

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

论辽西燕山期花岗岩与钼矿床成因

肖垂斌

(杨家杖子矿务局)

自河北昌黎、经山海关至辽宁北镇的山海关地穹西北部边缘均有钼矿床分布。矿床形成于燕山运动的中—晚期，系含钼热液充填于岩石中的构造裂隙、矿物粒间孔隙而成。本区自燕山运动以来，在大地构造单元上，既不同于地台区，也不同于地槽区，而是转化为地洼区后，形成了地洼构造层^[1]。钼矿床与受青龙—锦西—阜新基底断层和女儿河断层控制的燕山期花岗岩系有关。这条自南西至北东长约 160 公里的构造—岩浆成矿带上，有许多重要的钼矿床和矿化点（图 1），例如杨家杖子产于矽卡岩中的钼矿床和兰家沟产于细粒斑状花岗岩中的钼矿床等。这个地区为什么是一个钼矿区呢？笔者认为这与本区的地壳成分有着密切的关系。

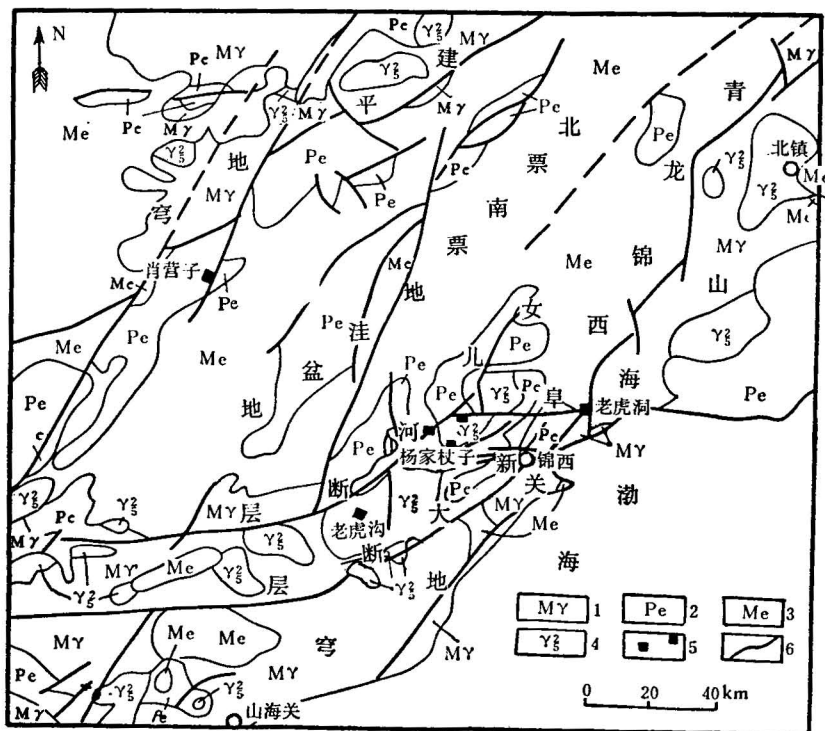


图 1 辽西大地构造略图(据辽宁 105 地质勘探队)

1. 太古界晚期片麻状花岗岩； 2. 中—晚元古代—晚古生代燧石灰岩、砂岩、页岩、石灰岩； 3. 中生代中酸性火山岩及火山碎屑岩； 4. 燕山期花岗岩； 5. 钼矿床及重要钼矿点； 6. 断层

一、本区燕山期以前的地壳成分

本区最古老的基底岩石是距今 24 亿年¹⁾(太古界晚期)的片麻状花岗岩,分布于河北昌黎至辽宁北镇一带,长约 160 公里,东西宽约 20—80 公里,出露面积为 8500 平方公里,岩石化学成分、副矿物组成及钼的含量见表 1。由表 1 可知,此岩石中的 $Al_2O_3 > K_2O + Na_2O + CaO$; $K_2O + Na_2O = 8.22\%$; $K_2O/Na_2O = 1.48 > 0.50$, 为钾质系列。铁、镁、钛含量甚微,副矿物组合为磷灰石-锆石-榍石型。钼的含量为钼在花岗岩中平均含量的²⁾6 倍,分散在岩石中,主要赋存在正长石、磁铁矿和锆石中,其中正长石中含钼 27.4ppm,磁铁矿中含钼 23.7ppm,锆石中含钼 43.7ppm³⁾。

中一晚元古代至二叠纪(缺失志留系—泥盆系),沉积了巨厚的石灰岩及砂岩、黑色页岩等。寒武系的黑色页岩主要由石英、斜长石、绢云母、磁铁矿、磷灰石、锆石组成,其中副矿物的成分与片麻状花岗岩相似(表 2),其物源可能有一部分来自片麻状花岗岩的风化、侵蚀。页岩中的钼的含量为同类岩石丰度(2.6ppm)的 38 倍之多。

从上述资料来看,本区燕山期以前的地壳成分属于含钼高、含铁、镁、钛低的硅铝型地壳。

二、本区与钼矿化有关的燕山期花岗岩及其成因

本区与钼矿化有关的花岗岩系列形成于中一晚侏罗世,同位素年龄为 162—140 百万年(钾-氩法测定)⁴⁾,侵入先后为:花岗闪长岩、粗粒斑状花岗岩、中粒花岗岩和细粒斑状花岗岩。其岩石化学成分、钼含量及副矿物组成见表 3。

除花岗闪长岩外,均属超酸性富碱金属的钾质系列岩石,铁、镁含量甚微,钼的含量为 10—20ppm,较钼在花岗岩中的平均含量高出十几倍,与钼成矿最密切的细粒斑状花岗岩尤为突出,例如兰家沟钼矿、松树卯钼矿、杨家杖子钼矿的细粒斑状花岗岩中,钼的平均含量高达 10—25ppm,较同类岩石中的平均含量高 10—25 倍。铅、锌、银、金、铜的含量也较同类岩石的平均含量高,也形成了矿床。钛、钒、铬、钴、镍含量甚微。通过岩石化学成分、副矿物组成和微量元素对比,与钼矿有关的燕山期花岗岩均与片麻状花岗岩相似(表 4)。

笔者认为,本区与钼矿化有关的燕山期花岗岩不是来自地幔,而是由基底片麻状花岗岩的重熔、分异产生的再生岩浆侵入、冷凝而成。这是因为在燕山运动中,本区已进入地洼构造活动的急剧期,强烈的块断运动,使有的部分隆起,有的部分凹陷,形成了山海关地穹及其西部的北票-南票地洼盆地。据地质力学模拟实验^[2],在隆起与凹陷的接触带,是

1) 吉林冶金地质勘探公司地质研究所测定(钾-氩法)。

2) 据维诺格拉多夫 1962 年测定花岗岩中钼的平均含量为 1ppm (见南京大学地质系编地球化学第 92 页,1979,科学出版社)。

3) 据中南矿冶学院地质系矿床教研室彭省临测定。

4) 姜锡忠,1979,辽西南部中酸性侵入岩基本特征及成矿专属性。中国金属学会首届矿床学术会议论文,辽宁冶金地质研究所印。

表 1 太古界晚期片麻状花岗岩部分岩石化学成分、副矿物组成及钼含量*

成分	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	总量	Mo (ppm)	副矿物组成 (g/T)			
														磷灰石	榍石	锆石	磁铁矿
含量 (%)	70.27	0.485	14.32	1.75	1.44	0.045	1.36	1.82	3.22	4.91	0.19	99.51	6	12	26.8	23	1024.4

注: 岩石化学成分及副矿物组成据辽宁冶金地质勘探公司 105 地质勘探队编 1962 年杨家杖子和北松树卯钼矿区增长储量计算说明书。钼系辽宁冶金地质研究所韩跃春分析。

* 岩石化学成分样品数为 13; 副矿物组成样品数为 9。

表 2 寒武纪黑色页岩部分岩石化学成分、副矿物组成及钼含量

成分	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	总量	Mo(ppm)	副矿物组成	
														磁铁矿、磷灰石、锆石	
含量(%)	55.30	1.46	16.94	4.42	5.29	0.41	4.41	1.87	0.93	6.88	0.86	99.77	100		

注: 岩石化学成分系辽宁冶金地质研究所周宝琴分析; 样品数为 12, 副矿物组成据辽宁冶金地质勘探公司 105 地质勘探队编 1962 年杨家杖子和北松树卯钼矿区增长储量计算说明书。钼系辽宁冶金地质研究所韩跃春分析。

表 3 燕山花岗岩系部分岩石平均化学成分、副矿物组成及钼含量

样品 个数	成分		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Na ₂ O + K ₂ O	K ₂ O/ Na ₂ O	Mo (ppm)	副矿物组成 (g/T)					
	含量(%)	岩石名称															样品 个数	磷灰石	榍石	锆石	磁铁矿	
34		花岗闪长岩	65.43	0.56	14.19	1.83	3.31	0.41	2.71	4.08	4.24	2.88	0.21	99.85	7.12	0.68	5	2	2.8	25.1	22.8	1142
40		粗粒斑状花岗岩	71.94	0.31	14.62	1.38	0.98	0.10	0.72	1.04	3.62	4.69	0.09	99.49	8.31	1.77	4	2	13.9	87.2	24.6	2090.6
32		中粒花岗岩	74.38	0.18	13.84	1.17	0.53	0.03	0.41	0.66	3.35	4.90	0.63	100.08	8.26	1.68	10	5	5.1	1.1	28.1	1330.8
35		细粒斑状花岗岩	75.59	0.15	12.52	0.72	0.81	0.06	0.88	0.90	3.28	4.69	0.06	99.51	7.97	1.44	21	5	5.2	4.8	5.7	131.8

注: 岩石化学成分据辽宁冶金地质勘探公司 105 地质勘探队编 1962 年杨家杖子和北松树卯钼矿区增长储量计算说明书。副矿物组成系中南矿冶学院地质系矿床教研室彭省临分析。钼系辽宁冶金地质研究所韩跃春分析。

表 4 辽西片麻状花岗岩、燕山期花岗岩中主要微量元素含量 (ppm)

样品 个数	含量 \ 元素		Cu	Pb	Zn	Mo	Ag	Au	Ni	Cr	Co	V	Ti	Mn	Ga	Ba
	岩石名称	地点														
6	片麻状花岗岩	叶屯	31.6	31.6	100	6	1	0.3	10	10	10	20	300	180	10	150
6	花岗闪长岩	松树卵	20	30	100	4	1	0.2	10	10	10	20	60	120	10	250
3	粗粒斑状花岗岩	杨家杖子	30	30	100	6—7	1	0.3	10	10	10	30	400	200	10	100
8	细粒斑状花岗岩	下兰家沟	20—40	30—40	100	20—25	1	0.3	10	10	10	25	340	265	10	115
13	细粒斑状花岗岩	杨家杖子	25	35	100	12	1	0.3	10	10	10	20	675	800	10	180
19	细粒斑状花岗岩	松树卵	25	25	100	10	1	0.2	10	10	10	20	275	1225	10	100
花岗岩中的平均含量*			20	20	60	1	0.05	0.0045	8	25	5	40	2300	600	20	830

* 据维诺格拉多夫 1962 年测定。分析者: 辽宁冶金地质研究所韩跃春。

切线应力最大(并随深度的增加而增大),静压力最小,热流量最大的部位(表现为放射性异常和温泉的存在),有利于断裂和岩浆的形成,因此,引起了此部位深处片麻状花岗岩重熔,形成再生的花岗质岩浆,并沿着因块断运动在接壤带产生的基底断层侵入,形成了上述花岗岩,由于分异作用,愈到后期岩浆愈偏酸性¹⁾。其证据如下:(1)空间上,燕山期花岗岩系沿着山海关地穹与北票-南票地洼盆地的接壤带分布,其分布范围局限于片麻状花岗岩内;(2)燕山期花岗岩系周围无基性、超基性侵入岩或喷出岩共生,只有其后喷出的流纹岩。本区也无地幔物质形成的铬、镍、钒、钛等矿床或特有的一组稀有元素——铌、锆、锕和钽²⁾,这说明充填花岗岩体的深大断裂确属只切穿了深部“花岗质层”,而未达到软流层的基底断层^{3,4)},地幔物质未参予燕山期的岩浆活动;(3)本区燕山期花岗岩系出露面积约 2800 平方公里,周围无玄武岩。实验岩石学证明,8 份玄武岩浆,才能分异出 1 份花岗岩,而且只有原始的玄武岩浆中含有自由的 SiO_2 时,才能获得花岗岩,但玄武岩浆不具有这个特点。已有的实验资料表明,玄武岩浆分异仅能得到闪长岩。以上说明花岗岩不是由玄武岩浆分异形成的。(4)燕山期花岗岩大致继承了片麻状花岗岩的岩石化学成分、微量元素和副矿物成分,只是含量上有些差别,两者都含有比克拉克值高达几倍的钼。

三、矿质来源和成矿机理

1. 钼矿床中钼的来源

以前一直认为,细粒斑状花岗岩中的钼和钼矿床中的钼来自地幔,但从当前掌握的地质资料来看,片麻状花岗岩是本区形成钼矿床的矿源层。其根据是:(1)本区钼矿床的空间分布局限于含钼片麻状花岗岩基底上,而与钼矿床有关的细粒斑状花岗岩来自含钼片麻状花岗岩的重熔、分异;(2)虽然细粒斑状花岗岩中的钼矿床中辉钼矿的 δS^{34} 为

1) 姜齐节、梅友松, 1982, 我国大陆中东部基底地层成分分区与金属成矿分区。地质与勘探, 第一期。

2) 卡留斯特, Ю. Л., 1980, 论地幔成矿专属性。地质科技动态, 第八期, 地质部情报研究所编印。

3) 姜锡忠, 1979, 辽西南部中酸性侵入岩基本特征及成矿专属性。中国金属学会首届矿床学术会议论文。辽宁冶金地质研究所印。

4—6‰³⁾，一般认为是幔源的标志，但因周围无地幔物质形成的岩石和矿床，说明地幔物质未参予成矿活动，钼只能来源于花岗质层。国外当前的研究资料也表明，一些斑岩钼矿的成矿与地壳岩石的重熔作用、同化作用、混染作用有一定的关系^[5]。(3) 在本区片麻状花岗岩中含量高于在花岗岩中平均含量的元素，如：钼、铅、锌、银、金、铜都形成了不同规模的矿床，而含量低于花岗岩中平均含量的元素都没有形成矿床(表 4)，间接说明钼、铅、锌、银、金、铜都来自片麻状花岗岩基底。

2. 成矿热液的成因

本区钼矿床，一是产于矽卡岩中(图 2)；二是产于细粒斑状花岗岩中(图 3)。但成矿

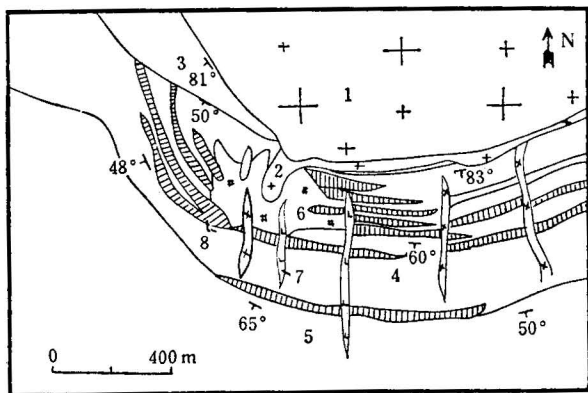


图 2 杨家杖子钼矿床地质略图(据杨家杖子矿务局岭前矿地测科)

1.粗粒斑状花岗岩；2.细粒斑状花岗岩；3.中—晚元古代燧石灰岩、石英砂岩；4.寒武系—奥陶系石灰岩、黑色页岩；5.石炭—二叠系砂岩；6.石榴石—透辉石矽卡岩；7.正长斑岩脉；8.钼矿体

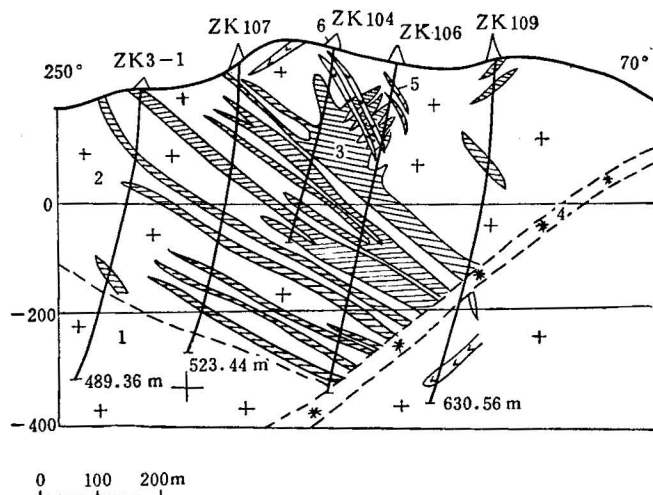


图 3 兰家沟钼矿床 3 号线地质剖面图(据辽宁 105 地质勘探队)

1.粗粒斑状花岗岩；2.细粒斑状花岗岩；3.辉钼矿-石英脉型矿体；4.花岗斑岩脉；5.煌斑岩脉；6.钻孔及编号

热液的成因是相同的。

笔者根据自己的观察和研究,认为本区的含钼热液主要不是来自岩浆,岩浆分异只能产生少量的含钼热液,岩浆主要是热的来源,岩浆侵入地壳上部,加热地壳中的水(渗透水、裂隙水、孔隙水)成为热液¹⁾。这种热液从途经的围岩中浸溶出了钼和其它元素,变成了含钼热液,因此,本区形成钼矿床的含钼热液中的水是以地下水为主,片麻状花岗岩重熔产生的岩浆水为辅。其证据是:(1)松树卵露天采矿场,普遍见到同一条矿脉穿过不同的围岩时,其脉石矿物不同。矿脉穿过细粒斑状花岗岩和砂岩时为石英脉,穿过矽卡岩和碳酸盐岩时为方解石脉,说明热液的成分来自围岩。(2)采矿和勘探证明,在许多已采完的矽卡岩钼矿体和已探明的辉钼矿-石英脉矿体沿走向和倾斜的尖灭端,未发现任何通向矿体的裂隙通道;赋存在接触带的矽卡岩中的钼矿体的产状与石灰岩一致,周围无火成岩,也未发现从细粒斑状花岗岩通向矿体的热液通道。(3)本区成矿深度与本区地下水赋存的深度基本一致。细粒斑状花岗岩中辉钼矿-石英脉矿体均集中在-300米标高以上的岩体顶部,上下延伸一般为450米左右。矽卡岩中钼矿体上下分布在800—1,000米的范围内,再加上矿体形成时上覆盖层的厚度,成矿深度估计在2500—3500米,基本上是本区地下水赋存的深度。

本区的含钼细粒斑状花岗岩和寒武纪的黑色页岩中,有足够数量的钼供被岩浆加热了的地下水和少量的岩浆水浸溶出来,在有利的地质条件和物理化学条件下形成钼矿床。本区细粒斑状花岗岩中钼的平均含量为21ppm,1立方公里的岩石含有5.46万吨钼,例如兰家沟细粒斑状花岗岩中含有20—25ppm的钼,1立方公里的岩石含有5.2—6.5万吨钼;松树卵的细粒斑状花岗岩中含有10ppm的钼,1立方公里的岩石中含有2.6万吨钼;杨家杖子的细粒斑状花岗岩中含有12ppm的钼,1立方公里的岩石中含有3.12万吨钼,黑色页岩含钼100ppm左右,1立方公里的页岩约含26.7万吨钼。在这些地区都形成了重要的钼矿床。

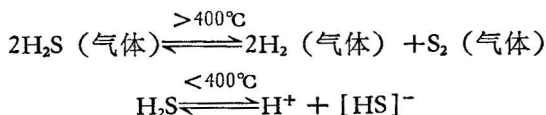
3. 钼矿床的成矿机理

燕山运动时期,本区转入地洼阶段,构造运动强烈,在拱裂作用下,老构造层产生拱曲褶皱和断裂构造,形成了山海关地穹与北票-南票地洼盆地,在两者的接壤带,由于地热增高,热流量增大(现在表现是温泉和放射性异常),其上部静压力降低,切线应力增大,含钼的片麻状花岗岩发生局部重熔,形成了含钼的花岗质岩浆,此岩浆在分异的过程中,钼相对集中。含钼的花岗质岩浆经分异,沿着接壤带侵入,形成了花岗闪长岩和花岗岩。在花岗闪长岩、花岗岩与石灰岩的接触带和沿石灰岩的层理生成矽卡岩。由于岩浆侵入地壳上部,加热了地壳中的水(渗透水、裂隙水、孔隙水),形成的热液在含钼的细粒斑状花岗岩和含钼的黑色页岩中运动时,碱金属钾和钠在热液中的浓度不断增大,热液的化学活性增强,与含钼的细粒斑状花岗岩相互作用,钼和其他元素转入到热液中去²⁾。随着温度的降低,热液中的 H_2S 离解为 H^+ 和 $[HS]^-$,形成碱金属络阴离子 $[K(HS)MoO_4]^{4-}$,热液在沿着构造裂隙向压力和温度梯度降低的方向迁移的过程中,热液中的 H_2SiO_4 的浓度也不断增大,当温度降到350℃以下时,在具有还原条件的封闭裂隙中, $[K(HS)MoO_4]^{4-}$

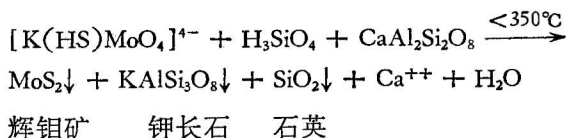
1) 巴达波罗夫, B. Ф., 1980, 热液矿脉矿质来源问题。地质科技动态, 第14期。地质部地质情报研究所编印。

2) 瓦列耶夫, P. H., 1980, 成矿溶液的来源问题。地质科技动态, 第17期。地质部地质情报研究所编印。

离解出 S^{2-} 、 Mo^{4+} ，形成 MoS_2 ；在细粒斑状花岗岩和矽卡岩的裂隙中形成了辉钼矿-石英脉型矿体和辉钼矿细脉；在含钼的黑色页岩层夹的矽卡岩中形成了富钼矿体，例如杨家杖子钼矿床中的 0 号矿体群。 K^+ 交代细粒斑状花岗岩中的斜长石，于辉钼矿-石英脉旁及热液运动的前锋产生了钾长石化和硅化。这些蚀变矿物在岩体的顶部或边缘呈面状分布和线状分布，成为本区在细粒斑状花岗岩中寻找钼矿床的直接标志。因此，根据矿体中的矿物成分，围岩蚀变和赋存矿体的裂隙性质，成矿过程的反应式可能为¹⁾：



$[SH]^-$ 、 K^+ 与 Mo^{4+} 形成碱金属络阴离子—— $[K(HS)MoO_4]^{4-}$ 。



形成在矽卡岩中的辉钼矿-石英细脉旁边也有硅化，并且 Ca^{++} 、 Mg^{++} 和多余的 H_3SiO_4 起反应形成了透辉石，叠加于辉钼矿-石英细脉旁，这是本区矽卡岩钼矿体中常见的矽卡岩矿物叠加。

钼以辉钼矿的形式从热液中沉淀出来，本区还具备下列两个地球化学条件：(1)细粒斑状花岗岩中含铁甚微，富含钾的碱性含钼热液中被铁离子夺走的硫很少，同时由于细粒斑状花岗岩中由挤压作用造成的断层和节理处于封闭系统的还原环境，不致于使 S^{2-} 氧化成 $[S_2]^{2-}$ 而形成黄铁矿，因此，有充足的 S^{2-} 与 Mo^{4+} 结合成 MoS_2 从热液中沉淀出来，形成钼矿体，这从本区钼矿床中辉钼矿与黄铁矿不共生，而互为消长关系的事实可以得到证实；(2)以地台构造层作围岩，其特点是石灰岩发育，所形成的矽卡岩含钙高，当含钼的热液在矽卡岩中的裂隙中运动时，钙离子能破坏含钼的络合物，使钼以辉钼矿的形式从热液中沉淀出来^[1]。

金属矿产的分布有着明显的地区性。从上述看来，本区找钼矿应在太古界晚期的含钼片麻状花岗岩基底上，找含钼的细粒斑状花岗岩。与钼矿床有关的细粒斑状花岗岩是呈岩株、岩钟和岩墙状的小侵入体，出露面积一般为 0.5—1.5 平方公里，含钼 10—20 ppm，钾长石化和硅化广泛发育于岩体的顶部和边缘，其深部可能有钼矿体。在有石灰岩作盖层的地区，应注意找矽卡岩中的钼矿床，在其深部应注意找斑岩中的钼矿床，往往两者共生。

此外，根据片麻状花岗岩基底中铅、锌、银、金、铜含量均比花岗岩中平均含量高和本区出现的矿产来看，还应注意找铅、锌、银、金、铜矿床。

本文初稿完成后，经康永孚、彭觥、姚培慧、梅友松、肖明阳、阎树魁、富同生、陈玉江、李明玉等同志详细审阅，并提出宝贵意见。文中插图由王世梅同志清绘。致以谢意。

1) 吴延之，1980，斑岩钼矿床的研究现状及评价方法。杨家杖子钼矿印。

参 考 文 献

- [1] 国家地震局广州地震大队主编, 1977, 中国大地构造概述。第 30, 80 页, 地震出版社。
[2] 从柏林编著, 1979, 岩浆活动与火成岩组合。第 99, 100 页, 地质出版社。
[3] 张文佑、钟嘉犹, 1979, 中国断裂体系的发展。地质科学, 第三期。
[4] 舍尔曼, C. H., 1980, 断裂发育的物理规律。第 22—26 页, 地震出版社。
[5] Clark, K. F., 1972, Stockwork molybdenum deposits in the western Cordillera of North America. *Economic Geology*. Vol 67, No. 6, p. 753.

ON THE YANSHANIAN GRANITE AND GENESIS OF THE ASSOCIATED MOLYBDENUM ORE DEPOSITS IN WESTERN LIAONING

Xiao Chuibin

(*Yangjiazhangzi Mine Administration*)

Abstract

The western Liaoning is one of the important molybdenum provinces in China. A lot of molybdenum deposits, such as Yangjiazhangzi and Shongshumao Molybdenum deposits, etc., are found in a zone about 160 km long, extending from Chang Li, Hebei Province, through Shanhaiguan to Beizhen, Liaoning Province. They are associated with the fine-grained porphyritic granites and related skarns occurred in Yanshanian Diwa-type basins.

In the light of investigation of regional geologic evolution, tectonic movement, magmatism, metallogenic features, trace elements, molybdenum content and mineral assemblages in both rocks and ores, it is inferred that the molybdenum may be derived from the upper crustal rocks. Furthermore, the origin of regional geochemical fields, the possible source of molybdenum-bearing solutions and possible mechanism of ore formation are discussed.

It is suggested that the area under consideration is underlain by a sialic crust with high molybdenum abundance prior to Yanshanian movement, and the molybdenum is considered to be derived from the upper Archaean to lower Proterozoic gneissic granites rather than from the mantle. Magma series which are concerned with formation of molybdenum ore presumably derived from fractional remelting of gneissic granites. The molybdenum-bearing hydrothermal solutions consisted mainly of fissure waters, pore waters and percolating waters heated by hot magmas. Finally, a proposal for division of metallogenic regions and direction in further prospecting is made. Searching for molybdenum deposits should be restricted only to areas where molybdenum-bearing gneissic granites are developed.