

内蒙古狼山北侧中元古代变基性岩 特征及其成矿意义*

杨海明 苏尚国

(中国地质大学, 北京)

摘要: 内蒙古狼山北侧霍各乞矿区及外围中元古代地层中存在顺层产出的绿片岩、角闪石岩等变基性岩。长期以来, 该类岩石的原岩时代不清, 对其性质和成矿意义缺乏研究。文章分析了变基性岩产出的大地构造环境, 根据 Sm-Nd 同位素年龄及野外产状, 认为其原岩是中元古代同沉积期形成的火山岩。论述了其岩石化学特征、稀土元素组成特征, 初步分析了其在中元古代喷气沉积成矿过程中所起的作用。

主题词: 霍各乞铜矿 中元古代 变基性岩 内蒙古狼山

狼山地区是我国重要的多金属、硫铁矿成矿带, 诸矿床均产在中元古代狼山群地层中。狼山群是一套浅变质碎屑岩、碳酸盐岩为主的建造, 其中夹有变基性岩。对这套变基性岩的深入研究, 对了解成矿作用, 确定找矿标志有重要的意义。

1 狼山地区中元古代沉积-构造环境

狼山地区位于华北地台北缘。太古代末, 该地区即已形成了以太古界为结晶基底的准稳定陆台。基底组成以狼山主峰变质杂岩为代表, 主要岩性有黑云母斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩、斜长角闪岩、变粒岩, 原岩为一套中-基性火山岩建造, 夹沉积岩, 变质程度达高角闪岩相, 明显地比狼山群变质程度深。其 Sm-Nd 同位素年龄为 2735×10^6 a^①。其中含 Cu、Pb、Zn 较高, Cu 含量 $37.40 \times 10^{-6} \sim 257.50 \times 10^{-6}$, 大部分样品 Cu 含量超过 100×10^{-6} ; Pb 含量 $86.16 \times 10^{-6} \sim 355 \times 10^{-6}$; Zn 含量 $64 \times 10^{-6} \sim 168 \times 10^{-6}$ ^①。内蒙区调队将其定名为乌拉山群^②, 天津地质调查所定名为乌盖群^③。

中元古代, 上述结晶基底边缘发育了几条近东西向和北东向断裂, 形成南、北两个裂陷槽。南侧裂陷槽位于东升庙-炭窑口一带, 相当于克拉通边缘内侧裂陷槽。北侧裂陷槽位于霍各乞-乌拉特后旗一线, 相当于克拉通边缘外侧裂陷槽。两槽之间, 即狼山主峰一线, 残留一北东东向古陆(图1)。中元古代狼山群是在上述裂陷槽中形成的以碎屑岩、碳酸盐岩为主的沉积建造。霍各乞、东升庙、炭窑口等矿床则为在裂陷槽中的次级拗陷中形成的喷气成因矿床^④。

* 此文系国家教委博士基金资助项目研究工作总结

杨海明, 男, 28岁, 讲师, 1988年于中国地质大学(北京)研究生毕业。邮政编码: 100083

① 杨海明等, 1990, 内蒙中部狼山地区晚太古界变质杂岩特征研究

② 内蒙古地质局区调队, 1:20 万三道桥幅地质图说明书

③ 王思源、杨海明等, 1990, 内蒙狼山霍各乞矿区及外围成矿规律及找矿研究, 内部资料

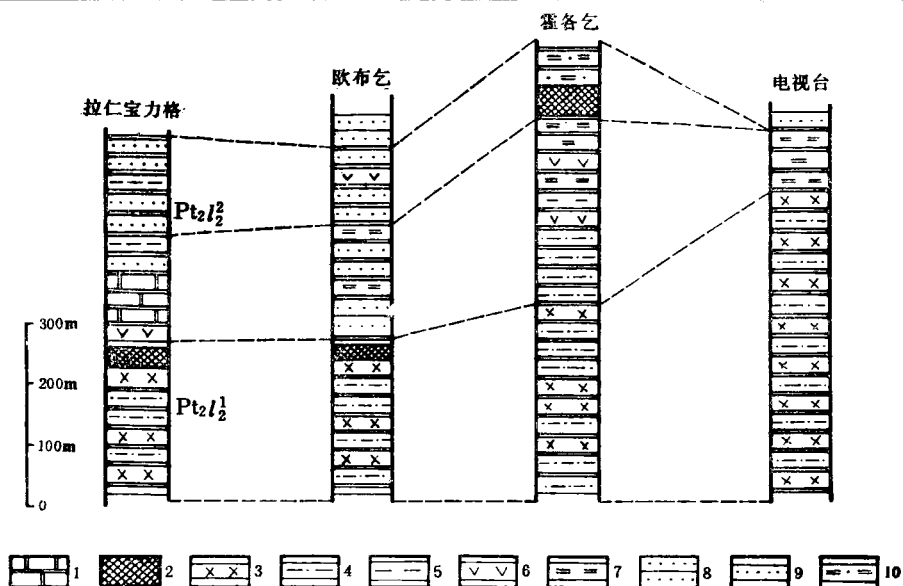


图2 狼山北侧狼山群地层柱状图

1—大理岩；2—含矿层；3—绿片岩类；4—千枚岩；5—板岩；6—角闪岩类；7—黑云母石英片岩；8—石英岩；9—黑色石英岩；10—二云母石英片岩

Fig. 2. Correlation of strata of Langshan Group on the northern side of Langshan area.

1—Marble; 2—Ore-bearing bed; 3—Greenschist; 4—Phyllite; 5—Slate; 6—Amphibolite; 7—Biotite quartz schist; 8—Quartzite; 9—Black quartzite; 10—Two-mica quartz schist.

闪岩：主要矿物成分为普通角闪石、斜长石及石英。普通角闪石呈柱状或纤状，略具定向分布，含量40%~65%，部分蚀变成绿泥石。斜长石半自形或它形，略具压扁拉长。岩石中石英含量10%~15%。在斜长角闪岩边部有时片理化很发育。部分地段含10%~25%的绿泥石、绿帘石，此时岩石变为鳞片变晶结构；（2）阳起石岩或阳起石片岩：具有不等粒变晶结构或纤状变晶结构。阳起石呈长柱状或纤维状集合体，为角闪石的蚀变产物，含量35%~75%，部分进一步蚀变成绿泥石、绿帘石。岩石中含斜长石；（3）角闪石岩：粗粒状变晶结构，矿物成分以角闪岩为主，含量高达70%~90%，斜长石含量10%~15%。次要矿物为阳起石或绿泥石。角闪石岩体中心矿物颗粒粗大，粒径一般1~2cm，最大达3cm，边部则粒度变细，片理化发育；（4）钠长绿泥片岩：片理化极为发育，钠长石含量30%~45%，绿泥石含量35%~50%，绿帘石5%~10%，黑云母0%~5%，石英5%~10%，具鳞片变晶结构。上述几类岩石在狼山北侧普遍存在，但主要局限在狼山群第二岩组中。绿片岩类位于二岩组下部，厚度十几米至一百余米，其片理与围岩的片理平行。分布范围，西起磴口县的千德曼，东至乌拉特后旗，沿走向断续延伸达数十公里。其中常夹有大理岩、硅质岩、石英岩透镜体，或与它们互层产出。斜长角闪岩类位于狼山群二岩组中部，厚度不稳定，霍各乞矿区厚度最大，六层累计达150m，其它地段一般十几至几十米。角闪岩层中角闪石粒度常出现分带，即中心部位粒度粗大，岩石以块状构造为主。边部则粒度变细，岩石以片状构造为主，其片理产状与围岩层理一致。角闪岩整体常与围岩同步褶曲。在显微镜下我们发现绿片岩类普遍存在变余杏仁状构造及自形的板状钠长石，这是正变质岩特有的组构特征。

岩石的化学成分(表1)也反映其原岩属性。根据成分计算的尼格里参数投影,在尼格里四面体图解^[5](图3)上,样品全部落在火成岩区。在利用稀土元素组成恢复原岩的La/Yb- Σ REE图解(Allegre等,1978)^[6](图4)上,10个样品中有8个落在玄武岩区(稀土元素组成见后文表4)。

表1 狼山北侧中元古代变基性岩石化学成分表(%)

Table 1. Bulk chemical composition of Middle Proterozoic metabasic rocks from the northern side of Langshan area

岩性	样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	H ₂ O	Σ	DI ^①	SI ^②
角闪岩	1	49.22	0.55	15.51	0.03	2.09	10.37	0.19	5.04	10.64	2.26	0.32	0.21	0.21	2.79	99.43	23.06	25.12
	2	47.12	0.47	16.72	0.03	1.06	7.99	0.13	8.59	9.85	2.92	1.77	0.20	1.11	1.85	99.81	31.76	38.48
	3	48.62	0.55	16.97	0.03	2.09	7.11	0.21	5.75	11.23	3.78	0.69	0.21	—	2.89	100.11	41.79	20.59
	4	45.18	0.55	17.96	0.03	1.22	9.83	0.19	7.88	7.19	3.68	0.39	0.30	1.00	4.14	99.54	33.68	31.28
	5	47.70	0.47	17.08	0.03	2.25	7.40	0.11	6.82	10.44	3.56	0.63	0.25	—	3.17	99.91	32.37	33.05
	6	49.29	1.56	16.16	—	1.44	7.54	0.23	7.50	11.40	2.68	0.46	0.18	0.12	1.48	100.04	25.72	39.25
	7	47.04	1.23	16.84	—	2.14	7.62	0.20	8.10	11.79	1.86	0.55	0.16	0.10	1.58	99.21	19.47	39.99
	8	48.26	1.07	18.02	—	1.43	6.28	0.23	7.13	11.84	2.19	0.68	0.13	0.14	2.26	99.66	23.18	40.25
	9	48.87	2.94	13.97	—	1.71	13.03	0.24	4.45	9.00	1.74	0.20	0.24	—	3.24	99.63	24.17	21.07
	10	48.13	0.98	16.04	—	1.56	9.24	0.19	7.23	9.72	2.99	0.45	0.22	0.73	2.78	100.23	28.92	33.66
闪岩	11	49.00	1.30	15.46	—	1.99	6.25	0.16	9.40	9.70	3.24	0.44	0.15	—	2.24	99.84	30.67	44.07
	12	47.71	1.90	14.26	—	2.57	9.58	0.20	8.00	8.96	2.96	0.24	0.08	—	3.63	99.11	27.71	34.30
	13	47.27	1.20	14.29	—	2.99	9.60	0.30	8.35	8.16	1.96	1.04	0.17	—	4.66	99.99	24.02	34.92
	14	47.67	1.60	16.46	—	1.64	8.45	0.20	8.65	9.05	1.72	1.64	0.18	—	3.29	99.95	25.11	37.44
	15	48.07	1.60	16.56	—	3.32	6.89	0.14	6.19	9.55	3.28	0.44	0.13	—	3.20	100.28	31.26	30.49
	16	47.92	1.00	17.07	—	3.75	6.86	0.12	6.65	9.10	2.84	0.30	0.16	—	2.39	99.64	27.87	31.30
	17	43.92	2.50	14.88	—	6.39	11.18	0.29	6.39	7.20	2.08	1.20	0.04	—	3.76	99.74	25.89	23.46
	18	50.70	2.65	14.11	—	3.61	10.80	0.21	3.50	10.15	1.64	0.80	0.17	—	1.81	100.16	30.44	17.20
	19	46.06	0.70	14.02	—	2.29	8.10	0.16	12.55	8.30	1.56	0.20	0.04	—	4.64	99.72	15.12	49.16
	20	49.86	1.10	12.83	—	3.79	9.89	0.19	6.70	10.15	2.40	0.24	0.08	—	3.25	99.57	21.94	30.38
绿片岩	21	47.56	1.10	16.36	—	0.90	6.52	0.18	10.13	12.05	1.66	0.50	0.10	0.17	0.71	99.94	17.17	48.67
	22	45.33	1.20	15.02	—	0.63	11.33	0.23	14.15	8.17	0.29	2.16	0.21	0.23	1.05	100.96	15.40	49.53
	23	52.98	3.00	14.01	—	3.45	12.15	0.12	6.00	0.69	0.95	0.14	0.58	0.25	5.34	99.66	41.68	26.46
	24	40.14	1.43	13.81	—	0.89	9.02	0.16	7.14	12.26	2.23	0.11	0.19	7.65	5.02	100.95	17.82	36.82
	25	43.38	1.31	14.50	0.04	0.33	8.68	0.18	7.75	9.11	2.68	0.48	0.10	6.24	4.52	99.80	28.52	37.94
	26	43.42	0.90	14.99	—	0.92	10.09	0.17	6.48	8.31	0.24	1.90	0.13	7.10	5.40	100.65	16.77	33.32
	27	41.14	0.70	15.05	—	1.12	8.61	0.16	7.13	10.18	1.36	1.43	0.06	7.50	5.34	99.78	22.59	36.30
	28	46.18	1.36	15.59	0.04	1.16	8.28	0.15	8.48	7.94	1.73	0.30	0.07	4.20	4.64	100.42	19.39	42.50
	29	43.94	3.00	13.10	—	3.89	9.31	0.31	6.20	7.90	1.80	0.20	0.35	5.00	4.70	99.73	24.97	28.94
	30	40.85	4.25	13.75	—	4.61	10.54	0.25	5.30	6.90	3.18	0.50	0.68	4.33	4.43	99.53	32.87	21.57

注: 11~20、29、30号样品选自狼山铜矿会战指挥部内部报告, 21~24、10号样为本文提供, 其余样品数据来自内蒙古有色地质一队 ①DI为岩石分异指数 ②SI为岩石固结指数

角闪石成分列于表2, 在判别角闪石成因的Mg-(Na+K+Li+Ca)-(Fe²⁺+Fe³⁺)三角图解(薛君治等)^[7], 5个样品均落在岩浆成因区而未落在副变质岩区。

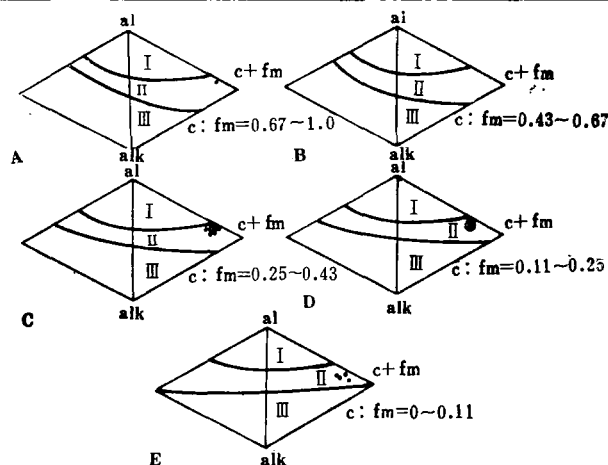
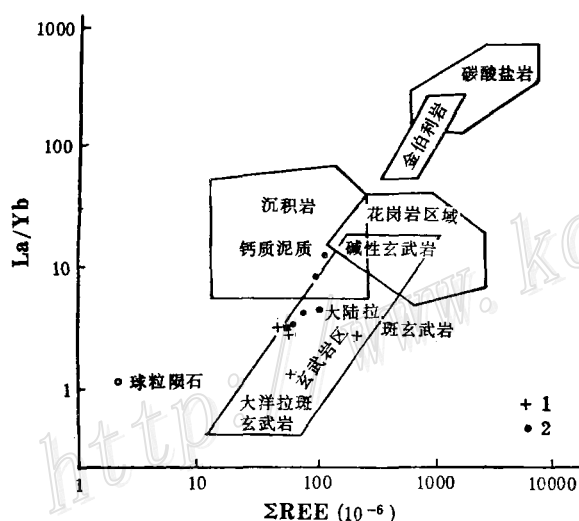


图3 狼山北侧变基性岩尼格里四面体图解

I—粘土质沉积岩；II—火成岩区；III—化学沉积岩，共有17个样品的 c/fm 比值在 0.43~0.67 范围内，因而在图 3-D 中过于集中，以大实心圆点表示

Fig. 3. Niggli diagram for metabasic rocks from the northern side of Langshan area.

I—Clayey sedimentary rocks; II—Igneous rocks; III—Chemical sedimentary rocks.

图4 狼山北侧变基性岩 La/Yb - ΣREE 图解

1—绿片岩类；2—角闪岩类

Fig. 4. La/Yb versus ΣREE diagram of metabasic rocks from the northern side of Langshan.

1—Greenschist; 2—Amphibolite.

表2 角闪岩类岩石中角闪石成分电子探针分析结果(%)

Table 2. Electron microprobe analyses of hornblende from amphibolite

编号	岩石名称	矿物	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO ^①	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃
1	斜长角闪岩	亚铁浅闪石	44.57	5.88	0.01	30.77	1.05	3.47	10.25	0.64	0.96	0.05	0.01
2	角闪岩	硅亚铁浅闪石	50.09	2.30	—	22.07	1.95	9.51	11.14	0.55	0.20	—	—
3	角闪岩	角闪石	42.97	15.19	0.54	14.57	0.21	10.80	11.58	1.99	0.21	0.09	0.02
4	斜长角闪岩	角闪石	41.30	15.04	0.74	22.00	0.06	5.82	11.39	1.67	0.56	—	—
5	斜长角闪岩	角闪石	42.87	14.50	0.30	16.47	0.18	9.02	11.47	1.95	0.38	0.10	—

注：中国地质大学（北京）电子探针室分析；①以 FeO 表示的全铁含量

3 变基性岩的形成时代

事实上,对上述四类岩石的原岩为基性岩,前人均有共识^{①, ②}。但对其形成时代则存在争议。一种观点认为其属海西期产物,另一种认为其属早加里东期产物^{①, ②}。其论据分别是 $172 \times 10^6 \sim 232 \times 10^6$ a 的 K-Ar 法同位素年龄和 772×10^6 a 的 K-Ar 法年龄。两种观点均认为变基性岩是比狼山群中层控矿床年轻的侵入体,且由于规模小而与成矿作用无关。但这些认识与变基性岩体片理产状与围岩层理一致,且与地层同步褶皱,在区域范围内仅限于狼山群二岩组中分布的“时限”特点相悖。我们对上述同位素年龄作如下分析: (1) $172 \times 10^6 \sim 232 \times 10^6$ a 的 K-Ar 年龄,这主要是由于在狼山北侧广泛发育有海西期花岗岩和花岗闪长岩体,狼山群地层及其中变基性岩均处于岩浆活动热力范围内,因而 K-Ar 法测出的年龄为海西期或更年轻; (2) 772×10^6 a 的 K-Ar 法年龄,这个年龄由贵阳地球化学所 1965 年测出,但测定对象是霍各乞与欧布乞之间的乌尔图岩体。该岩体实为一次闪辉长岩体,只是由于受后期蚀变影响,其外貌与本文所指的变基性岩(特别是斜长角闪岩)有时相似,故易将两者相互混淆而误将其 772×10^6 a 的年龄当成变基性岩的年龄。实际上,乌尔图岩体呈岩株状产出,与变基性岩的顺层性有显著不同,且后者常呈残留体形式分布在前者之上,因而它们分属两期岩浆活动的产物,且后者应比前者老。因此,变基性岩应老于 772×10^6 a; (3) 张英臣等(1983)报道狼山群二岩组云母石英片岩 Rb-Sr 等时线年龄为 1198×10^6 a^[4],认为这个年龄值代表狼山地区的区域变质年龄。狼山群及其中变基性岩夹层的年龄应大于此值; (4) 狼山北侧霍各乞矿床方铅矿铅同位素按多伊单阶段模式算出的铅同位素年龄为 $866 \times 10^6 \sim 1118 \times 10^6$ a,主要集中在 $950 \times 10^6 \sim 1100 \times 10^6$ a 之间。狼山南侧东升庙矿区方铅矿铅同位素模式年龄为 $1520 \times 10^6 \sim 1600 \times 10^6$ a (H-H 法计算)^[4]。霍各乞矿床铅同位素模式年龄偏低,且与 Rb-Sr 等时线年龄相近,结合矿石中的变质组构,认为该矿区铅同位素模式年龄也代表变质年龄。

表 3 狼山北侧斜长角闪岩 Sm-Nd 同位素成分

Table 3. Sm-Nd isotopic composition of amphibolite from the northern side of Langshan area

样号	采样位置	Sm (10^{-6})	Nd (10^{-6})	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} \pm 2\sigma$	模式年龄 (10^6 a)
L ₂	拉仁宝力格	3.648	13.259	0.1664	0.512688 ± 19	1486
V-1	霍各乞	3.767	13.492	0.1675	0.512679 ± 11	1551
IV 1	电视台	3.462	13.712	0.1527	0.512536 ± 10	1531
S9282	后布散包	1.909	6.483	0.1781	0.512774 ± 3	1606

注: 由中国地质科学院地质所张宗清测定, 误差 0.1%

我们用 Sm-Nd 年代学方法来确定变基性岩年龄, 测定对象为斜长角闪岩, 测定结果如

① 狼山铜矿会战指挥部, 1980, 霍各乞矿区及外围航空地质填图报告, 内部资料

② 内蒙古冶金地质一队, 1978, 内蒙古霍各乞铜多金属矿区一号矿床勘探报告, 内部资料

表3。四个样品模式年龄范围为 $1486 \times 10^6 \sim 1606 \times 10^6$ a。在 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ - $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 图上, 四个样品成分投影点构成的等时线斜率为 0.009796, 依据此斜率计算出的等时线年龄为 1491×10^6 a, 代表斜长角闪岩等变基性岩的成岩年龄。这个年龄可能还代表狼山群第二岩组变沉积岩的沉积年龄。值得指出的是, 最近袁忠信等人^[8]报道, 与狼山地区毗邻的白云鄂博稀土元素矿床的 Sm-Nd 等时线年龄为 1.58×10^9 a, 证明狼山群与白云鄂博群时代相近均属中元古代产物。另外, 狼山北侧变基性岩的这个年龄与东升庙矿区方铅矿铅模式年龄也相近。

变基性岩的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +6.4 \pm 0.8$, 意味着成岩物质来自地幔^[8]。

4 变基性岩岩石化学特征及稀土元素组成特征

本文试图通过岩石化学特征来探讨中元古代岩浆活动特点。但由于岩石遭受了变质及后期热液蚀变, 其中最显著的蚀变是碳酸盐化, 因而对 CO_2 含量过高的样品未予使用, 对 CO_2 含量小于 6% 的样品, 扣除 CO_2 及相应的 CaO, 并对其它组分作了相应的调整, 根据调整后氧化物含量作如下分析:

角闪岩类 SiO_2 含量为 47.50%~52.05%, 平均值 49.52%, 绿片岩类 SiO_2 含量 45.00%~50.75%, 平均值为 48.06%, 均与玄武岩类 SiO_2 含量相当。这与白云鄂博群及东升庙、炭窑口一带的狼山群中所夹的火山岩有差别。据李继亮(1982)研究^[3], 白云鄂博群中的火山岩为细碧角斑岩。东升庙等地除有基性岩外, 还有角斑岩、安山岩、流纹岩等中酸性岩石。

狼山北侧变基性岩 K_2O 含量低, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值高, 角闪岩类 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 值平均为 5.07, 绿片岩类 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值平均 6.78, 在 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ - $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 图解上(图5), 大部分样品均落在正常火山岩范围内, 且在此图上, 投影点没有表现出线性分布趋势, 说明在蚀变或变质作用过程中 Na_2O 、 K_2O 没有明显的代出代入。

在 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ - SiO_2 图解上^[5], 本区变基性岩大部分样品投影点分布在亚碱性玄武岩区。进一步运用欧文等人的 F-A-M 图解(图6)来判断亚碱性玄武岩, 可知变基性岩中亚碱性岩石均属拉斑玄武岩系列。

由此看来, 狼山地区克拉通边缘内、外两个裂陷槽中元古代火成岩成分有差别。在外侧裂陷槽中, 只有基性岩出现, 且以亚碱性系列的拉斑玄武岩为主, 而靠古陆内部裂陷槽中既有基性岩浆活动, 又有酸性岩浆活动, 且具有双峰式成分分布特点^[2], 岩石系列上既有碱性系列, 又有亚碱性系列^[2]。这种火成岩成分上的差异在华北地台南缘的东秦岭地区亦存在。在东秦岭地区, 中元古代于地台南缘亦形成两个裂陷槽, 台缘外侧裂陷槽中宽坪群中火山岩夹层主要为低钾拉斑玄武岩和少量钙碱性玄武岩, 而未见酸性火山岩^[9], 靠台缘内侧裂陷槽中熊尔群火山岩具有双峰式特征, 既有钙碱性岩石, 又有碱性岩石^[9]。

我们试图用 T H 皮尔斯 $\text{FeO}^*-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ 图解, J A 皮尔斯 F_1-F_2 , F_2-F_3 图解^[5]来判断狼山北侧基性岩形成的构造环境, 但在这些图上, 投影点均较分散, 与白云鄂博地区变玄武岩类特点^[3]相似。这可能是因为狼山北侧中元古代构造位置处于古陆和大洋交接部位, 构造性质属于古陆边缘发育的裂陷槽, 裂陷作用和火山活动的同时伴随有海侵作用进行, 因而火山岩形成时的地壳性质介于陆壳和洋壳之间。在 T H 皮尔斯 $\text{TiO}_2-\text{K}_2\text{O}-\text{P}_2\text{O}_5$ 图解^[3]上, 投

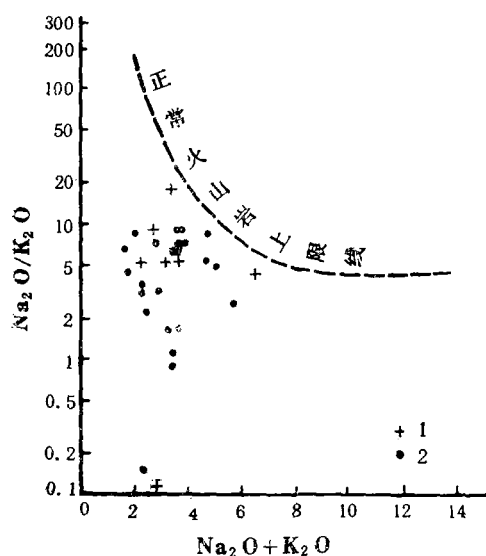


图5 狼山北侧变基性岩 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ - $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 图解

(原图据都城秋穗简化)^[3]

1—绿片岩类; 2—角闪岩类

Fig. 5. $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ versus $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ diagram of metabasic rocks from the northern side of Langshan area.

1—Greenschist; 2—Amphibolite.

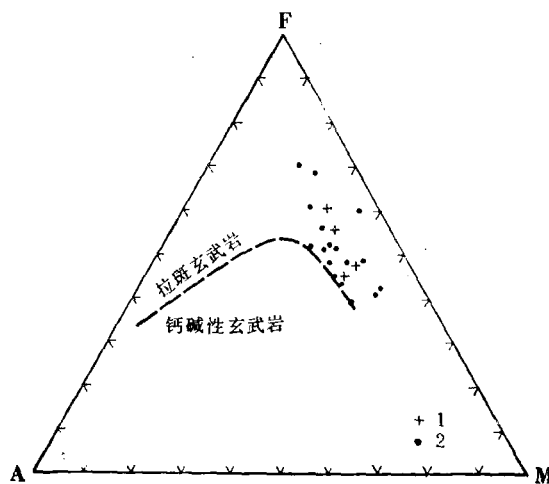


图6 亚碱性变基性岩 F-A-M 图解

(原图据欧文等人, 1971)^[5]

1—绿片岩类; 2—角闪岩类

Fig. 6. F-A-M diagram of subalkaline metabasic rocks.

1—Greenschist; 2—Amphibolite.

影点在大洋区和非大洋区均有分布, 且大部分点位于两者界线附近。与 Condie (1982) 统计的大洋拉斑玄武岩, 大陆裂谷玄武岩成分^[10]相比, 本区变基性岩化学成分也界于两者之间。

但在组合指数——戈蒂里指数图解^① (图7) 上, 大部分样品落在大陆边缘和造山带区域, 反映中元古代狼山北侧为一构造活动带。正是由于地壳拗陷提供了合适的盆地环境, 伴

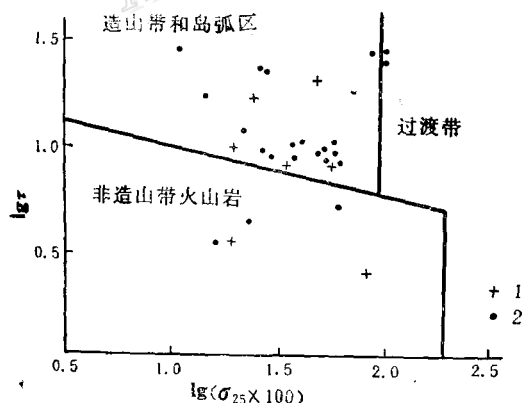


图7 狼山北侧变基性岩 $\lg \tau - \lg (\sigma_{25} \times 100)$ 图解

1—绿片岩类; 2—角闪岩类

Fig. 7. $\lg \tau$ versus $(\sigma_{25} \times 100)$ diagram of metamorphic basic rocks from the northern side of Langshan.

1—Greenschist; 2—Amphibolite.

① 王人镜, 1984, 岩石化学, 武汉地质学院内部教材

生的火山活动产生高地热异常,才使中元古代喷气成矿作用有可能发生。

我们分析了6个角闪岩类岩石和4个绿片岩类岩石样品的稀土元素组成(表4)。两类岩石球粒陨石标准化稀土模式见图8。

表4 狼山北侧变基性岩稀土元素组成(10^{-6})

Table 4. REE composition of metabasic rocks from the northern side of Langshan area (in 10^{-6})

样号	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	Σ
8-18-1	斜长角闪岩	12.2	30.4	2.87	19.0	4.6	1.6	6.4	1.1	6.1	1.25	3.4	0.38	2.5	0.37	33.8	92.20
P5	斜长角闪岩	10.2	23.8	2.44	14.4	3.0	1.0	4.0	0.56	4.0	0.75	2.5	0.38	2.1	0.31	23.5	69.40
S9282	斜长角闪岩	5.3	15.9	1.8	8.0	2.3	0.94	3.84	0.44	3.79	0.75	2.11	0.36	1.72	0.53	22.8	47.79
C0206	角闪岩	16.4	27.7	4.28	16.5	3.6	1.22	3.95	0.64	4.22	0.79	3.06	0.50	2.05	0.55	31.9	85.46
III ₂	角闪岩	5.81	16.8	2.17	9.9	2.9	0.96	3.83	0.48	3.91	0.75	2.67	0.43	1.76	0.36	25.7	52.73
He-07	角闪岩	25.2	36.8	5.3	21.4	5.95	2.85	5.22	0.81	4.05	0.82	2.02	0.31	1.67	0.32	18.3	112.70
8-27-6	钠长绿泥片岩	7.2	15.2	—	9.8	1.45	0.53	2.2	0.34	2.03	0.36	1.2	0.22	1.3	0.18	12.8	42.01
P4-2	钠长绿泥片岩	10.4	24.4	2.4	16.0	3.0	0.80	3.1	0.56	3.1	0.53	1.47	0.26	1.6	0.22	17.0	67.84
S9265	钙质绿泥片岩	6.07	17.2	1.87	10.5	3.53	0.81	4.48	0.57	4.79	0.91	2.71	0.39	2.53	0.65	24.4	57.01
C0056	绿泥石英片岩	25.7	89.4	9.26	31.3	7.39	1.77	7.67	1.40	7.5	2.0	5.39	1.00	5.12	0.86	68.0	195.76

注:由中国地质科学院测试所测定

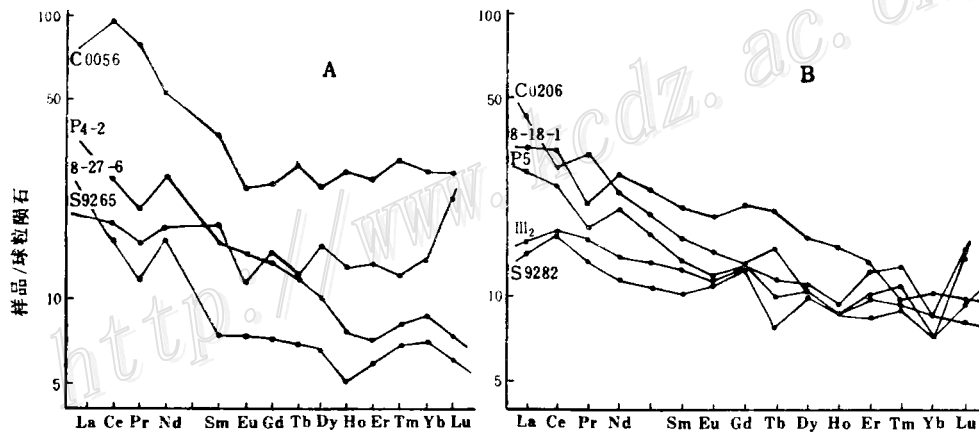


图8 狼山北侧变基性岩稀土元素球粒陨石标准化曲线

A—绿片岩; B—角闪岩

Fig. 8. Chondrite-normalized REE patterns of metabasic rocks from the northern side of Langshan area.

A—Greenschist; B—Amphibolite.

10个样品稀土元素总量变化范围为 $42.01 \times 10^{-6} \sim 195.76 \times 10^{-6}$,其中仅两个样品 ΣREE 超过 100×10^{-6} ,比碱性玄武岩稀土总量($69 \times 10^{-6} \sim 1453 \times 10^{-6}$)^[6]低,而与拉斑玄武岩稀土总量相近($15.2 \times 10^{-6} \sim 322 \times 10^{-6}$)^[6]。稀土元素分布模式均为轻稀土富集型, $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 比值范围为2.53~5.37,平均4.12, $\delta\text{Eu}=1 \pm 0.3$,反映铕异常变化没有明显规律。 Sm/Nd 比值范围0.15~0.34, La/Sm 比值为1.7~4.56。这些特征与洋中脊拉斑玄武岩轻稀土亏损^[6]有显著区别,而与岛弧或弧后盆地,大陆拉斑玄武岩稀土配分型

式^[6]相似。结合前文关于主要氧化物成分特点的分析, 可以认为变基性岩是在太古代古陆中的边缘拗陷中形成的。

5 变基性岩与成矿的关系

狼山北侧除霍各乞大型层状 Cu、Pb、Zn 矿床外, 尚有千德曼、欧布乞、后布敦包、贡格勒等 Cu、Pb、Zn 矿点。它们均产在狼山群二岩组中。矿化与变基性岩的空间关系有两种情况: 一种以霍各乞矿床为代表, Cu、Pb、Zn 矿体产在变基性岩上覆的一套以喷气沉积岩为主的岩系中; 另一种以欧布乞矿点为代表, 矿化只局限在变基性岩与变沉积岩接触带上, 如在欧布乞, 矿化出现在与绿片岩接触的大理岩中, 贡格勒矿化位于角闪岩与石英片岩接触带, 千德曼矿化位于绿片岩与石英片岩接触带、后布敦包矿点, 矿化出现在与斜长角闪岩接触的碳质板岩中。矿床规模与变基性岩规模呈正相关。霍各乞矿区变基性岩厚度最大, 矿床规模也最大, 而其它矿点仅出现弱浸染状矿化。

即使在霍各乞矿区, 含矿岩系中也存在少量变基性岩夹层, 其岩性主要为磁铁角闪岩, 呈薄层状或条带状分布, 厚 5~50 cm, 主要由角闪石、斜长石、石英组成, 含少量磁铁矿。上述特征说明狼山北侧的矿化与变基性岩有密切的空间关系。

前人对狼山北侧 29 个变基性岩光谱分析结果表明, 其中 Cu、Pb、Zn 含量不均匀, 一般只有十几至几十 ppm, Cu、Pb、Zn 最高含量分别为 300×10^{-6} 、 800×10^{-6} 、 300×10^{-6} ^①。我们在千德曼的绿片岩中, 后布敦包的角闪岩中, 发现有星点状铜兰及黄铜矿, 两地变基性岩光谱定量分析结果表明, 尽管总体上 Cu、Pb、Zn 含量低, 但有两个样品 Cu 含量大于 0.1%。千德曼、欧布乞两矿点黄铁矿电子探针分析结果表明, 其 Co/Ni 比大于 1。这些特征均反映变基性岩可能提供了部分成矿物质。

但是, 总体上讲, 狼山北侧变基性岩的规模较小, 似乎不足以提供像霍各乞这样大型多金属矿床的全部成矿物质来源。在整个狼山地区, 狼山群中非含矿地段变沉积岩及中元古代以后的各期侵入岩 Cu、Pb、Zn 背景值也很低, 因而不存在中元古代以后的地质作用使成矿物质叠加到含矿层中的可能性^②。霍各乞矿床矿石组构以沉积组构为主, 也反映叠加成矿作用较弱, 矿床主要是中元古代喷气成矿作用形成的^③。狼山地区 Cu、Pb、Zn 背景值较高的地质体只有晚太古代乌拉山群。通过对霍各乞矿床黄铜矿、黄铁矿、方铅矿单矿物稀土元素及铅同位素组成分析, 其金属来源主要来自下伏的晚太古代基底^④。中元古代火山活动更重要的意义可能在于其是使基底物质活化迁移而进入沉积盆地的有利因素。

基性火山岩固结指数 SI , 分异指数 DI 与主要氧化物的关系可以反映变基性岩的岩浆与基底物质同化、混染的特征, 这可用以了解火山活动是否使基底中的成矿物质发生了活化迁移。地幔源未分异或未遭地壳物质混染的原生岩浆凝固形成的岩石 SI 值约 40 或更大, 而小于 40 的岩石都是地幔原生岩浆经过分异或与基底物质发生了同化混染后固结形成的^⑤。狼山北侧变基性岩 SI 值 (见表 1) 为 21.07~40.25, 大多样品小于 40, 说明岩浆在结晶前

① 狼山铜矿会战指挥部, 1980, 霍各乞矿区及外围航空地质填图报告, 内部资料

② 王思源、杨海明等, 1990, 内蒙狼山霍各乞矿区及外围成矿规律及找矿研究, 内部资料

③ 王人镜, 1984, 岩石化学, 武汉地质学院内部教材

与地壳物质发生过混染。另外,如果岩浆在其上升过程中未受基底物质的混染,主要氧化物含量与固结指数 SI 的对数值及分异指数 DI 有线性关系。但狼山北侧变基性岩除 $\lg SI-MgO$, $DI-(Na_2O + K_2O)$ 略显线性关系外, 大多氧化物与 $\lg SI$ 或 DI 均无线性关系, 反映岩浆在上升过程中与基底物质发生了较强烈的混染。正是这种同化混染作用,造成了基底中 Cu 、 Pb 、 Zn 活化迁移。

据刘仁福等研究^[2], 狼山南侧中元古代火山岩与基底物质混染相对较弱, 那里只有 Al_2O_3 、 SiO_2 与 $\lg SI$ 或 DI 的线性关系不明显, 而其它氧化物与 $\lg SI$ 或 DI 有显著的线性关系。狼山南、北两侧中元古代火成活动的差异可能是造成北侧以 Cu 、 Pb 、 Zn 多金属矿化为主, 而南侧的东升庙、炭窑口等矿床以硫铁矿为主, Cu 、 Pb 、 Zn 较贫。

根据上面的论述, 我们认为中元古代变基性岩是狼山北侧铜多金属矿床形成的重要条件, 也是在该地区寻找霍各乞式矿床的有效找矿标志。

哈钦森曾将喷气成因矿床划为两大类: 一是以火山岩为容矿岩石的喷气-火山岩型; 另一类是以沉积岩为容矿岩石的喷气-沉积岩型^[11]。狼山北侧霍各乞矿床的容矿岩石主体是沉积岩, 属后一类。但据拉奇统计, 即使在后一类矿床附近也往往有规模不等的同沉积期火山岩^[12]出现, 如著名的芒特艾萨、麦克阿瑟、沙利文等矿床。因而对这类矿床中火山岩在成矿中的意义有必要作深入的研究。本文在这方面提出了一些不成熟的看法, 希望同行批评指正。

参 考 文 献

- 1 侯明等. 内蒙古狼山地区太古界乌盖群的划分、对比和建造特征. 天津地质调查所所报, 1982, (2): 1~2
- 2 刘仁福等. 内蒙古中部早一中元古代火山岩类岩石的基本特征及铁铜多金属矿床的找矿方向. 天津地质调查所所报, 1983, (2): 50~65
- 3 李继亮. 两个中元古代裂陷槽的细碧角闪岩系. 岩石学研究 (第一辑). 北京: 地质出版社, 1982. 110~120
- 4 张英臣等. 内蒙古渣尔泰群、狼山群同位素地质年龄研究. 天津地质调查所所报, 1983, (1): 124~133
- 5 王仁民等. 变质岩原岩图解判断法. 北京: 地质出版社, 1987. 2~50
- 6 王中刚等. 稀土元素地球化学. 北京: 科学出版社, 1989. 133~212
- 7 靳是勤等. 成因矿物学概论 (下册). 长春: 吉林大学出版社, 1985. 218~228
- 8 袁忠信等. 内蒙古云鄂博铜、稀土、铁矿床的成矿时代和矿床成因. 矿床地质, 1991, 10 (1): 59~69
- 9 欧阳建平, 张本仁等. 东秦岭地区华北地台南缘两类大陆边缘地球化学论证. 秦巴区域地球化学文集. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990. 128~141
- 10 Kondie K C. 板块构造与地壳演化. 北京: 科学出版社, 1986.
- 11 Hutchinson R W. 层控矿床在地质历史中的地位. 国外矿床地质, 1988, (3): 19~27
- 12 拉奇 D E. 沉积容矿岩石中的块状硫化物铅-锌矿床: 一种经验模式. 国外矿床地质, 1989, (2): 21~60

CHARACTERISTICS AND METALLOGENIC SIGNIFICANCE OF MIDDLE PROTEROZOIC METAVOLCANITES ON THE NORTHERN SIDE OF LANGSHAN MOUNTAIN, INNER MONGOLIA

Yang Haiming and Su Shangguo

(China University of Geosciences, Beijing)

Abstract

The northern side of Langshan mountain in central Inner Mongolia, located in the transitional zone between north China platform and Hercynian Xingmeng geosyncline, is one of the important metallogenic belts in China.

It covers the Hegeqi copper-lead-zinc deposit and other polymetallic mineralized spots which all occur in Middle Proterozoic Langshan Group and bear some resemblance to the group of sedimentary-hosted massive base metal sulfide deposits proposed by Large(1980). Langshan Group is dominated by epimetamorphic clastic and carbonate rocks intercalated with metavolcanites.

Metavolcanites consist of amphibolite, albite chlorite schist, actinolite and actinolite schist. Stratigraphically, they are restricted within the middle part of Langshan Group. The foliations in them are commonly parallel to those in country rocks, and they as a whole have been folded conformably with meta-sedimentary rocks.

Petrographic evidence such as blastoamygdaloidal structure indicates a volcanic origin of these rocks. In Niggli diagram, all plotted points fall into the magmatic rock region; in the La/Yb- Σ REE diagram, plotted points are predominantly within the basalt region. However, ambiguity of field relationship between these metavolcanites and metasedimentary rocks combined with the K-Ar isotopic ages published has brought about a dispute about the age of metavolcanites. This paper presents a Sm-Nd isotopic age of 1491×10^6 a, indicating that they are Middle Proterozoic syngenetic volcanic rocks.

Geochemically, SiO_2 content of amphibolite and that of greenschist range from 47.50 to 52.05 wt% and from 45.00 to 50.75 wt% respectively, suggesting that metavolcanites are mainly basic volcanic rocks. Plotted points in the $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$ diagram and the F-A-M diagram show that they are largely tholeiite. Total REE, $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ and chondrite-normalized REE pattern of metavolcanites are similar to those of tholeiite.

Mineralizations on the northern side of Langshan mountain occur in metamorphic exhalite overlying metavolcanites or along the contact zone between metavolcanites and metamorphic sedimentary rocks. Close spatial relationship between mineralizations and metavolcanites implies the existence of a connection between volcanic activity and mineralization. Co/Ni ratio of pyrite from ores is larger than 1, suggesting that volcanic rocks provided part of metals for mineralization. Nevertheless, sizes, ore-forming element contents of metavolcanites and geochemical features of ore show that not all metals came from them. The more important significance of metavolcanites consists in the contribution of high geothermal gradient, thus facilitating the migration of metals from the underlying basement into the basin. The nonlinear relationship between solidification indices or differentiation indices and oxide contents demonstrates that assimilation and contamination once took place between magma and basement rocks rich in copper, lead and zinc.