内蒙古流沙山含钼–金侵入杂岩体的碱质交代作用研究*

Study on Alkali Metasomatism of Mo-Au-Bearing Intrusive Complex in Liushashan , Inner Mongolia

刘 妍 聂凤军 江思宏

(中国地质科学院矿产资源研究所，北京 100037)

Liu Yan, Nie Fengjun, Jiang Sihong

(Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

摘 要 流沙山矿床是近年来在内蒙古西部发现的一处钼-金矿床。钼-金矿化主要产在海西晚期花岗闪长岩和石英闪长岩体内。笔者对这套含钼-金侵入杂岩体做了大量岩（矿）相学的研究工作，发现无论是容矿围岩还是矿体都有强烈的碱质交代现象，并且从矿体中心向外碱质交代现象逐渐减弱，表明与矿化作用有着密切的成因联系。这种碱质交代作用与斑岩铜矿的钾化作用有着明显的区别，除了形成次生钾长石和黑云母外，还形成大量富钠、铁质的铁浅闪石和斜长石，为富钾、钠质的矿物组合。反映了深成岩型斑岩钼-金矿床独特的蚀变现象。从而将了前人所划分的钾化蚀变带更正为钾、钠碱质蚀变带。

关键词 碱质交代作用 侵入杂岩体 钼-金矿化 流沙山 内蒙古

流沙山钼-金矿床位于甘肃酒泉市正北 280 km处，属内蒙古额济纳旗管辖。该矿床是原甘肃地质矿产局第四地质队于 20 世纪 70 年代末进行 1：20 万区域地质调查时发现露头，后经钻探和坑探查明的中型钼矿床。前人❶（1983）在本区开展 1：5 万区域地质调查时对流沙山钼矿地质特征进行过系统总结，尤其是对硅化和钾化现象进行了较为详细的野外研究和蚀变带的划分，认为该矿床属斑岩型钼矿床。聂凤军等（2001）在执行国家地质调查项目（编号K1.3.32）期间，对流沙山矿床开展了较系统的地质、地球化学和岩（矿）相学研究，将其确认为深成岩型斑岩钼-金矿床。

1 矿区地质概况

矿区内出露的地层主要有第四系沉积物和石炭系下统白山组中-酸性火山岩，仅见于矿区的东北角和西北角。海西期花岗岩类侵入岩分布广泛，约占全区面积的 80%，主要岩石类型有石英闪长岩、花岗闪长岩和黑云母二长花岗岩，其中石英闪长岩和花岗闪长岩为钼－金矿化直接赋矿围岩。此外，还分布有一些晚期侵入的钾长花岗岩脉、钾长石脉、钾长石-石英脉等脉体。控矿构造除受黄泥滩-流沙山背斜倾没端影响外，主要受环形断裂带控制。环形断裂带呈北西向展布，外径长 850 m，宽 450 m，内径长 400 m，宽 270 m，内外径长度比分别为 2:1 和 1.5:1，该断裂带主要由一系列相互平行或大致平行的断层、裂隙和破碎带所组成，其长度变化范围为 15～60 m，宽 0.2～1.7 m。含钼-金石英脉和矿体多沿环状断裂分布构成环状矿体。

* 国家自然科学基金项目（40073015）和国家地质调查项目（K1.3.32）联合资助

第一作者简介 刘妍，女，1957 年生，工程师，主要从事岩矿鉴定工作。

❶ 甘肃省地矿局. 1983. 区域地质矿产调查报告（1：50000）黑鹰山幅（K-47-65-B）（矿产部分）.

2 含钼-金侵入杂岩体的岩相学特征

流沙山花岗岩类侵入岩体呈岩基状侵位于石炭系下统白山组中酸性火山岩地层中，杂岩体四周向外倾斜，与围岩的接触面产状较缓，向下延伸百余米便渐趋平坦，出露面积为 110 km^2。虽然经历了强烈的碱质交代作用和矿化作用，但岩石种类和岩相分带仍可辨认。现将各岩石岩相学特征和碱质交代的情况简述如下：

（1）石英闪长岩：位于矿区中部略偏东，呈残留顶盖于花岗闪长岩体内，边部不规则。新鲜的岩石为灰—灰白色，全晶质中细粒结构，块状构造。主要造岩矿物有斜长石（50%～70%）、石英（5%～10%）、角闪石（20%），少量正长石。斜长石呈半自形－自形板状，具明显的环带构造。副矿物有榍石、磷灰石、锆石、磁铁矿等。在矿区范围内常被碱质强烈交代，岩石呈灰绿－暗绿色，次生矿物主要有微粒状的斜长石、小鳞片状黑云母和小柱状铁浅闪石，少量钾长石和石英以及绿帘石、绿泥石等。若次生矿物在 50%左右，原岩中细粒岩浆结构特征仍可辨认（见照片 1）。新生矿物≧80%，原岩结构特征已完全消失，具微粒状变晶结构。一般次生斜长石与次生暗色矿物之比为 3:1～2:1。

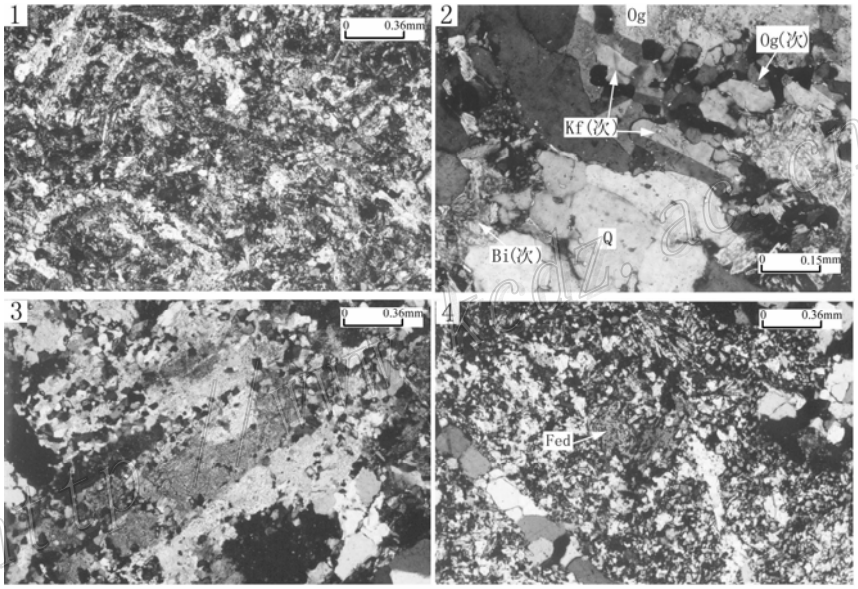

图 1 内蒙古流沙山含钼－金侵入杂岩体的碱质交代现象照片

1—Lss-2-09 6.3×6.3(+)强碱质交代石英闪长岩；2—Lss-5-01 16×6.3(+)弱碱质交代花岗闪长岩；

3—Lss-3-07 6.3×6.3(+) 中等碱质交代花岗闪长岩；4—Lss-5-06 6.3×6.3(+)强碱质交代花岗闪长岩。

Q—石英；Kf—钾长石；Og—更长石；Bi—黑云母；Fed—铁浅闪石；（次）—次生矿物

（2）花岗闪长岩：广泛分布于矿区的南部和中部地区，呈岩株状产出，为钼-金矿化主要赋矿围岩。新鲜岩石呈浅灰－灰色，半自形中－细粒结构，块状构造。主要造岩矿物有斜长石（42%～60%）、石英（18%～25%）、钾长石（12%～25%）、黑云母（7%～8%）和角闪石（7%～8%）。副矿物有榍石、磷灰石、锆石、磁铁矿等。在含钼-金钾长石脉和钾长石-石英脉发育地段发生强烈的碱质交代作用，岩石呈灰绿色。次生矿物（见照片 2）主要有微粒状的斜长石和石英、小板状钾长石、小鳞片状黑云母、小柱状铁浅闪石（见照片 4），以及绿帘石、绿泥石等。若次生矿物含量在 10%～30%的弱碱质交代岩石，原岩的特征仍保留完好；次生矿物含量在 30%～50%的中等碱质交代岩石，原生斜长石被次生的小板状钾长石、黑云母等交代呈穿孔状（见照片 3），原生钾长石部分被次生钾长石和斜长石所交代，原生黑云母已完全被次生小鳞片状黑云母、榍石、铁浅闪石等交代，原生角闪石也大部分被次生铁浅闪石和黑云母交代；若次

生矿物含量在 50%～80%，原岩结构特征已完全消失，具微粒状变晶结构（见照片 4）。一般次生钾长石的含量是次生斜长石含量的 2 倍，次生暗色矿物黑云母和铁浅闪石约占次生矿物的 15%～35%，并且次生黑云母与铁浅闪石常呈负消长关系。

（3）黑云母二长花岗岩：出露在矿区西部，为岩基的一部分，矿区范围内仅见其边缘相。岩体多呈岩枝状、脉状和岩株状分别侵位于石炭系下统白山组中—酸性火山岩地层和花岗闪长岩岩体内，出露面积约 4 km^2。新鲜岩石呈浅肉红色－灰白色，中粗粒似斑状结构，块状构造。主要造岩矿物有斜长石（22%～35%）、石英（25%～30%）、钾长石（30%～35%）、黑云母（5%）。副矿物有榍石、磷灰石、锆石、磁铁矿等。岩石一般较为新鲜，没有碱质交代现象。

（4）钾长花岗岩脉：岩石呈浅肉红－肉红色，细－微粒似斑状结构，块状构造。主要造岩矿物有斜长石（5%～15%）、石英（25%～50%）、钾长石（30%～55%）、黑云母（0%～3%）。矿物成分分布极不均匀，若主要成分为石英、钾长石，且钾长石含量>>石英，则为钾长石脉；石英含量>>钾长石，则为钾长石-石英脉，为主要的含矿岩脉。

除上述几种岩石类型外，矿区范围内还分布有花岗闪长岩脉、细晶岩脉和辉绿岩脉等，其规模较小，并且明显穿切含金（钼）钾长石-石英等脉体,与成矿关系不大，故不赘述。

3　碱质交代侵入杂岩体的矿物学特征

碱质交代作用主要表现为粒度在 0.03～0.1 mm 的次生板状、粒状斜长石和钾长石（见照片 2），鳞片状黑云母和柱状铁浅闪石交代原岩中的斜长石、钾长石、黑云母和角闪石的现象。其次生矿物成分中钾、钠碱质的含量明显高于原生矿物，因此，可以推断这种流体富含钾、钠碱质。其次生矿物既具有半自形粒状结构的特征又有粒状变晶结构的特征，为高温岩浆热液交代的产物。

碱质交代作用主要发生在石英闪长岩和花岗闪长岩体内，由于母岩体成分的差异所形成的次生矿物成分也略有不同，但总的趋势相同，次生矿物比原生矿物更富含 Na、K 等碱质。其电子探针分析结果及矿物分子式计算见表 1。

表 1　流沙山金（钼）矿化侵入岩体矿物成分的电子探针分析结果（%）

序号	样号	岩石名称	矿物名称	Na_2O	K_2O	CaO	MgO	Al_2O_3	SiO_2	TiO_2	Cr_2O_3	MnO	FeO	Total
1	Lss-5-01	花岗闪长岩	阳起石质角闪石（原）	0.66	0.32	12.21	13.60	3.65	49.74	0.41	0.00	0.58	17.26	98.42
2	Lss-204	花岗闪长岩	铁浅闪石（次）	1.23	1.08	11.80	7.52	7.48	43.81	0.29	0.00	1.06	23.15	97.42
3	Lss-2-06	石英闪长岩	铁浅闪石（次）	1.72	1.27	11.40	7.64	9.06	41.83	0.48	0.01	0.98	23.57	97.96
4	Lss-3-04	花岗闪长岩	黑云母（原）	0.05	7.19	0.07	10.28	15.36	34.28	2.00	0.00	0.50	26.45	96.18
5	Lss-2-04	花岗闪长岩	黑云母（次）	0.09	9.21	0.00	11.73	13.08	37.29	1.66	0.00	0.60	22.45	96.10
6	Lss-2-06	石英闪长岩	黑云母（次）	0.02	10.35	0.09	10.75	13.88	35.18	2.20	0.01	0.48	23.42	96.38
7	Lss-5-01	花岗闪长岩	斜长石（原）	8.63	0.21	5.70	0.00	23.65	61.91	0.00	0.00	0.01	0.03	100.13
8	Lss-3-04	花岗闪长岩	斜长石（次）	9.77	0.20	3.63	0.00	21.63	64.29	0.00	0.01	0.00	0.08	99.60
9	Lss-2-06	石英闪长岩	斜长石（原）	7.70	0.21	6.59	0.10	25.92	59.11	0.00	0.01	0.00	0.20	99.85
10	Lss-2-06	石英闪长岩	斜长石（次）	8.49	0.38	5.46	0.00	23.10	61.53	0.01	0.00	0.00	0.09	99.06
11	Lss-5-01	花岗闪长岩	钾长石（原）	0.72	16.46	0.00	0.00	18.58	63.85	0.02	0.00	0.00	0.04	99.64
12	Lss-3-04	花岗闪长岩	钾长石（次）	0.88	16.39	0.00	0.00	17.65	64.78	0.02	0.01	0.00	0.05	99.77

测试者：中国地质科学院矿产资源研究所余静。注：（原）相对较新鲜的原生矿物，（次）碱质交代形成的次生矿物。

矿物化学分子式：

1—$(Na_{0.188}K_{0.0603}Ca_{1.9301})_{2.1784}(Mg_{2.9914}Mn_{0.0727}Fe_{1.8645}Al_{0.0192})_{4.9578}[Si_{6.0000}(Si_{1.3844}Ti_{0.0452}Al_{0.6156})_{2.0000}O_{22}](OH)_2$;2—$Na_{0.3716}K_{0.2158}Ca_{1.9744})_{2.5618}(Mg_{1.7482}Mn_{0.1398}Fe_{3.0235}Al_{0.2570})_{5.1685}[Si_{6.0000}(Si_{0.8438}Ti_{0.0338}Al_{1.1224})_{2.0000}O_{22}](OH)_2$;3—$(Na_{0.5240}K_{0.22545}Ca_{1.8556})_{2.6341}(Mg_{1.7859}Mn_{0.1300}Fe_{3.0921}Al_{0.3833})_{5.3913}[Si_{6.0000}(Si_{0.5602}Ti_{0.0565}Al_{1.2923})_{2.0000}O_{22}](OH)_2$;4—$(K_{0.7250}Na_{0.0073}Ca_{0.0055}Mg_{0.0881})_{0.8259}\{(Mg_{1.1228}Fe_{1.6811}Mn_{0.0333}Al_{0.1628})_{3.0000}[Al_{1.2133}Ti_{0.1187}Si_{2.7080}]_{4.0000}O_{10}(OH)_2\}$;5—$(K_{0.9038}Na_{0.0129})_{0.9167}\{(Mg_{1.3473}Fe_{1.4450}Mn_{0.0386}Al_{0.1520})_{2.9829}[Al_{1.0344}Ti_{0.0964}Si_{2.8692}]_{4.0000}O_{10}(OH)_2\}$;6—$(K_{1.0316}Na_{0.0014})_{1.0330}\{(Mg_{1.2529}Fe_{1.5315}Mn_{0.0117}Al_{0.1594})_{2.9631}[Al_{1.1202}Ti_{0.1292}Si_{2.7506}]_{4.0000}O_{10}(OH)_2\}$;7—$(Na_{0.7425}K_{0.0064}Ca_{0.2710})_{1.0199}[Al_{1.2322}Si_{2.7478}O_8]Ab_{78}An_{22}$;8—$(Na_{0.8403}K_{0.0112}Ca_{0.1725})_{1.0340}[Al_{1.1314}Si_{2.8523}O_8]Ab_{84}An_{16}$;9—$(Na_{0.6682}K_{0.0118}Ca_{0.3161})_{0.9961}[Al_{1.3681}Si_{2.6460}O_8]Ab_{68}An_{32}$;10—$(Na_{0.7235}K_{0.0216}Ca_{0.2630})_{1.0081}[Al_{1.2235}Si_{2.7646}O_8]Ab_{73}An_{27}$;11—$(K_{0.9756}Na_{0.0648})_{1.0414}[Al_{1.0322}Si_{2.9568}O_8]$;12—$(K_{0.9722}Na_{0.0793})_{1.0515}[Al_{0.9672}Si_{3.0116}O_8]$。

（1）角闪石类矿物：在花岗闪长岩内较为新鲜的原生角闪石Na_2O和K_2O含量分别为 0.66%和 0.32%，

在矿物分子式中（$Na^{+}+K^{+}$）＝0.2485<0.5；Mg/(Mg+Fe^{2+})=0.616>0.5，Mg^{2+}的含量明显高于Fe^{2+}，可定名为阳起石质角闪石。而次生角闪石Na_2O和K_2O含量分别为 1.23％和 1.08％，在矿物分子式中（$Na^{+}+K^{+}$）＝0.5874>0.5，高于原生角闪石 2 倍多，Mg/(Mg+Fe^{2+})=0.366<0.5，Fe^{2+}含量高于Mg^{2+}近 2 倍，可定名为铁浅闪石。在石英闪长岩内次生角闪石Na_2O和K_2O的含量更高分别为 1.72％和 1.27％，在矿物分子式中（$Na^{+}+K^{+}$）＝0.7494>0.5；Mg/(Mg+Fe^{2+})=0.366<0.5，也定名为铁浅闪石。因此，次生的角闪石比原生角闪石明显富Na^{+}、K^{+}和Fe^{2+}。由原生→次生Na_2O的含量变化为 0.66％→1.23％→1.72％；K_2O含量变化为 0.32％→1.08％→1.27％；在矿物分子式中（$Na^{+}+K^{+}$）含量的变化为 0.2485→0.5874→0.7494，向富碱质的方向演化。

（2）黑云母：在花岗闪长岩内较为新鲜的原生黑云母K_2O的含量为 7.19％，在矿物分子式中K^{+}＝0.7250；而次生小鳞片状黑云母K_2O的含量为 9.21％，在矿物分子式中K^{+}＝0.9038；在石英闪长岩内次生小鳞片状黑云母K_2O的含量为 10.35％，在矿物分子式中K^{+}＝1.0316；可见黑云母从原生→次生K_2O的含量变化为 7.19％→9.21％→10.35％，在矿物分子式中K^{+}含量的变化为 0.7323→0.9167→1.0330，也向富碱质的方向演化。

（3）斜长石：在花岗闪长岩内相对较为新鲜的原生斜长石为$Ab_{73}An_{27}$；而次生小粒状、小板状斜长石为$Ab_{84}An_{16}$，虽然都为更长石，但次生斜长石相对贫Ca而富Na。在石英闪长岩内较为新鲜的原生斜长石为$Ab_{62}An_{38}$；而次生小粒状、小板状斜长石为$Ab_{73}An_{27}$。明显由中长石变为更长石。

（4）钾长石：在花岗闪长岩内较为新鲜的原生钾长石与新生的小板状钾长石矿物成分没有太大差异。

4 结论

（1）矿物学的研究表明，流沙山钼-金矿床含钼-金杂岩体碱质交代作用的特点是钾、钠质交代作用同时发生，形成一系列富含钾、钠质的浅色矿物和暗色矿物，尤其是形成大量次生富碱质和铁质的铁浅闪石，明显不同于斑岩铜矿钾化的矿物组合特征。

（2）碱质交代作用所形成的次生矿物粒度大小（0.03～0.1 mm）和钾长石自形－半自形板状的晶形特征都表明其形成温、压条件比斑岩铜矿的钾化作用（次生矿物粒度一般<0.05 mm，钾长石呈糖粒状）所形成的温、压条件要高得多。

（3）钼-金矿体在空间分布上与碱质蚀变带相吻合，表明钼-金矿化与碱质交代作用有成因联系。

（4）上述岩相学的研究表明，矿区范围内花岗岩类岩石中石英闪长岩和花岗闪长岩均受到强烈的碱质交代作用，并且石英闪长岩在花岗闪长岩体内呈残留顶盖产出，而黑云母二长花岗岩没有碱质交代现象。因此，可以推断这种富含钾、钠碱质的高温岩浆热液可能来源于花岗闪长岩。

http://www.kcdz.ac.cn/

参 考 文 献

聂凤军，江思宏，赵省民，等. 2002. 内蒙古流沙山金（钼）矿床地质特征及矿床类型的划分[J]. 地质地球化学．30（1）：1～8.

聂凤军，江思宏，赵省民，等. 2000. 北山地区金矿床类型和生成演化[J]. 长春科技大学学报．30（增刊：21～26.