

乌奴格吐山下壳源斑岩铜钼矿床 地质地球化学特征与成矿物质来源

王之田 秦克章

(中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所)

内容提要: 乌山斑岩铜钼矿床位于呼伦湖深断裂西北侧, 哈尼沟次级断裂旁侧, 产于复合火山管道相的内外接触带中。近矿围岩(黑云母花岗岩, 187Ma) 和成矿母岩(二长花岗斑岩, 138Ma) 分别起源于上、下地壳。矿区存在 Mo 的降低场, Mo 系由围岩中活化转移而来。母岩主要提供 Cu、S、Ag、Pb、Zn, 并提供热源。乌山矿床围岩蚀变属中心式面型蚀变类型, 分带完整。从中心向外分为 Q-Kf、Q-Ser、I-H 三个蚀变带。Q-Kf 带为气成-气液作用阶段产物, Mo 成矿温度为 410—340℃。Q-Ser 带为高一中温热液阶段产物, Cu 成矿温度为 340—240℃。I-H 带为中一低温热液阶段产物。矿石结构、金属矿物组合、成矿元素、挥发组分均具明显分带性。

主题词: 斑岩铜钼矿床 下壳源 蚀变叠加与成矿 Mo 降低场 满洲里乌山

乌奴格吐山(简称乌山)矿床位于内蒙满洲里—西旗斑岩铜钼多金属成矿带东北部。该成矿带位于与大兴安岭海西褶皱系相交接的额尔古纳加里东褶皱系一侧, 即北东向额尔古纳—呼伦湖深断裂的西北侧。乌山矿床产于哈尼沟北西向次级断裂旁侧。自 1978 年发现以来, 乌山已经被有色 706 队勘查证实为一大型燕山期斑岩铜钼矿床, 伴生的银、铼也达中、大型规模。几年来, 我们在野外地质调查基础上, 作了岩石化学、人工重砂、红外光谱、电子探针、熔融包体和流体包体、微量元素、稀土元素、氢氧同位素等多方面的综合分析研究, 探讨了乌山矿床的岩石、矿物、流体、蚀变带叠加与成矿等地质地球化学特征、岩浆来源和成矿物质来源。

一、成矿地质背景与矿区地质概况

(一) 构造发育及其演化 本区属早寒武世末褶皱回返的额尔古纳早加里东褶皱带^[1], 早加里东运动后褶皱带镶嵌于西伯利亚地台边缘, 长期处于隆起状态, 至晚古生代成为蒙古—鄂霍次克古海的一部分。海西晚期额—呼深断裂以板块俯冲拼合运动为主, 到三叠纪古海封闭进入古陆阶段。燕山早期, 库拉—太平洋洋脊剧烈扩张波及本区, 深断裂强烈活动, 以冲断挤压运动为主。中生代末期至新生代以拉张运动为主, 造成东部呼伦湖区下降, 西部相对隆起。在深断裂西侧, 发育有达来东—满洲里等次级北东向断裂。区内北西向次级横向张(扭)性断裂也很发育, 北部有哈尼沟断裂带, 南部有木哈尔断裂带。

矿床中断裂按构造形迹可分北东、北西、北西西及环形四组断裂系统。其中北东向属压性断裂, 其余为张性断裂。北东与北西向断裂交汇部位为火山岩浆活动中心。F₁断层将矿体

分为南、北两段，晚期断裂破坏了火山机构的完整性（图1）。

（二）火山-岩浆作用旋回 本区火山-岩浆活动可分三期：海西晚期花岗岩、石英二长

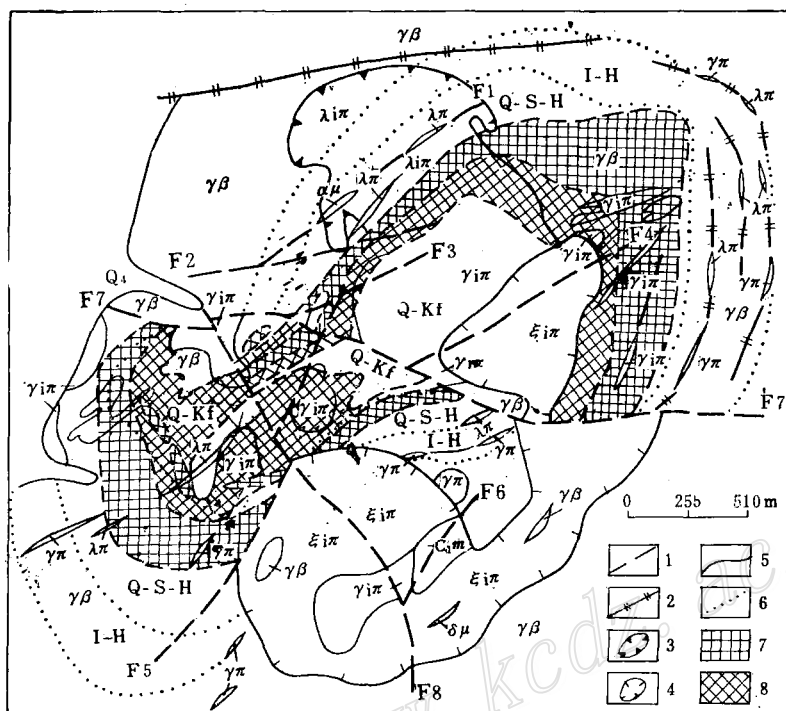


图1 乌山斑岩 CuMo 矿床地质略图

（据黑龙江有色706队资料改编）

Q₄—第四系；C_{1m}—古生代安山岩、结晶灰岩；ξiπ—一次英安质角砾熔岩；γiπ—二长花岗斑岩；λiπ—一次流纹质晶屑凝灰熔岩；γβ—黑云母花岗岩；αμ/δμ—安山玢岩，闪长玢岩；λπ—流纹斑岩；γπ—花岗斑岩；I-H—伊利石水白云母化带；Q-S-H—石英绢云母水白云母化带；Q-Kf—石英钾长石化带；1—断层；2—环状断裂系统；3—火山管道构造；4—爆发角砾岩筒；5—地质界线；6—蚀变带界线；7—铜矿化；8—钼矿化

Fig. 1. Schematic geological map of the Wushan Porphyry copper-molybdenum deposit.

Q₄—Quaternary; C_{1m}—Paleozoic andesite and crystalline limestone; ξiπ—Subdacitic breccia lava; γiπ—Monzonitic granite porphyry; λiπ—Subrhyolitic crystal fragment tufflava; γβ—Biotite granite; αμ/δμ—Andesite porphyrite and diorite porphyrite; λπ—Rhyolite Porphyry; γπ—Granite porphyry; I-H—Illite-hydromuscovite alteration zone; Q-S-H—Quartz-sericite-hydromuscovite alteration zone; Q-Kf—Quartz-potash feldspathization zone; 1—Fault; 2—Ring-like fault system; 3—Volcanic conduit structure; 4—Explosive breccia pipe; 5—Geological boundary; 6—Boundary of alteration zone; 7—Copper mineralization; 8—Molybdenum mineralization.

岩零星出露，以岩基产出；燕山早期，首先是安山岩类的大面积喷发，随后是中小、小型黑云母花岗岩侵入，由于后期次火山岩浆活动影响，在黑云母花岗岩接触带产生强烈挤压破裂，在乌山地表蚀变面积达十多平方公里，是主要含矿围岩；燕山晚期则以次火山岩为主，呈岩株产出。乌山表现为中心式火山喷发，火山岩浆活动具多期性、脉动性特点。复合火山管道相按时间演化和空间迁移可划分为四个亚相，其演化过程如下：早期火山颈相（流纹质晶屑凝灰熔岩，岩筒）→中期次火山岩相（二长花岗斑岩，岩株）→晚期角砾岩筒相（英安质、流

纹质角砾熔岩)→末期脉岩相(花岗斑岩、安山玢岩等)

(三) 火山机构与成矿 乌山矿床古火山机构,其外部和上部已被剥蚀殆尽。据残留火山机构的成因、形态和产状特征可划分为中心型火山管道构造和爆发角砾岩筒构造两种火山机构类型(图1)。

火山管道在平面上呈北西向椭圆形,面积约 1.56km^2 ,剖面上呈近于陡立的筒状。充填管道的早期岩石为极其复杂的火山颈相岩石。晚期二长花岗斑岩侵入到管道的中心部位,占据了火山管道的主体,为成矿母岩,北矿段出露面积约 0.42km^2 ,南段出露面积较小,多呈岩枝产出。各蚀变带、CuMo矿化及Cu、Mo、Pb、Zn、Ag等综合地球化学异常晕及物探自电、激电异常都以火山管道为中心呈环带状分布。

爆发角砾石岩筒形成于火山管道东南缘,平面上呈不规则的“亚铃”状,出露面积约 1.26km^2 ,在剖面上呈近直立的筒状侵入于围岩之中。角砾岩筒形成于火山管道之后,反映出火山活动中心从北西向南东方向移动的特点。

二、矿床地质地球化学特征

乌山矿床近矿围岩为黑云母花岗岩($\gamma\beta$, 187Ma),成矿母岩为二长花岗斑岩($\gamma\pi$, 138Ma)。蚀变带依蚀变矿物组合、发育程度及其与成矿关系,可划分为内、中、外三个带(图1)。内带为石英-钾长石化(Q-Kf)带:主要发育在二长花岗斑岩中,部分在黑云母花岗岩中。该带内圈为硅化强烈的无矿核心,外圈为钼矿体主要赋存部位。中带为石英-绢云母-水白云母化(Q-S-H)带:位于内带外侧,发育在黑云母花岗岩和流纹质凝灰熔岩及二长花岗斑岩的小岩枝中。该带内圈为铜矿体主要赋存部位,并有铜钼综合矿化。外带为伊利石-水白云母化(I-H)带:位于最外侧,发育在黑云母花岗岩、流纹质晶屑凝灰熔岩中。黄铁矿脉发育,有铅锌矿化。需要指出的是, I-H蚀变在各带均有不同程度的发育。

(一) 岩石与岩石化学特征

围岩黑云母花岗岩呈水平层状,灰色略带粉红色。矿物组成:石英大于30%,条纹长石、正长石占30%左右,钠更长石(An 为5—18)为15%,黑云母为5—15%。

母岩二长花岗斑岩为灰白色,呈均一块状构造。上部以细粒或霏细结构为主,少斑晶,多碎屑(晶屑);下部斑晶较明显,中细粒,基质为显微晶粒结构。斑晶以斜长石为主,其次为石英和黑云母,斑晶含量占43—50%;基质为石英、钾长石、斜长石。暗色矿物含量小于6%。镜下观察斜长石主要为更长石和部分中长石,红外光谱分析多为钠长石($An=5-10$)。我们根据自己编制的CIPW标准矿物和特征参数计算程序进行了上机处理,结果列于表1。对乌山成矿母岩,有色706地质队定名为次斜长花岗斑岩,有色桂林地质研究院定名为花岗闪长斑岩。我们据50号钻孔深部未蚀变岩薄片的观察,辅之CIPW计算,定名为二长花岗斑岩。据706地质队5个钻孔薄片鉴定,斜长石平均为46.9%,钾长石为21.8%,石英为28%;按三氏法经验公式 $A=1.44(Or)-0.14(Ab+An)$, P 值为 $1.14(An+Ab)-0.44(Or)$,调整计算出 Q 、 A 、 P 百分比,在 QAP 图上投影亦落入二长花岗岩区间。

斑岩 SiO_2 平均为70.5%, $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 为8.27%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值为0.83。乌山杂岩体组合指数 σ 为1—2.9,碱度率 AR 为2.4—3.8,属钙碱系列岩石。固结指数 SI 较低,为1.2—6.8。

表 1 乌山斑岩铜钼杂岩体岩石化学成分(%)、CIPW标准矿物成分和部分岩石化学指数
Table 1. Petrochemical composition (in percentage), CIPW standard mineral composition and some petrochemical indices of Wushan copper-molybdenum porphyry complex

顺序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
样品号	W-X-50-(1)	W-X-50-(2)	W-X-50-(3)	W-X-87	W-X-1	W-X-1-(1)	W-X-2	W-X-4	W-X-5	W-X-6	W-X-3	W-X-3-(1)
SiO ₂	71.57	70.31	70.92	69.20	78.20	71.94	74.24	75.64	64.16	69.04	73.30	72.10
Al ₂ O ₃	14.82	14.82	14.83	16.05	11.90	15.88	13.41	13.41	14.00	15.03	13.41	13.68
CaO	0.92	1.61	1.55	1.29	0.10	0.10	0.18	0.35	1.14	2.19	1.06	0.55
MgO	0.25	0.34	0.31	0.34	0.10	0.20	0.24	0.22	0.72	0.38	0.24	0.17
Fe ₂ O ₃	0.52	0.56	0.21	1.13	0.26	0.69	0.08	0.22	1.60	0.12	0.20	1.07
P ₂ O ₅	0.09	0.08	0.05	0.12	0.05	0.12	0.06	0.05	0.09	0.12	0.14	0.14
MnO	0.02	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.06	0.08	0.06	0.01
TiO ₂	0.24	0.22	0.18	0.37	0.10	0.18	0.16	0.17	0.26	0.30	0.24	0.29
K ₂ O	3.93	4.06	3.70	3.36	5.56	7.75	6.94	4.30	4.85	3.15	3.65	3.82
Na ₂ O	4.43	4.85	4.26	4.50	0.97	0.53	0.96	1.45	2.67	3.85	4.08	3.85
CO ₂	0.65	0.13	1.23	0.03	0.41	0.49	0.34	0.34	1.10	1.84	0.00	0.11
SO ₃	1.15	1.31	0.25	1.78	1.39	0.23	0.57	0.58	8.15	0.31	0.165	0.02
FeO	1.38	1.34	1.46	1.14	1.19	0.37	1.19	1.23	0.81	1.35	2.24	1.09
H ₂ O ⁺			0.64	0.83	0.90	1.97	0.78	1.81	2.52	0.89	0.53	1.83
Ap	0.20	0.18	0.11	0.26	0.11	0.18	0.13	0.11	0.20	0.27	0.31	0.31
Pr	0.81	0.20	0.38	0.69	0.93	0.19	0.87	0.88	0.54	0.48	0.25	0.31
Il	0.43	0.39	0.32	0.71	0.19	0.26	0.31	0.33	0.44	0.51	0.46	0.49
Tn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Or	23.55	24.39	22.36	20.00	32.86	46.71	41.82	25.96	29.08	19.40	21.83	23.32
Ab	38.01	41.73	36.87	38.24	8.21	4.57	8.28	12.54	22.93	33.95	34.94	33.65
An	4.09	6.79	7.56	5.73	0.85	0	0.55	1.47	5.20	10.60	4.49	1.97
C	1.83	1.61	1.13	2.94	3.98	6.75	4.20	5.97	2.52	1.63	1.14	2.59
Mt	0	0.83	3.11	0	0	0	1.09	1.52	0	1.81	2.94	1.60
Q	29.05	23.19	28.97	27.39	50.77	39.68	42.32	50.88	27.18	30.89	33.73	35.13
PL	5.1	7.5	9.3	12.4	8.9	91.8	5.8	10.0	10.2	13.5	10.8	2.8
DI	90.6	89.3	88.2	85.7	91.8	91.0	92.4	89.4	79.2	84.2	90.5	92.1
σ	2.42	2.88	2.24	2.34	1.21	2.34	1.98	1.00	2.63	1.83	1.96	1.99
AR	3.26	3.36	2.89	2.65	3.33	3.15	3.77	2.43	2.97	2.36	3.29	3.33
FL	90.08	84.69	83.70	85.90	96.59	98.80	97.77	94.26	86.83	76.16	87.94	93.30
MF	86.97	84.61	84.34	86.97	93.54	84.12	84.10	88.29	76.99	79.45	91.04	92.70
OX ^o	0.31	0.29	0.12	0.49	0.18	0.65	0.06	0.25	0.66	0.08	0.08	0.49
LI	25.35	24.13	24.37	22.92	30.00	31.05	30.60	28.10	22.46	23.07	24.87	25.91
SI	2.43	3.05	3.11	3.24	1.23	2.09	2.55	2.88	6.76	4.29	2.30	1.70

注: 1、2、3为二长花岗岩, 采自50号孔523m、525m、526m处; 4为二长花岗岩, 采自87号孔50m处; 5为石英-钾长石化二长花岗岩(Mo矿体), 采自32号孔98m处; 6为石英-绢云母-钾长石化二长花岗岩, 采自4号孔256m处; 7为石英-绢云母化黑云母花岗岩(Cu矿体), 采自43号孔101m处; 8为伊利石-水白云母化黑云母花岗岩, 采自640线Tc-187槽; 9为绢云母-水白云母化流纹质晶屑凝灰岩, 采自51号孔159m处; 10为英安质角砾凝灰岩, 采自11号孔334m处; 11为兰泡子黑云母花岗岩, 采自地表; 12为兰泡子黑云母花岗岩

拉森指数 LI 较高, 为22—31。以上数据反映乌山复式岩体基性程度低, 酸度较高。蚀变后其 SI 降低, LI 增大, 长英指数 FL 增大, 乃 CaO 带出、 Mg 比 Fe 减少得更快之故。斑岩分异指数 DI 为85—90, 比我国几个主要的斑岩铜(钼)矿床 DI 值(德兴 68.14, 多宝山 78.38, 玉龙 79.61^[2]) 都高, 说明本区分异较完全。围岩相对于母岩, DI 、 FL 、 MF 高, σ 、 SI 略低, 说明围岩酸性程度和分异程度更高。

(二) 矿物及矿物微量元素特征 斑岩交代蚀变后, 斜长石牌号降低, 出现较多的更—钠长石, 钾长石由透长石和低透长石变为条纹长石和部分微斜长石, 钾长石有序度 (S 为0.35—0.75) 增高, 且蚀变愈强, S 值愈高, 这意味着钾长石的有序度与矿化有一定关系。

人工重砂鉴定结果(表2)表明, 未蚀变斑岩副矿物组合为磁铁矿+磷灰石+锆石(+榍石)。石英及钾长石蚀变后, 磁铁矿、磷灰石大大减少, 黄铁矿、金红石大量出现。金红石呈粒状、针状出现在蚀变的黑云母显微解理裂隙中和斜长石斑晶及基质的白云母中。未蚀变围岩中副矿物组合为磁铁矿+磷灰石+锆石+榍石+钛铁矿, 含磷钼钙矿, 反映稀土总量较高。围岩经石英-绢云母化蚀变, 磁铁矿、榍石大量减少, 析出部分金红石, 产于白云母、榍石假象中。磷灰石增多, 晶体大小悬殊, 出现几种熔化温度, 有两种颜色和晶形: 一为无色透明针状, 一为黄绿色长柱状, 据主要衍射值定为氟磷灰石, 大多是中高温热液阶段新生成的。围岩经伊利石-水白云母化蚀变副矿物以锆石和绿帘石为主, 有少量硅碳石、菱铁矿, CO_3^{2-} 在该阶段起了重要作用。锆石一直比较稳定。金红石是斑岩铜(钼)矿化的重要指示矿物。

表2 乌山人工重砂副矿物含量表

Table 2. Accessory mineral contents of various types of rocks from Wushan

岩 性	主要副矿物及含量 (g/t)								次 要 副 矿 物
	磁铁矿	磷灰石	锆石	金红石	钛铁矿	榍石	绿帘石	黄铁矿	
二长花岗斑岩*	410	49	1		少量	微量		少 量	
Q-Kf化二长花岗斑岩	少量	少量	2.84	149.74	5.20		10.31	1716.98	重晶石、石榴石、闪锌矿
Q-S-Kf化二长花岗斑岩*	少量	6.34	少量	157.78	少量			1908.7	重晶石、闪锌矿
Q-S化黑云母花岗岩	11	397.37	39.73	少量		少量		1467.5	石榴石
I-H化黑云母花岗岩	少量	少量	69.17	微量			33.45	817.41	硅碳石、菱铁矿
兰泡子黑云母花岗岩	5868.15	62	62			765.3		1.5	闪锌矿、磷钼钙矿
兰泡子黑云母花岗岩*	3300.1	61.4	79.35		13.16			少 量	闪锌矿、硅碳石

注: *数据引自林玉英1981年资料

金属矿物组合主要为黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿, 其次为斑铜矿、辉铜矿、闪锌矿及少量黝铜矿、砷黝铜矿、方铅矿、磁黄铁矿、毒砂等。矿石金属组分以 Cu 、 Mo 为主, 伴生的 Ag 、 Re 、 Au 、 Pb 、 Zn 、 Pt 、 Pd 、 Ge 具有很大综合利用价值。三种主要金属矿物的化学式如下: 黄铜矿(5个样) $Cu_{0.94-1.00}Fe_{0.92-0.98}S_{2.00}$; 黄铁矿(9个样) $Fe_{1.00}S_{1.89-1.96}$; 辉钼矿(3个样) $Mo_{0.83-0.88}S_{2.00}$ 。辉钼矿中 Mo 亏缺较多系探针分析系统误差。

据电子探针分析, 主要矿石矿物含有 Cu 、 Mo 、 Ag 、 Pb 、 Zn 、 Au 、 Re 、 Co 、 Ni 、 Pt 、 Pd 、 As 、 Ti 、 Hg 、 Bi 、 Se 、 Sb 、 Sn 、 Te 等微量元素, 其存在形式为类质同象混入物或呈微小矿物包裹体。以 Q-Kf 化带黄铜矿中微量元素丰富, 各蚀变带中含 Au 均较高。黄铁矿

表 3 乌山斑岩铜钼杂岩体微量元素分析结果表 (单位:ppm)
Table 3. Analyses of various trace elements in Wushan copper-molybdenum porphyry complex (in ppm)

顺序号	室内编号	采样位置	岩性及蚀变 ^①	Ti	Zr	Nb	Cr	Mo	Cu	Ag	Au	Pb	Zn	Ni	Co	Pt	Pd	V	In	Ga	Ba
1	W-X-50-(3)	ZK50孔526m	γ/π	1500	210	2.6	4	2.2	80	0.60	<0.001	31	80	<3	4			15	<0.3	10	2000
2	W-X-50-(1)	ZK50孔523m	γ/π	1000	100	6	6	0.90	87	0.68	<0.001	25	54	<10	<3			8	<0.1	17	1200
3	W-X-87	ZK87孔	γ/π	<1000	240	<6.4	100	0.5	74	0.30	0.001	16.70	76	<4	<4	0.000	0.000	32	<0.1	28	940
4	W-X-1	ZK32孔98m	Q-Kf- γ/π Mo矿体	<1000	190	<6.4	58	50.1	310	0.35	<0.001	16.40	>100	11	3.0	0.001	0.000	40	<0.1	18	420
5	W-X-1-(2)	ZK32孔356m	Q-Kf- γ/β	800	140	8.5	7	>100	130	0.74		8	55	<10	<3			37	<0.1	11	560
6	W-X-2	ZK43孔101m	Q-S- γ/β Cu矿体	<1000	210	<6.4	54	52.7	>1000	0.28	0.001	12.20	52	6.6	8.4	0.001	0.000	94	<0.1	21	440
7	W-X-2-(2)	ZK43孔39m	Q-S- γ/π	1800	120	6	7.5	>100	>1000	0.22		<3	35	<10	5			33	0.21	11	280
8	W-X-4	640线187槽	I-H- γ/β	<1000	145	<6.4	76	0.7	44	1.1	0.0014	18.00	26	<4	<4	0.000	0.001	25	0.54	25	460
9	WS-X-1	ZK77孔324m	Q-Kf- γ/π	1800	160	4	9	>100	420	0.32		20	48	<10	5			28	<0.1	12	1000
10	WS-X-2	ZK77孔119m	Q-S- γ/β	3700	540	5.5	8	90	>1000	0.74		12	100	<10	9			20	0.16	13	900
11	WS-X-4	W22/420-2	I-H- γ/β	1350	150	6.5	8	1.80	52	0.05		15	90	<10	2.4			10	<0.1	5	740
12	W-X-5	ZK51孔159m	S-H- λ/π	1700	140	5.4	14	12	100	0.60		20	26	<10	4.2			23	0.1	10	1000
13	W-X-6	ZK11孔334m	ξ/π	1200	150	4	7	4	6	0.22		15	28	<10	4.6			15	<0.1	11	540
14	W-X-3	乌山兰泡子	γ/β	<1000	310	<6.4	90	6.4	32	0.08	<0.001	5.30	46	8.0	4.6	0.001	0.001	13	<0.1	22	680
15	W-X-3-(2)	乌山近兰泡子	γ/β	1500	160	6	9	2.80	15	0.60		10	54	<10	5.6			10	<0.1	5	700

续表

顺序号	室内编号	采样位置	岩性及蚀变 ^①	Mn	Ta	Th	Hf	Sn	W	Bs	Rb	Sr	P	B	S	CO ₂	As	Sb	Se	Te	F	Cl	Y
1	W-X-50-(3)	ZK50孔526m	γ ₁ π	660				1.7	—	0.36	470			9			14	1.2					7
2	W-X-50-(1)	ZK50孔523m	γ ₁ π	460	<10	8	6	1.2	<3	0.24	330	380		6	770		12	2.8			380	120	
3	W-X-87	ZK87孔	γ ₁ π	78	<10	9	9	3.1	2.9	0.13	82	360	440	5.2	8100	1600	30	0.73	0.03	0.24	350	95	7.8
4	W-X-1	ZK32孔98m	Q-Kf-γ ₁ π Mo矿体	<110				3.8	14.6	0.58	101	160	190	5.2	6500	900	11	0.10	0.43	0.20	780	90	22
5	W-X-1-(2)	ZK32孔356m	Q-Kf-γβ	380				4.0	<3.0	0.24	58	30		13	2300		68	1.8			690	170	
6	W-X-2	ZK43孔101m	Q-S-γβ Cu矿体	<110				4.4	5.7	0.20	73	94	280	4.6	3100	1100	46	1.15	0.40	0.03	1500	150	21
7	W-X-2-(2)	ZK43孔39m	Q-S-γ ₁ π	160				9.4	3.0	0.34	49	<30		6.5	14000		>100	2.5			2300	140	
8	W-X-4	640线187槽	I-H-γβ	<110				4.4	6.4	1.41	128	210	170	8.8	2200	2200	50	0.95	0.67	0.70	880	75	14
9	WS-X-1	ZK77孔324m	Q-Kf-γ ₁ π	240				2.7	4	0.40	340			15			17	2.5			680	73	8.4
10	WS-X-2	ZK77孔119m	Q-S-γβ	460				3.0	7	0.40	260			6.5			13	1.3			900	100	13.9
11	WS-X-4	W22/420-2	I-H-γβ	180				2	<3	<0.1	140			7			28	2.0			460	51	
12	W-X-5	ZK51孔159m	S-H-λ ₁ π	890	10	9	6	3.8	<3	0.26	62	260		7	15400		11	2.5					15.8
13	W-X-6	ZK11孔334m	ξ ₁ π	540				1.1	<3	<0.1	45	400		18	330		5	1.1					6.0
14	W-X-3	乌山兰孢子	γβ	320	<10	13	7	3.1	4.0	0.13	183	130	480	11	100	600	4.6	0.15	<0.04	<0.05	590	100	24
15	W-X-3-(2)	乌山近兰孢子	γβ	460	<10	16	7	1.6	<3	0.22	140	70		<3	130		11	1.1			580	110	

注: Rb, F, Cl, S, CO₂, Pt, Pd, Ta, Th, Hf由地质科学院岩石测试所分析, 其余元素均由有色总公司北京矿产地质所分析室分析; ①岩性及蚀变代号见图1

平均含Cu 194ppm, I-H带中含Cu (791ppm)、Au、Pt、Pd高。黄铁矿中微量元素较黄铜矿丰富。辉钼矿含Cu (419ppm)、Au、Pd、Re (35ppm) 较高。Re置换Mo, Se置换S, Re含量增加时, Se含量也相应增加^[3]。乌山矿床铼金属量在我国斑岩铜(钼)矿床中为最高。Au、Ag、Pt、Pd局部富集, Au的高值可能与自然金和银金矿的存在有关。选矿实验查明Au、Ag主要存在铜精矿中。Pt、Pd的赋存状态待查定。

(三) 各蚀变带地球化学特征及其分带模式 本矿床属中心式面型蚀变类型, 水平与垂直分带明显。矿体产出空间明显受环形接触构造和近接触带的环形断裂系统的控制, 平面上环绕斑岩体呈环带状, 剖面上呈向北西倾斜的筒状, 延深大于600m。铜钼矿化赋存在斑岩体的内外接触带中, 以外接触带为主。矿床剥蚀程度为中深, 其顶盖矿化已全部被剥蚀掉。

与三个蚀变带相对应, 矿化带分为Mo(Cu)带—Cu(Mo)带—PbZnAg带, 矿石结构带为浸染状—细脉浸染状—脉状。金属矿物组合由中心向外依次为: 磁黄铁矿—黄铁矿—辉钼矿→黄铁矿—辉钼矿—黄铜矿→黄铁矿—黄铜矿→黄铁矿—闪锌矿—方铅矿组合。各蚀变带具有特定的微量元素组合(表3): 石英—钾长石化带为Mo—Cu—Ni—W—S—Se组合; 石英—绢云母化带为Cu—Mo—Co—V—F—Cl—As—Sb—Se组合; 伊利石—水白云母化带为Ag—Zn—Pb—Cr—Rb—Sr—B—CO₂—As—Sb—Se组合(图2)。蚀变后Rb/Sr比值增高。蚀变过程中带入组分有SiO₂、K₂O和CO₂、S、OH⁻、F、Cl等。带入量与蚀变强度成正比, 以石英绢云母化带带入最多; 带出组分有CaO、MgO、Na₂O、Al₂O₃、FeO、Fe₂O₃、MnO、TiO₂。常量元素的带入带出, 影响

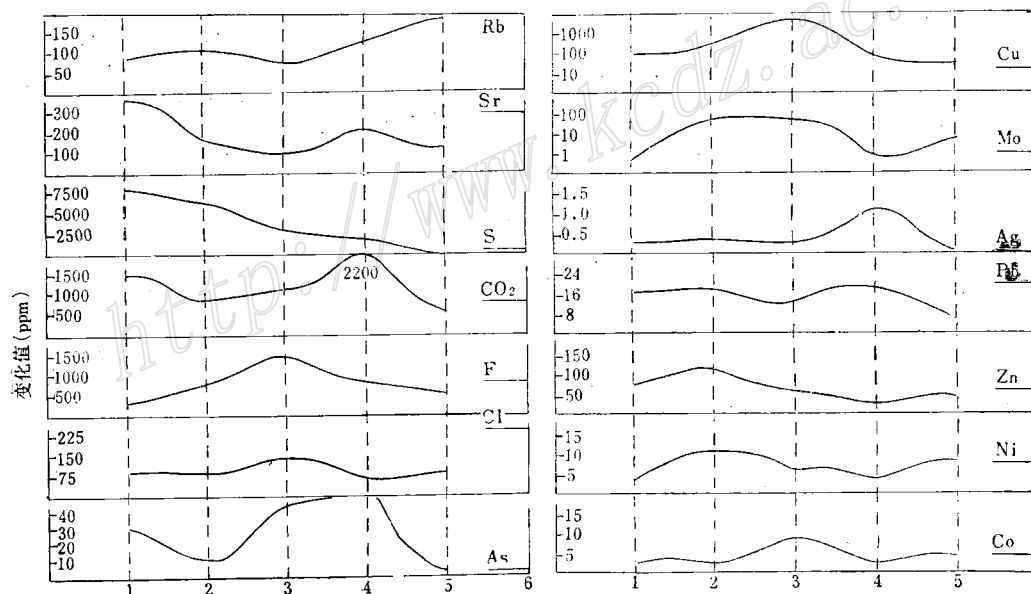


图2 各岩类成矿元素和挥发组分的丰度分布曲线

1—未蚀变二长花岗斑岩; 2—石英—钾长石化二长花岗斑岩; 3—石英—绢云母化黑云母花岗岩; 4—伊利石—水白云母化黑云母花岗岩; 5—未蚀变黑云母花岗岩; 6—酸性岩维氏值

Fig.2. Abundances of metallogenic elements and volatile components of various types of rocks.

1—Unaltered monzonitic granite porphyry; 2—Quartz—potash feldspathized granite porphyry; 3—Quartz—sericitized biotite granite; 4—Illite—hydromuscovitized biotite granite; 5—Unaltered biotite granite; 6—Vinogradov's value of acidic rock.

表4 乌山矿床各蚀变带包体及氢氧同位素特征表

Table 4. Inclusion and hydrogen-oxygen isotope characteristics of various alteration zones in the Wushan ore deposit

蚀变带	δD (‰)	$\delta^{18}O$ (‰)	t (°C)	p ($10^5 Pa$)	包体类型	盐度 (wt.%)	密度 (g/cm^3)
Q-kf- $\gamma\pi$	-120	+6.27	650—380	>1000 200—300	多相包体、气体包体	42—68	1.12, <0.5
Q-Ser- $\gamma\beta$	-113	+3.23	430—280	<200	液体包体、气体包体	3—7.9	0.6—0.9
I-H- $\gamma\beta$	-121	+1.31	310—180	50—180	液体包体	3.2—6.8	0.6—0.75

氢氧同位素由北京矿地质所分析(1986); 包体由本听叶欣, 王莉娟测定(1986)

到微量元素的带入带出。如 Ti 随 Fe 带出而活化, 在交代矿物边缘形成针状金红石; 随 Ca、Na 的带出, Sr 也活化转移进入溶液。

三个蚀变带包体温度、压力、盐度、密度依次降低(表4)。石英钾长石化带为超临界状态下的气成作用阶段和沸腾状态下的气液作用阶段, 钼矿成矿温度为410—340℃; 石英绢云母化带为中—高温热液阶段, Cu 矿成矿温度为340—240℃; 伊利石水白云母化带为中—低温热液阶段。稀土研究表明, 斑岩发生石英钾长石化, ΣREE 增高0.64倍, δEu 由1.08降至0.49, 出现明显钕亏损。围岩遭受蚀变后, ΣREE 均降低, 伊利石水白云母化带降低更多, 钕亏损程度有所增加。钕亏损对矿化有指示意义, 蚀变愈强, 钕亏损愈显著, 矿化就愈好^[4]。石英钾长石化带, $\delta^{18}O = +6.27\%$, 稍低于岩浆水数值 $+7.0—+9.5\%$, 蚀变早期流体中即有天水加入, 早期伊利石水白云母化蚀变已经产生, 部分叠加在石英钾长石化带上。随着天水增多, 热液环流混合作用增强, 在石英钾长石化带外侧早先的伊利石水白云母化带上叠加上了石英绢云母化蚀变, 而伊利石水白云母化带继续向外扩展, 向后期过渡到天水占主导地位。这种蚀变叠加作用伴有围岩中成矿产物的萃取和胚胎矿的改造作用, 对成矿意义重大。

三、围岩与母岩成因及证据

本区为地台活化深断裂复活成矿。对比 J. A. 皮尔斯等六种花岗岩标准化地球化学图谱(图略), 乌山围岩和母岩均属碰撞期后花岗岩。但围岩和母岩的地质产状、岩石化学、矿物、微量元素、稀土元素等特征有明显差别, 它们具不同成因。

围岩——黑云母花岗岩体呈水平层状。据熔融包裹体测得的成岩温度为1046℃^①。SiO₂、K₂O 高于母岩, Al₂O₃、MgO、CaO、TiO₂ 低于母岩, 且挥发组分含量要低得多。在围岩与母岩中, Ti、Nb、Pb、V、Au 均低于维氏值, 也多低于华南重熔花岗岩^[5]。围岩中 Mo、W、Zr 远高出维氏值。Ni、Co 为正常值, Mn 低于维氏值, Ba 高于华南重熔花岗岩值, (表3)。Rb/Sr=1.40—2, 远高出玄武岩值, 但低于华南重熔花岗岩值(2.44)。围岩中黑云母单矿物, TiO₂=3.78—4.14%, 高于含Cu斑岩黑云母值(小于3.5%)。其 MgO/FeO=

① 熔融包体1986年由刘继贤测定

0.43—0.46,为铁质黑云母,此为改造型花岗岩之特征。 $\Sigma\text{REE}=149\text{—}157\text{ppm}$, $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}=2.9\text{—}3.3$, $\delta\text{Eu}=0.61\text{—}0.67$,有中等程度铕亏损。REE参数反映花岗岩浆系上地壳较下部物质重熔而来。在其侵位过程中,可能吸取了上覆基底地层中的Mo、W、Pt、Pd等元素。

形成斑岩体的岩浆具高碱、富含挥发组分和成矿元素的特征。熔融包体成岩温度平均在1115—1160℃之间,较我国其它斑岩铜矿高。同德兴、玉龙、多宝山含铜斑岩相比,乌山斑岩基性程度较低,酸度较高,分异较为完全。斑岩中Cu、S、Ag、Zn、Ba明显高于维氏值,Sr、Zr、Cr均接近于岛弧玄武岩值,而Mo、W、这些浅源指示元素均低于围岩。黄铁矿中Co含量为59ppm,低于我国其它含铜斑岩黄铁矿中Co含量(250—1000ppm),反映其来源较浅,不是幔源型。斑岩Rb/Sr值为0.22,高于我国同类矿床母岩值(0.04—0.15)。 ΣREE 为80.15ppm, $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 值为4.8, δEu 为1.08,无铕异常,接近下地壳REE参数。反映斑岩系下地壳物质部分熔融经多次分异演化并遭受上地壳物质混染的最终产物。

在三叠纪末期和侏罗纪早期,受太平洋构造活动的影响,深断裂强烈活动,发生板内褶皱运动,黑云母花岗岩就是在侏罗纪早中期由上地壳较下部物质重熔上升侵位而成。从中侏罗世到早白垩世,太平洋—库拉板块扩张速度加快,本区断裂活动达到最高潮,深断裂在深度上有所扩展,二长花岗斑岩就是在该阶段由下地壳物质部分熔融而来。

四、成矿物质来源与钼成矿元素降低场

关于斑岩铜(钼)矿床的矿质来源问题,目前的认识仍存在较大分歧,我国有下列四种观点:①来自富金属的岩浆^[6];②来自围岩,即成矿元素降低场观点^[7,8];③来自表层岩层,主要来自原砂页岩层层状铜矿或富铜砂页岩^[9];④矿质多来源^[10,2]。我们对乌山矿床的研究表明,矿质是多来源的,Cu来自斑岩,Mo主要来自围岩。

区域和矿区古生代地层Cu丰度均很低,Mo丰度小于或等于维氏值,Pb、Zn高出维氏值1—5倍,Ag丰度平均为维氏值的7倍。斑岩含Cu 74—87ppm,Mo 0.5—0.9ppm;围岩含Cu 15—32ppm,Mo 6—7ppm。围岩中的黑云母含Cu 20(小于30)ppm,Mo 10—15(远大于1)ppm,Pb 40ppm,Zn 200—400ppm,Ag 0.1—0.2ppm,远低于斑岩黑云母的Cu含量(120—300ppm),而Mo高出维氏值十多倍。因而黑云母花岗岩不是Cu而是Mo的携带者。围岩距斑岩体不同距离,Cu、Pb、Zn丰度变化不大,Mo变化最大。沿640线剖面(图3)从未蚀变围岩黑云母花岗岩($\gamma\beta$)→弱伊利石水白云母化黑云母花岗岩(弱I-H- $\gamma\beta$)→伊利石水白云母化黑云母花岗岩(I-H- $\gamma\beta$)→石英绢云母化黑云母花岗岩(Q-S- $\gamma\beta$)→石英钾长石化黑云母花岗岩(Q-Kf- $\gamma\beta$),由远→近,由非矿体→矿体,Mo的丰度(ppm)依次为7、6.4、6、4.8→2.8、1.5→0.8、0.7、2.2→11、50到大于1000。由中心向外,Mo丰度在矿体最高,由矿体向外先急剧后缓慢降低,最后在距矿体约1.7—2km处又明显回升,且向外趋于稳定值。围岩中Mo的减少,说明其中有Mo的转移,Mo是由围岩提供的。Mo降低场呈环状围绕增高场分布,降低场半径(即从矿体中心到正常场边缘)约2.5km,异常场面积约18km²。矿床平均剥蚀厚度约800m,按向下垂直延深800m计算,Mo的活化转移量较现已探明的钼储量多出2/5。

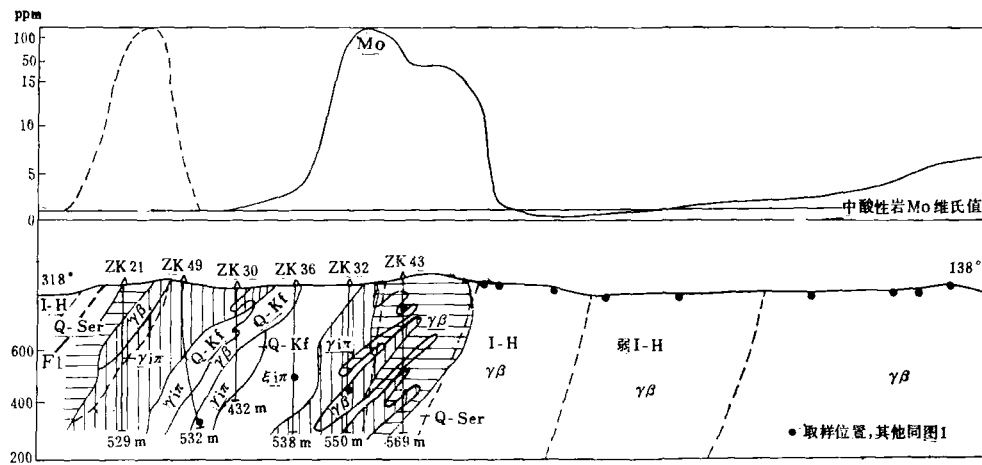


图3 乌山640线剖面 Mo降低场图

Q-Ser—石英绢云母化带; 其他同图1

Fig. 3. Sketch geological section along No. 640 line of Wushan.

Q-Ser—Quartz sericitized zone; Other symbols as for Fig. 1.

Mo的活化转移是怎样实现的呢? 如前所述, 在石英钾长石化(Q-Kf)阶段其外侧即有伊利石水白云母(I-H)化蚀变(天水占较大比重)产生。伊利石水白云母化蚀变使REE遭受强烈淋滤, 并且导致Mo、Cu、Ag、Pb、Zn、Au活化。由于岩浆和围岩之间的温度、压力梯度, 发生热液环流、上升、混合作用, 热液对流圈中的高盐度溶液从正在冷却的岩体顶部和围岩中提取大量金属。随着天水增加, 这种作用在石英绢云母化蚀变(Q-S)阶段得到进一步发展。Mo的主要载体矿物为斜长石, 伊利石-水白云母化蚀变使黑云母花岗岩中的斜长石被交代, Mo被析出转移到热流体中去。正是由 CO_3^{2-} 的络合作用来完成这种迁移的^[11]。石英-绢云母化蚀变叠加, 随着早先伊利石-水白云母化蚀变淋滤REE的沉淀, 使成矿元素再活化、再迁移、再沉淀, 胚胎矿受到改造进一步富集, 石英绢云母化带成为主要的赋矿部位。除Mo外, W、Rb、Pt、Pd、B、Zr、Mn、Ni、Co也主要来自围岩。而母岩主要提供Cu、Ag、Pb、Zn、Au、Ba、Sr、V及矿化剂元素, 它还提供热源。Ag有可能部分来自地层。

五、几点结论

1. 北东向额尔古纳—呼伦深断裂在燕山期强烈活动, 火山-岩浆活动具多旋回性。乌山矿床产于两组断裂交汇处的小岩株中, 受火山机构控制。

2. 据薄片鉴定和CIPW标准矿物计算, 将母岩定名为二长花岗斑岩。与我国几个主要铜(钼)斑岩相比, 乌山斑岩酸度和分异程度较高, 成矿温度很高。岩浆来源不是幔源。母岩系下地壳物质部分熔融而来, 围岩黑云母花岗岩来自上地壳较下部物质的重熔。

3. 斑岩交代蚀变后, 斜长石牌号降低, 钾长石有序度增高, 磁铁矿、磷灰石减少, 金红石大量出现, 是斑岩铜钼矿化的重要指示矿物。黄铜矿、黄铁矿中Ag、Au、Pt、Pd含量较高, 辉钼矿中Re含量高。除Cu、Mo外, 伴生的Ag、Re、Au、Pb、Zn、Pt、Pd具

很大综合利用价值。

4. 乌山矿床属中心式面型蚀变类型, 从中心向外分为 Q-Kf、Q-S、I-H 三个蚀变带, 铜钼矿体赋存在斑岩体的 (内) 外接触带中。矿石结构、金属矿物组合、成矿元素、挥发组分均具明显的分带性。氢氧同位素、稀土、包体研究表明, 蚀变早期即有天水加入, 到后期过渡到天水占主导地位。蚀变有叠加现象, REE 的淋滤、沉淀伴有围岩成矿物质的萃取和胚胎矿的改造, 对成矿意义重大。铜亏损与矿化密切相关, 铜亏损愈显著, 矿化就愈好。

5. 乌山成矿物质具多来源特征, 不全由母岩提供。矿区存在 Mo 成矿元素降低场, Mo 系热液对流、蚀变叠加过程中由围岩活化转移而来。母岩主要提供 Cu、Ag、Pb、Zn 等成矿物质并提供热源。

本项工作得到黑龙江有色706队、有色地质研究所和本所有关同志的大力支持和协助, 谨此致谢!

参 考 文 献

- [1] 黄汲清 1984 中国大地构造特征的新研究 中国地质科学院院报 第9号
- [2] 芮宗瑞、黄崇珂等 1984 中国斑岩铜(钼)矿床 地质出版社
- [3] 涂光炽等 1984 近代化学丛书——地球化学 上海科学出版社
- [4] 王之田、秦克章 1988 中国铜矿类型、成矿环境及其时、空分布特点 地质学报 第3期
- [5] 中国科学院地球化学研究所 1979 华南花岗岩类的地球化学 科学出版社
- [6] 冶金部地质研究所 1984 中国斑岩铜矿 科学出版社
- [7] 杜琦 1984 以我国一些斑岩铜矿为例试论斑岩矿床成矿与地层(围岩)的关系 矿床地质 第3期
- [8] 季克俭、吴学汉、张国柄 1985 热液矿床成矿元素降低场及其意义 国际交流地质学术论文集——为27届国际地质大学撰写(4) 地质出版社
- [9] 陈文明 1980 斑岩铜矿与杂色砂页岩铜矿内在联系的初步探讨 地质论评 第6期
- [10] Wang Zhitian, 1982, Complex model of copper metallogeny in middle-lower Yangtze Valley and its significance for ore exploration. *Scientia Sinica (Series B)*, Vol. XXV, No. 7, pp. 765—776.
- [11] Taylor R. P. and Fryer, B. J. 1983, Rare Earth Element Lithogeochemistry of Granitoid Mineral Deposits. *CIM Bulletin*, 3, pp. 1—9.

GEOLOGICAL-GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND METALLOGENIC MATERIAL SOURCES OF THE WUNUGETUSHAN LOWER CRUST PORPHYRY COPPER-MOLYBDENUM DEPOSIT

Wang Zhitian and Qin Kezhang

(Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, CNNC, Beijing)

Abstract

Located in Manzhouli-Xinbaerhuyouqi area of Inner Mongolia, Munugetushan (called Wushan for short) is the locality of a large-sized porphyry copper

-molybdenum deposit. The NE-trending Eerguna-Hulun deep fracture revived intensely during Yanshanian period with volcanic-magmatic activities characterized by multicyclicality. The Wushan ore deposit occurs within a small stock at the intersection of two groups of fractures, and is controlled by volcanic apparatus.

Compared with the major copper (molybdenum) porphyries in China, the Wushan porphyry has higher acidity, differentiation index and rock-forming temperature. Both parent rocks and wall rocks of the Wushan ore deposit are post-collision granites. The magma was not derived from the mantle; the metallogenic parent rock (monzonitic granite porphyry, 138Ma) was formed by partial melting of lower crust material, and the wall rock (biotite granite, 187 Ma) was produced as a result of the remelting of the lower part of the upper crust.

The replacement and alteration of the porphyry have resulted in the decrease in content of anorthite, the increase in degree of order of potash feldspar, the reduction of magnetite and apatite and the appearance of large quantities of rutile which serves as an important indicator mineral for copper-molybdenum mineralizations. Silver, gold, platinum and palladium are rather high in pyrite and chalcopyrite, and molybdenite is rich in Re.

The Wushan ore deposit is of central planar alteration type, and three alteration zones of Q-Kf, Q-Ser and I-H can be recognized from the center outwards, with the copper-molybdenum orebodies contained in (endo-) exo-contact zone of the porphyry body. Obvious zoning can be seen in such aspects as ore texture, assemblage of metallic minerals, metallogenic elements and volatiles. The study of hydrogen-oxygen isotopes, REE geochemistry and fluid inclusions indicates that meteoric water began to enter at the early stage of alteration, and later gradually intensified its influence until it played the dominant role.

There exists superposition of alterations. The leaching and precipitation of REE are accompanied by extraction of metallogenic substances from the wall rocks and the transformation of protore, and this is of great significance to metallogenesis. The Eu-deficiency has much to do with the mineralization; the more obvious the Eu-deficiency, the better the mineralization.

The metallogenic substances of the Wushan ore deposit are characterized by multisources, and the parent rock is not the only material-supplier. There exists a Mo-depletion field in the ore district, and molybdenum comes from the wall rocks through activation and transference. The parent rocks mainly supply such metallogenic substances as copper, sulfur, silver, lead and zinc and serve as the thermal source.