ₂	D ₂₇	251	0.36	4.3	203	5.4	1.10	13.9	31.8	0.25	148	4.0	3.41	0.89	19.26	2.11	24.4	152
O ₁	D ₁	484	1.22	53	468	9.9	0.95	10.1	66.55	0.18	173	5.8	5.91	0.85	25.58	2.71	19.3	45
	D ₂	403	2.72	131.3	942	16.9	1.12	22.4	128.79	0.39	344	8.9	10.18	1.37	35.06	3.6	16.9	41
	D ₅	396	1.62	54.9	831	12.2	0.88	15.8	87.96	0.35	246	5.8	7.76	1.23	29.53	3.13	23.1	173
Є ₃	D ₆	269	0.46	4.5	150	7.9	0.84	10.4	33.87	0.26	195	4.8	5.21	1.76	41.56	3.66	37.6	74
	D ₂₆	123	0.69	10.1	57	4.7	0.77	7.6	16.8	0.18	107	3.0	2.59	1.18	17.78	2.05	30.2	132
Є ₂ ²	D ₇	290	3.44	153.3	265	11.8	0.89	10.3	85.37	0.06	109	4.2	5.78	0.21	5.64	0.43	4.3	24
	D ₈	390	2.28	17.7	739	7.7	0.63	12.2	64.18	0.24	188	4.7	5.66	0.96	21.95	2.27	19.7	169
Є ₁ ¹	D ₂₄	231	3.28	49	652	7.8	1.14	19.4	44.33	0.35	176	3.5	5.3	1.23	26.10	2.63	25.6	194
MORB(N 型)		120	0.15	2	20	0.2	0.18	3.5	10.0	0.12	90	2.4	3.3	1.5	30	3.4	40	250

注:样品由湖北省地质研究所测试。D₂₇橄榄粗安岩;D₁、D₂安山岩;D₅橄榄粗安岩;D₆、D₂₆玄武安山岩;D₇流纹岩;D₈安山岩;D₂₄橄榄粗安岩。D₂₆、D₂₇取自才毛吉峡;D₁、D₂、D₅、D₆、D₇、D₈取自东沟;D₂₄取自大巴山峡。

表 2 拉鸡山火山岩盆地稀土元素分析结果($\times 10^{-6}$)

Table 2 REE contents($\times 10^{-6}$) in volcanic rocks in Laji Mountain

时代	样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	REE	(La/Lu) _{CN}
O ₂	D ₂₇	15.04	31.08	3.99	15.18	3.41	1.07	3.48	0.56	3.78	0.72	2.13	0.30	2.11	0.31	19.26	102.41	5.04
O ₁	D ₁	32.65	66.55	8.24	30.55	5.91	1.52	5.10	0.81	4.97	0.97	2.76	0.41	2.71	0.41	25.58	210.46	8.79
	D ₂	69.26	128.79	13.54	55.84	10.18	2.24	6.83	1.17	7.01	0.38	3.77	0.58	3.60	0.55	35.06		
	D ₅	15.04	31.08	3.99	15.18	3.41	1.07	3.48	0.56	3.78	0.72	2.13	0.30	2.11	0.31	19.26		
Є ₃	D ₆	14.87	33.87	4.67	21.04	5.21	2.08	6.38	1.22	7.14	1.57	3.73	0.50	3.66	0.69	41.56	109.22	2.36
	D ₂₆	7.36	16.80	2.38	10.44	2.59	0.92	2.75	0.48	3.39	0.67	2.02	0.29	2.05	0.31	12.78		
Є ₂ ²	D ₇	42.61	85.37	8.50	32.64	5.78	1.05	2.88	0.36	1.34	0.21	0.54	0.07	0.43	0.06	5.64	181.84	41.61
	D ₈	30.93	64.18	8.07	28.85	5.66	1.46	3.97	0.69	4.36	0.83	2.29	0.34	2.27	0.34	21.59		
Є ₁ ¹	D ₂₄	20.26	44.33	5.85	24.09	5.30	1.73	5.00	0.84	5.26	0.99	2.77	0.41	2.63	0.37	26.1	145.94	5.69
球粒陨石		0.310	0.808	0.122	0.600	0.195	0.0735	0.259	0.0474	0.322	0.718	0.210	0.0324	0.209	0.0322		3.29	

注:样品测试单位、岩石类型及采样地点同表 1。

(1)常量元素 Ca、Mg、Fe、Mn、Na 等含量由高向低,而 Si、Al、K 等则由低向高,反映岩石基性程度由高向低演化。

(2)微量元素 Sr、K、Rb、Ba、Th 等由低向高演化。这些元素属大离子亲石元素,在壳、幔剖面中具有向上富集特征^[1]。据此可以初步推论每一旋回早期岩浆来源深度较大。

表3 拉鸡山火山岩地球化学特征与开合旋回关系
Table 3 The correspondence between geochemical variations of the volcanic rocks and the cycles of opening and closing in Laji Mountain

岩石地球化学特征	开 合 旋 回					
	$\epsilon_{1/2} \rightarrow \epsilon_{2/2}^2$		$\epsilon_3 \rightarrow O_1$		$O_2 \rightarrow O_3$	
MnO, MgO, TiO ₂ , CaO, FeO, Na ₂ O	↑	↓	↑	↓	↑	↓
SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , K ₂ O	↓	↑	↓	↑	↓	↑
Sr, K, Rb, Ba, Th		↑	↓	↑	↓	
ΣREE	↓	↑	↓	↑	↓	
(La/Lu) _{CN}	↓	↑	↓	↑	↓	
据 K ₂ O 所得地壳厚度	↓	↑	↓	↑	↓	↑
据 Rb, Sr 所得地壳厚度	↓	↑	↓	↑	↓	

注:箭头向上表示相对含量高、相对比例大、相对厚度大,箭头向下则相反。 $\epsilon_{1/2} \rightarrow \epsilon_{2/2}^2$ 、 $\epsilon_3 \rightarrow O_1$ 、 $O_2 \rightarrow O_3$ 示3个开合旋回从开始到结束的时间段。

来根据这些元素的富集程度可以推断地幔部分熔融的程度。稀土、特别是轻稀土和 Sr、K、Rb、Th 等大离子亲石元素富集程度高,地幔部分熔融程度低。如大陆区、洋岛区火山岩多属这种情况;反之也成立,如洋中脊火山岩是软流圈物质 15%~40% 的部分熔融。由此推断拉鸡山火山岩每一旋回地幔部分熔融程度由高向低演化。前面两点说明了,每一旋回要么火山岩来源深度由深到浅,要么部分熔融程度由大到小演化。

(4)拉鸡山早期旋回火山岩碱度比中、晚期旋回中的高,每一旋回早期碱度又比晚期中的高,具有从碱性向亚碱性发展的趋势,反映拉鸡山陆内开裂及继后收缩的属性。

(5)借用 Dickinson 和 Hatherton(1976)所建立的地壳厚度计算公式 $C(\text{km}) = 18.2(K_2O) + 0.45$ (其中 K_2O 为当 $SiO_2 = 60\%$ 时的含量),得到拉鸡山各阶段的地壳厚度(表4)。由表4可见,地壳厚度具有非常明显的变化规律,即每一旋回从早期地壳较薄到晚期地壳较厚演化。此外还引用了 Condie(1973)提出的 Rb、Sr 浓度与大陆地壳厚度的关系图解,得出了完全一致的地壳厚度演变规律。

表4 拉鸡山各阶段地壳厚度

Table 4 Crust thickness of Laji Mountain in each period

时代	$\epsilon_{1/2}$	$\epsilon_{2/2}^2$	ϵ_3	ϵ_3^2	ϵ_3^3	O_1	O_1^2	O_2	O_3
壳厚(km)	25.7	45.9	13.2	14.0	11.9	44.8	42.8	12.1	31.6

是“开”、“合”的历史。

3 铜、金矿产的形成与“开”、“合”的关系

拉鸡山多金属矿产以铜及金为主,目前已发现铜、金矿床(点)愈百处。考察这些矿床(点)

(3)稀土元素总量、轻重稀土比值由低向高演化。影响岩石稀土元素丰度及轻重元素分异的因素包括地幔的不均一性、部分熔融的程度、结晶分异等。因为预先考虑到地幔不均一性的问题,文中采用的分析资料限定在一定的区段(拉鸡山中段)内,因此,地幔横向不均一性的影响可以忽略不计,也许主要受垂向不均一性即源区深度的影响。稀土,特别是轻稀土与 Sr、K、Rb、Th 等大离子亲石元素,具有一致的向上富集特性,据此也可反映每一旋回岩浆源由深到浅演化。此外,根据 Treuil 和 Joron^[2] 的 La/Sm 对 La 作图,可以判定本区火山岩受结晶分异的影响较小,主要是部分熔融的产物。在地幔部分熔融过程中,微量元素按其固有的分配规律分配,轻稀土与 Sr、K、Rb、Th 等大离子亲石元素的矿物—熔体分配系数极小(<0.001),在低程度部分熔融时就几乎完全进入液相。因此,反过来

以上地球化学及依其所获得的地壳厚度等特征,一致地反映拉鸡山早古生代每一旋回先期地壳处于扩张即“开”的状态,后期处于收敛即“合”的状态。由此说明,拉鸡山早古生代构造演化的历史

的形成作用,发现它们与“开”、“合”存在着密切的联系,不同的“开”、“合”阶段成矿作用不同。

3.1 矿源层形成于“开”的阶段

表 5 列出了拉鸡山昂思多、扎巴地区各阶段火山岩铜的含量。很明显,上寒武统和中奥陶统含铜较高,它们应该是较有利的成矿层位。据已有的铜矿床(点)统计,90%以上产出在晚寒武世地层中。因此,上寒武统应为矿源层(这点在后面提到的本区的铅、硫同位素特征将进一步给以证明)。中奥陶统含铜量较高,也应是有益的矿源层,只是出露太局限($<1 \text{ km}^2$),未见成矿。与“开”、“合”阶段联系起来考虑,矿源层与“开”阶段相对应。

我们也注意到,中寒武世早期是“开”的阶段,但没有出现铜的高丰度值,这可能还与“开”的程度有关。对照表 4 中各阶段地壳厚度的变化,不难发现,铜高丰度值阶段与地壳较薄阶段相对应。地壳被拉得较薄,表明“开”的程度较大,火山岩中铜的丰度就较高。中寒武世早期虽也处于相对地“开”阶段,但其程度远不如晚寒武世、中奥陶世阶段,或许其“开”的程度不足以影响到铜的丰度。

金矿床(点)与铜矿床(点)具有一致性。据邢岩统计^①,67%金矿床(点)产出在上寒武统中岩组中。此外,拉鸡山几乎所有的铜矿床(点)都伴生金异常乃至成矿。

3.2 富集成矿作用完成于“合”的阶段

拉鸡山早古生代经历了 3 个“开”、“合”旋回,但并非每一旋回的“合”都出现强烈的构造运动,如第一、二旋回,只表现出相对的盆地收敛,由拉张型盆地转为挤压型盆地。此阶段盆地和“开”阶段的盆地相比,盆地中陆源碎屑所占的比例较大,安山岩、玄武安山岩等中性火山岩为此阶段火山活动的特色。此构造属性的转换并没有发展到发生构造运动的程度,地层之间总体上仍保持连续沉积,没有出现较强的构造热事件,即岩浆侵入活动(特别是中酸性岩浆)和变质作用。此两期“合”对成矿作用意义不大。第三旋回的“合”,使盆地最终闭合,并出现强烈的地壳运动——加里东运动,不仅有强烈的褶皱作用和断裂作用,还有大规模的中酸性岩浆侵入活动,正是此构造热事件使成矿物质得以运移和富集。

3.2.1 侵入作用与成矿

从已有的铜、金矿床(点)看,大多数与侵入岩在时、空上有依存关系。空间上,矿床(点)常产出在岩体的接触带。时间上,成矿与中酸性岩体的形成一致,均是加里东期,证据有:①花岗闪长岩—石英闪长岩 K-Ar 同位素年龄多在 383~443 Ma 之间;②在昂思多志留系砾岩中发现有花岗岩类砾石;③泥旦沟黄铜矿矿石铅模式年龄为 419~509 Ma^②。但岩体本身不是矿源层,而是由于与岩体有关的热液使矿源层蚀变,造成其中的铜活化、迁移、富集所致。

表 6 表明,拉鸡山加里东期中酸性岩体铜的含量与世界中酸性岩体铜含量平均值相比,没有出现较高的异常,只是接近或低于本区背景值(30×10^{-6})。

昂思多五道岭岩体是个很好的例子。岩体主体中央相黑云母正长花岗岩、花岗闪长岩含铜

表 5 拉鸡山各时代火山岩中铜含量($\times 10^{-6}$)

Table 5 The copper contents($\times 10^{-6}$)
in volcanic rock in Laji Mountain

时 代	$\epsilon_{\frac{1}{2}}$	$\epsilon_{\frac{2}{2}}$	$\epsilon_{\frac{1}{3}}$	$\epsilon_{\frac{2}{3}}$	$\epsilon_{\frac{3}{3}}$	O ₁	O ₂	O ₃
样品数	85	54	156	373	44	109	16	32
平均值	49.3	51.9	77.8	144.6	370	26.4	115.6	87

注:据青海省地质矿产局,扎巴镇幅、昂思多幅 1:5 万区测资料(1976)综合。

① 邢岩. 泥旦沟金矿控矿因素及金的富集规律. 全国第二届黄金地质学术交流会议论文. 1988.

② 邱家骧, 曾广策, 王思源等. 拉鸡山早古生代海相火山岩及铜、多金属矿产找矿方向研究(科研报告). 1994.

分别为 43×10^{-6} 和 34×10^{-6} , 而边缘相含铜为 110×10^{-6} , 相对高出 2~3 倍, 并且在东缘与上寒武统的接触带上(主要在外接触带)已形成铜、金矿体(泥旦沟金铜矿)。这说明成矿是岩体作用于含矿围岩的结果, 成矿物质主要由围岩提供。

表 6 拉鸡山扎巴地区中酸性侵入岩铜含量($\times 10^{-6}$)

Table 6 The copper contents($\times 10^{-6}$) in the neutral-acid intrusives in Laji Mountain

岩体	猴儿岭	天重峡	东叉沟	全藏	西马场	玉石沟	世界酸性岩平均值
样品数	3	4	39	40	31	3	
含量	15	40	30	44	26	20	20

注: 据青海省地质矿产局. 扎巴镇幅 1: 5 万区调报告. 1976.

有一种理论认为: 岩体中某一成矿元素丰度低, 说明该元素已析出参与成矿, 这对于围岩中同种成矿元素丰度比岩体中低尚可解释, 但对于围岩中有更高浓度的成矿元素, 此种理论是难于成立的, 因为成

矿物质难以由低浓度向高浓度方向扩散。

王思源等在该区进行过铅、硫同位素研究^①。五道岭花岗闪长岩和泥旦沟金铜黄铁矿矿石属于两类不同特征的铅同位素, 前者为异常铅, 后者为正常铅, 它们是在不同的体系中演化的, 这也说明泥旦沟成矿元素不是由五道岭岩体提供的。该矿区硫同位素特征表明: ①矿石中硫来自深源(幔源), $\delta^{34}\text{S}$ 总值范围为 $-0.07\text{‰} \sim 7.40\text{‰}$ 。②有叠加改造, 硫同位素值分布呈非正态分布。通常单一地球化学过程所形成的地质体中元素含量的概率分布是正态的。

总结拉鸡山的成矿过程, 首先是寒武纪即基性海底玄武岩喷发, 携带着丰富的成矿元素, 然后在中酸性岩体的作用下叠加、改造矿源层, 在有利部位富集成矿。

3.2.2 断裂构造与成矿

最终的闭合作用产生了强烈的构造变形, 特别是断裂为热液和成矿物质的运移提供了通道, 也为矿物质沉淀提供了场所。

纵向断裂是主要的控矿断裂。如天重峡—泥旦沟—松安丫豁断裂(图 2), 是拉鸡山内部的一条重要成矿断裂, 北西西走向, 断裂破碎带宽数百米, 沿断裂找到多个有工业价值的铜、金矿床, 它们大致呈等距(10~12 km)分布。此外, 沿断裂破碎带有较为强烈的黄铁矿化。此断裂起到了热液运移通道的作用, 成矿元素也沿此断裂得以活化并富集。还应该注意, 此断裂切过中、上寒武统, 但只在上寒武统中成矿, 这进一步说明上寒武统作为矿源层对成矿的意义。

与纵向断裂相伴随的次级断裂提供了矿物质沉淀的场所。如泥旦沟金铜矿, 空间上位于前述纵向断裂的南侧, 矿体产出于与主断裂近于直交的张性破碎带中(图 3)。此张性破碎带宽 $> 200 \text{ m}$, 发育更次一级的破裂面, 这些破裂面大致可归为两组: 北东向和北西向, 它们构成共轭关系。从各个矿体走向看, 它们也主要充填在这两组共轭的裂隙中。

在显微构造中也可以观察到成矿与断裂活动相关的现象。如坡水洼铜、金矿, 矿体与糜棱岩带为依存关系, 显微镜下观察, 金属矿物(黄铁矿、黄铜矿)产出在剪切最强烈的部位即强变形带中, 与剪切拉长的方解石拔丝构造一致, 呈拉长的 S 形状。因黄铁矿等金属矿物相对刚性, 推测不是后期变形, 而应是同构造结晶的产物, 另外在弱变形域中不出现金属矿物。由此说明成矿与剪切伴随的热液活动有关。

4 结论与讨论

① 邱家骧, 曾广策, 王思源等. 拉鸡山早古生代海相火山岩及铜、多金属矿产找矿方向研究(科研报告). 1994.

4.1 结论

(1)拉鸡山早古生代的历史是“开”、“合”的历史。根据岩石地球化学特征随时序的递变规律,划分出 3 个“开”、“合”旋回: ϵ_2^1 开 $\rightarrow\epsilon_2^2$ 合、 ϵ_3 开 $\rightarrow O_1$ 合、 O_2 开 $\rightarrow O_3$ 合。

(2)拉鸡山以铜及金为主的多金属矿床的形成作用与“开”、“合”存在着密切的联系。“开”阶段形成了矿源层,特别是晚寒武世阶段,“开”的强度最大,形成了最主要的矿源层。富集成矿则完成于“合”的阶段。最终的闭合作用是最重要的成矿因素,它是通过中酸性岩浆侵入活动提供热液作用于含矿围岩,又通过断裂、裂隙运移浆液、矿液并提供容矿场所。

4.2 讨论

岩浆源区环境(温度、压力、氧化还原状态等)、熔融程度、地壳厚度、源区深度、地壳应力状态、结晶分异、地壳混染作用等都影响着火山岩的成分^[3~5]。从板块构造观点出发,不同的构造单元中与岩浆作用有关的诸要素是不同的,因而造成岩浆作用类型包括成分上的差异。不同构造单元物质组成,特别是岩浆组成的差异,是我们利用元素作为指示剂去认识历史板块构造的基础。板块构造学的进展,一个重要的方面就是基于统计岩石地球化学的方法结合实验岩石学的方法,根据中生代以来板块构造单元与岩浆岩地球化学成分的统计关系,建立了丰富多彩

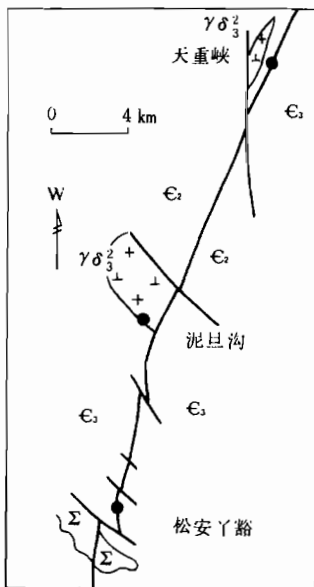


图 2 沿天重峡—泥旦沟—松安丫豁断裂分布的铜、金矿床

Fig. 2 Copper-gold ore deposits along the fault of Tianchongxia—Nidangou—Songanyahu

- 铜、金矿床; ϵ_3 —六道沟群; ϵ_2 —泥旦山群;
- $\gamma\delta_3^2$ —花岗闪长岩; Σ —超基性岩
- Copper-gold ore deposit; ϵ_3 —Liudaogou Group; ϵ_2 —Nidanshan Group; $\gamma\delta_3^2$ —granodiorite; Σ —ultrabasic rock

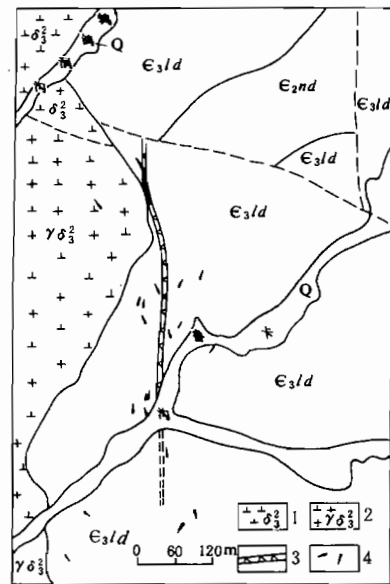


图 3 泥旦沟金铜矿平面示意图 (据青海省地质矿产局资料修编)

Fig. 3 Sketch of the Nidangou gold-copper mine (after Qinghai Bureau of Geology and Mineral Resources)

- 1—闪长岩; 2—花岗闪长岩; 3—破碎带; 4—金铜矿脉;
- Q—第四系; ϵ_{2nd} —泥旦山群; $\epsilon_{3/d}$ —六道沟群
- 1—Diorite; 2—granodiorite; 3—fracture zone; 4—gold-copper vein
- Q—Quaternary System; ϵ_{2nd} —Nidanshan Group; $\epsilon_{3/d}$ —Liudaogou group

的构造环境判别图件,并用之于历史板块构造的研究中,它不失为研究认识古板块构造的有力手段,并被广泛地应用。

本文中使用的还是利用地球化学研究板块构造常规的手段和方法,所不同的是将时间演化的思想体现到这种方法中,焦点不在于对某个构造带进行构造环境划分,而在于它自身的相对演化规律,这也是“开”、“合”思路的意旨所在。

关于成矿与“开”、“合”关系的认识还是初步的尝试,但已显示出它们之间的某些规律,其内在的规律需要从成矿元素地球化学行为的角度去探讨。

参 考 文 献

- 1 南京大学地质系. 地球化学. 北京: 科学出版社, 1979. 48~51 页.
- 2 Treuil M, Joron J M. Utilisation des elements hydromagmatophiles pour la simplification de la modelisation quantitative des processus magmatiques. Exemples de l'Afar et de la dorsale medioatlantique. In: Allegre C J et al. eds. Trace element in igneous petrology. Amsterdam, Netherlands, Elsevier Science Publishers, 1975. 1~12.
- 3 Green D H. Experimental melting studies on a model upper mantle composition at high pressure under water-saturated and water-unsaturated conditions. Earth Planet. Sci. Lett., 1973, 19: 37~53.
- 4 Green D H. Conditions of melting of basaltic magma from garnet peridotite. Earth planet. Sci. Lett., 1973, 19: 456~465.
- 5 Vogl M, Panto Gy. Geochemistry of the Young alkaline basaltic volcanism in Hungary. In: Augustithis S S. ed. The significance of trace elements in solving petrogenetic problems & controversies. S. A. Athens, Greece: Theophrastus Publishing & Proprietary Co., 1983. 233~256.

Geochemical Evidence of the Early Paleozoic Opening and Closing Evolution and Mineralization in Laji Mountain, Qinghai Province

Deng Qinglu and Yang Weiran

(China University of Geosciences, Wuhan, Hubei, 430074)

Abstract

The very thick Early Paleozoic volcanic-flysch formation forms the main part of Laji Mountain, where occur polymetallic ore deposits dominated by copper and gold ores. The authors have studied the opening and closing evolution of the volcanic basin by means of geological and geochemical methods. In addition, the relation of the opening and closing to the mineralization of copper and gold deposits was further explored. Results indicate that the volcanic basin experienced three cycles of opening and closing of the lithosphere and that the source beds of copper and gold deposits were formed in the periods of opening, while remobilization and enrichment of copper and gold were completed during the closing. The conclusion may help us to understand well the characteristics of the evolution of orogenic belts and mineralization.

Key words: Laji Mountain, Qinghai Province; volcanic basin; Early Paleozoic; opening and closing; mineralization; polymetallic ore deposit

作 者 简 介

邓清禄,男,生于1962年10月。1984年毕业于中国地质大学(武汉)地质学专业,1987年获该专业硕士学位。现为中国地质大学(武汉)地球科学院副教授,从事区域大地构造与构造环境方面的研究。通讯地址:430074,湖北省武汉市鲁磨路31号中国地质大学地球科学院。