

某地花崗岩中鈉长石化、云英岩化作用 及稀有元素成矿特征

刘 鼎 昌

鈉长石化、云英岩化作用是花崗岩中比較常見的岩漿期后蝕變現象。在上述作用中，常伴隨着稀有元素的富集，形成具有工業意義的礦床。本文所討論的礦區即屬此例。

該區位於活化地台邊緣一個岩基狀花崗岩體的邊部。區內有粗粒、中粒及細粒黑雲母花崗岩出露，其中以中粒黑雲母花崗岩分布最廣，約占礦區面積的五分之四。石英斑岩分布於礦區東南部，復於花崗岩之上，其接觸面呈凹凸狀朝岩體傾斜，傾角介於 20° — 40° 之間。

在靠邊接觸帶的中粒黑雲母花崗岩中，鈉长石化作用比較普遍發育。在鈉长石化花崗岩中，又有較晚的雲英岩化作用重迭其上，形成雲英岩化花崗岩及雲英岩，鉍礦體即賦存於雲英岩中。

鈉长石化中粒花崗岩與未經交代的中粒黑雲母花崗岩沒有明顯界限，為逐漸過渡關係。而雲英岩化花崗岩則多分布於雲英岩體外側數米範圍以內，與鈉长石化花崗岩以漸變或突變關係相接觸。據野外觀察，鈉长石化作用範圍較廣，與裂隙構造沒有成因聯繫，具自交代性質。而雲英岩化作用則有兩種情況：一種情況是，雲英岩化花崗岩形成於鈉长石化花崗岩之中，與前者沒有明顯界

限，其中常沒有鉍的大量富集；第二種情況是，雲英岩化花崗岩形成於雲英岩體外側，與鈉长石化花崗岩界限清晰可見。後者顯然與裂隙構造相關，並極為普遍。雲英岩體兩側有時直接與鈉长石化花崗岩相接。

中粒黑雲母花崗岩由鉀长石（絕大部分是正长石，極少量是微斜长石及條紋长石）30—40%、斜长石（經弗氏台測定屬更長石， An_{15} — An_{18} ）20—30%、石英25—35%及少量黑雲母組成。據7個標本統計，主要造岩礦物的平均含量為：鉀长石38%、斜长石28%、石英31%、黑雲母3%。

鈉长石化花崗岩與上述比較，鉀长石、更長石、黑雲母的含量有所減少，出現了鈉长石及白雲母。石英含量有所增高。細小的鈉长石（ 0.1mm ）沿鉀长石和更長石的解理或邊緣生成（照片1、2、3）。

鈉长石化花崗岩的特點是：鈉长石化作用不甚強烈，岩石仍保存花崗岩結構。據16塊標本及薄片的統計，其造岩礦物的平均含量如下：鉀长石27%、更長石25%、鈉长石12%、石英32%、白雲母3%、黑雲母1%。

在鈉长石化花崗岩的薄片，明顯地看到白雲母部分地或整片地交代黑雲母的現象。可以說，在鈉长石化作用過程中，同時

伴随着白云母化作用。

云英岩化花岗岩中，长石含量显著减少，而白云母、石英含量趋向增多，并有黄玉及螢石出现。据4个标本及薄片统计，其中钾长石为23%、更长石22%、钠长石7%、石英35.5%、白云母10%、螢石和黄玉2.5%。薄片观察见到，黑云母已全部被白云母交代，长石只留有残骸。（照片4）

云英岩体呈似脉状、短脉状或囊状。其

各类岩石化学全分析数据表 表1

组份	岩性		
	中粒黑云母花岗岩	钠长石化花岗岩	云英岩化花岗岩
分析样数	1	1	2
SiO ₂	74.54	75.36	75.56
TiO ₂	0.05	0.05	0.055
Al ₂ O ₃	12.99	12.19	12.19
Fe ₂ O ₃	0.00	0.25	0.30
FeO	2.49	1.77	2.19
MgO	0.08	0.15	0.15
MnO	0.08	0.09	0.17
CaO	0.58	0.73	0.63
Na ₂ O	3.20	3.34	2.96
K ₂ O	5.04	4.36	3.26
P ₂ O ₃	痕	痕	痕
S	0.012	0.02	0.048
H ₂ O ⁺	0.46	0.34	0.43
H ₂ O ⁻	0.11	0.12	0.07
F	0.10	0.15	0.10
B ₂ O ₃	0.18	0.17	0.18
Ta ₂ O ₅	0.0021	0.0015	0.0017
Nb ₂ O ₅	0.0063	0.009	0.0087
BeO	0.003	0.003	0.015
Li ₂ O	0.06	0.05	0.06
Rb ₂ O	0.057	0.055	0.05
Cs ₂ O	<0.05	<0.05	0.06
ZrO ₂	0.008	0.008	0.010
Ce+La	—	—	—
Y+Yb	0.0034	0.002	0.008
灼减	1.38	1.08	1.20
共 計	99.54	100.36	99.71

产状与裂隙构造特点密切有关。岩体由不同组合的石英、白云母、富铝铁黑云母和黄玉等几种主要矿物形成的云英岩相所组成。脉宽或囊状体之直径一般为4—6米。较常见的是白云母—石英云英岩、石英—富铝铁黑云母云英岩、富铝铁黑云母云英岩和黄玉—石英云英岩。在云英岩体的中心部位，常有致密块状或致密浸染状的绿柱石—日光榴石族之矿体，构成云英岩型铍矿床。

一、岩石化学特征

中粒黑云母花岗岩、钠长石化花岗岩、云英岩化花岗岩的化学成分列于表1。表2中列举某云英岩体按剖面系统取样分析的结果。由表2分析数据作出的曲线见图1。

从表1、2不难看出本区花岗岩以及花岗岩在蚀变、交代过程中组份的变化情况：

1. 中粒黑云母花岗岩中硅、铝及钾、钠含量均较高， $K_2O + Na_2O > 8\%$ ，为富碱的硅酸过饱和岩石；稀有元素含量较高，钽高于酸性花岗岩中克拉克值（1962，Виноградов，下同）两倍以上，钽高出五倍以上，铍高出一倍以上；

2. 在钠长石化作用中， Si^{+4} 、 Fe^{+3} 、 Na^{+1} 及稀有元素中的Nb趋向升高，而 Al^{+3} 、 K^{+1} 和 Fe^{+2} 趋向降低；挥发分（ H_2O^{+} 、F）有增高趋势，据8个钠长石化花岗岩中稀有元素含量分析，钽高于酸性花岗岩中克拉克值两倍至六倍，钽高出三倍，钽高出四倍左右；钽：铌为0.14至0.33；

3. 在云英岩化作用中，随着作用的强烈发育， Si^{+4} 、 Fe^{+3} 、 Na^{+1} 、 K^{+1} 均趋向降低，而 Al^{+3} 、 Fe^{+2} 、 Mn^{+2} 及稀有元素中的钽显著增高。挥发分中，以F和S增高最为明显。Ta:Nb为0.11—0.12。

1000公尺左右的部位。

不同特征的綠柱石，其物理性质和化学成分也稍有差异（表3、4）。

表 3

种 类	比 重	折 光 率
天蓝色綠柱石	2.7017	1.576
浅綠色綠柱石	2.6787	1.574
白色綠柱石	2.6453	1.571

表 4

組 分	天蓝色	浅綠色	白 色
BeO	12.90	13.24	12.70
SiO ₂	62.35	62.90	63.95
TiO ₂	0.14	0.06	0.02
Al ₂ O ₃	18.82	17.35	17.84
Fe ₂ O ₃	2.20	2.04	1.24
MnO	0.07	0.07	0.04
CaO	0.80	0.84	0.70
MgO	痕	0.44	0.16
K ₂ O	1.14	1.31	0.99
Na ₂ O	1.20	0.53	0.46
Li ₂ O	痕	痕	痕
Rb ₂ O	0.0	0.0	0.0
Cs ₂ O	0.0	0.0	0.0
H ₂ O ⁺	0.64	0.51	0.70
H ₂ O ⁻	0.15	0.18	0.11
共 計	100.41	99.47	98.91

綠柱石在风化作用中有褪色現象，因而常見顏色不均勻的綠柱石。褪色系自晶体聚合面或晶稜开始。褪色后，其化学成分也隨之变化，其中Ti⁴⁺、Fe³⁺及两价阳离子均趋向减少。

綠柱石中碱金属含量，只是鉀、鈉較高，鋰极微，未发现銣和銻。Na₂O + K₂O 約占碱金属总量的100%，属于鉀-鈉质綠柱石。

日光榴石族矿物：本区日光榴石族矿物属鉆榴石—日光榴石系列。以其化学成分及产状特征，可初步划分出鉆榴石及日光榴石。

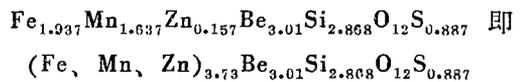
鉆榴石呈团块状，有时与綠柱石組成矿体，有时单独出現。无单一晶体。依結晶順序，鉆榴石晚于黃玉、綠柱石。共生矿物尚有富鋁鉄黑云母、黃玉、石英等。

鉆榴石呈深紅褐色，树脂到玻璃光泽，条痕色灰白帶黃。断面沿不同方向由平坦到不平坦。比重3.74，硬度6.75（赫氏显微硬度計測定，折算成摩氏硬度）。半风化后，顏色变浅、光泽变暗而成浅褐色—土黃色，具土状光泽。全风化后，变成疏松帶黑色的土状物，可能系其中Fe²⁺、Mn²⁺及S析出之故。半风化后，比重降为3.15。

薄片，鉆榴石呈淡黃綠色。均质性。折光率>1.74。裂紋发育，其中常有晚期矿物如絹云母充填，并見黃鉄矿鑲嵌其中。

化学成分特点为 Fe>Mn，Zn很低。风化后，Si⁴⁺、Fe³⁺、Al³⁺、H₂O[±]及 Zn 有所增高，而两价离子降低（表5）。

根据計算，其分子式为：



与格拉斯、約翰森及斯梯汶森(Glass, Jahns 及 Stevens)所列日光榴石族矿物分子式：(Mn, Fe, Zn)₄Be₃Si₃O₁₂·S相近。如用三角图表示其位置，乃偏于鉆榴石方面(图2)。

日光榴石常呈致密浸染状产于富鋁鉄黑云母云英岩中。紅褐色，树脂光泽。比重3.47。共生矿物有綠柱石、鉆榴石、黃玉、石英、綠泥石、絹云母等。其化学成分也列在表5中。

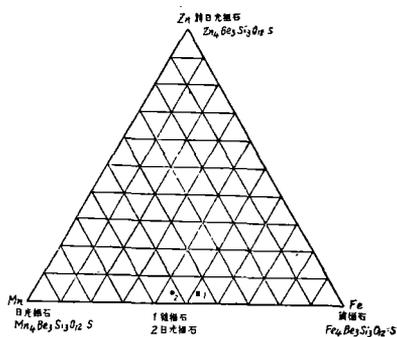


图 2

鉍榴石和日光榴石的化学成分 (%)

表 5

组 分	鉍榴石①	日光榴石	半风化之鉍榴石②
SiO ₂	30.35	30.30	34.00
TiO ₂	—	0.05	0.03
Al ₂ O ₃	—	2.80	7.27
Fe ₂ O ₃	0.11	0.92	4.71
FeO	24.57	17.92	14.05
MnO	20.54	21.95	16.84
CaO	—	0.36	0.24
BeO	13.26	12.73	10.53
H ₂ O ⁺	—	1.48	2.24
H ₂ O ⁻	—	0.22	0.46
Zn	1.93	2.13	3.31
S	5.28	5.15	3.68
共 計	96.27	96.23	97.57

① 取自致密块状鉍榴石之核部;

② 取自致密块状鉍榴石之表层半风化部分。

鉍鉍酸盐类矿物 在鈉长石化花岗岩的人工重砂中见到。黑色，具金属—金刚光泽，碎屑边缘呈土黄色，半透明。柱状（长轴 1—2 mm）或粒状。条痕褐色—土黄色。比重 5.96（显微比重法测定）。依其物理性质初步鉴定为鉍铁矿。

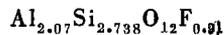
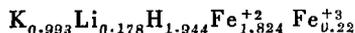
富鋁鉄黑云母 为云英岩体中最普遍的矿物。呈黑綠色。片径由 0.5 cm 左右到 1.5 cm。比重为 3.12。在薄片呈淡綠色，具弱多色性，其折光率初测 N_o 为 1.645，N_e 为 1.622。2V 极小，近于 0°。该矿物之化学成分及分子式计算数据列于表 6 中。

表 6

组 分	含量%	原子数	氧原子数	以氧 12 换算阳离子数
SiO ₂	31.50	0.524	1.048	2.738
Al ₂ O ₃	20.18	0.396	0.594	2.07
Fe ₂ O ₃	3.30	0.042	0.063	0.22
FeO	25.16	0.349	0.349	1.824
MnO	0.91	0.013	0.013	0.068
MgO	0.17	0.004	0.004	0.02
CaO	痕	—	—	—
K ₂ O	9.00	0.19	0.010	0.993
Na ₂ O	0.50	0.016	0.008	0.084
H ₂ O ⁺	3.35	0.372	0.186	1.944
H ₂ O ⁻	1.00	—	—	—
B ₂ O ₃	0.07	0.002	0.003	0.01
F	3.30	0.174	—	0.909
BeO	0.014	0.0006	0.0006	0.003
Li ₂ O	0.50	0.034	0.017	0.178
Rb ₂ O	0.50	0.0027	0.0014	0.014
共 計	99.50		2.296	

注：该矿物中除上表所列组份外，尚有 Nb₂O₅ 0.029%。

其分子式相应为：



可写作：KFe₂Al₂Si₃O₁₀(OH)₂·F

另据四个产自不同云英岩相的同一矿物化学分析，其主要组份含量均与表 6 中所列数据相近，且其中 Li₂O 均不超过 0.50%。以其化学成分及鉴定资料，似为黑云母之变种，暂称作富鋁鉄黑云母。

貝川石 (Берграндит) 白色，产于矿体

附近。薄片中无色透明。半自形， $N \sim 1.605$ 。二轴晶负光性，干涉色为一级灰白，极少数为淡黄。2v角大，达 70° 左右。以柱状或不规则状与絹云母共生。由于含量极微，没有工业价值。

黄玉 产于云英岩体中心相或云英岩化花岗岩中。粒度由1mm至2cm。细小之晶体无色透明，较大者呈白色或淡黄绿色透明，其中常有包裹体及裂隙充填物。包裹体为晶形完好的富铝铁黑云母；充填物多为絹云母及細粒石英。

螢石 有紫色、浅紫色、浅绿色及无色四种。与云英岩化作用有关的螢石多呈紫色、浅紫色；与热液期矿物共生的螢石多呈浅绿色。

其它矿物不作一一描述。

三、稀有元素的矿化作用

如所周知，铌、钽、钽由于具有两性性质，极易形成络离子而聚集于岩浆作用晚期的气—热溶液中。但是，铌、钽、钽的地球化学特征不同，其所形成的络合物的稳定性也有差异，因而，在岩浆期后阶段，它们的富集情况也不同。

如前所述，在本区的鈉长石化花岗岩中，铌有最大富集， Nb_2O_5 最高含量达0.011%，并且形成了单独矿物。而钽则在云英岩化作用中达到最大富集，特别是在云英岩化末期所形成的云英岩中。钽在云英岩化作用中也有增高趋势。

对我国某些矿点及国外资料的分析表明，在鈉长石化花岗岩中，常形成以铌为主的铌钽酸盐类矿物，而钽只有少量富集；而在云英岩化作用产物中，则往往形成以钽为主的钽钽酸盐类矿物。值得指出的是，当在云英岩化作用产物中有钽富集时，钽只有少

量富集，当钽的含量较低时，钽则高度富集。

在解释上述现象时，除应考虑到各该元素在残余气—热溶液中的浓度之外，必须探讨它们的搬运形式和沉淀条件以及与不同交代作用的关系。铌、钽、钽在岩浆期后残余溶液中极可能与卤族元素、特别是其中的氟组成络合离子，并与钾或鈉共同组成络合物进行运移。但这些络合物具有不同特性。O. A. 松琴娜曾指出，铌、钽的氟化物在有水存在的条件下，其特征不同，如 K_2NbOF_5 或 K_2NbF_7 在水中极易溶解，而 K_2TaF_7 则比较稳定。达尔涅里及尹切玛也同样指出过。因此，在有水存在的条件下，铌和钽可能分开。但当溶液酸—硷度变化时，它们的溶解度又不同。如在氢氟酸溶液中，当其浓度增大时， K_2NbF_7 的溶解度却降低，而 K_2TaF_7 的溶解度则增高。当浓度增大到25%时， K_2NbF_7 的溶解度重新增大。

至于钽在鈉长石化阶段有所富集，并形成綠柱石，已经最近实验资料证实。当用氟合钽鈉盐超临界饱和溶液与微斜长石—紋长石相互作用时，钽即以硅酸盐形式，作为綠柱石进入固相，并引起了微斜长石的鈉长石化。同时，在实验中，并观察到长石的水解作用，在这一作用中，有钾被析出。实际上，由薄片观察所见到的岩石中造岩矿物之间相互关系及其共生组合特点，可以得出交代作用在一定范围内与水解作用有密切联系的结论。从上述实验资料，可以作出下列推论，即在残余溶液内由于在交代作用中有一价阳离子析出，同时氟则攫取了分散于造岩矿物中的铌、钽和钽（如云母类和长石类矿物）并与一价阳离子组成络合物进行运移。

在鈉质交代作用中，鈳的絡合物首先被分解，而鉍或鈳的絡合物則仍然稳定地存在于残余溶液中，到云英岩化作用阶段，当残余溶液随着氟的排除、酸度降低时，它們才被破坏而分解出来。因此，在岩漿期后阶段，交代作用的发育为稀有元素的富集和运移創造了先决条件，而溶液酸—硷度变化，則是稀有元素运移、分解的决定性因素。

就本区而論，也証实上述推論的可能性。本区在交代作用不同阶段所生成的矿物反映出溶液酸—硷度的变化情况。如在鈉长石化阶段，主要生成鈉长石、少量白云母和石英，溶液为弱酸性，而在云英岩化阶段，揮发分大量富集，浓度不断增大（如氟等），而鉀、鈉等硷金属相对减少（表1、2及图1），酸度趋向升高。在氟进入黄玉、螢石及云母之前，溶液酸度达到最高点，及至氟进入上述矿物之后，酸度下降，鈳的絡合物被破坏，鈳沉淀出来。图1中氟和鈳的变化曲綫完全說明了这一点。

当然，由鈉长石化作用开始到云英岩生成的整个过程，是在温度逐渐下降的条件下进行的。因此，气—热溶液酸—硷度的变化也同揮发分由气态轉入液态有关。在这一轉变过程中，溶液的酸度是可能升高的。及至它們轉入固相时，溶液酸度将会下降。

关于云英岩化阶段鈳与鉍的地球化学問題，根据現有資料，目前在本区的云英岩化产物中未发现它們的单独矿物，而是呈分散状态进入云母类矿物。如在本区云英岩中占体积50%以上的富鋁鉄黑云母中， Nb_2O_5 的含量达到0.034%。残余溶液中高价阳离子的存在，不利于鈳的富集。因此，在鈉长石

化作用阶段，鈳并没有显著增多。而云英岩化作用阶段，当鉍及鈳含量不高，或首先进入造岩矿物，則对鈳的富集是有利的。

关于前述本区以綠柱石矿化为主的云英岩及以鈳榴石及日光榴石矿化为主的云英岩出現的不同部位問題，我們認為这主要取决于残余溶液的組份变化情况。特别是其中的鋁。在形成以綠柱石为主的含矿溶液部分，鋁較富集，这可由与綠柱石共生的大量黄玉的形成来証明，而两价阳离子如 Fe^{++} 、 Mn^{++} 等及阴离子較貧，因而不能大量形成富鋁鉄黑云母及日光榴石族矿物；而在形成以日光榴石族矿物为主的含矿溶液部分，則恰恰相反，当鋁进入云母类之后，沒有剩余去形成綠柱石，鈳則与 Fe^{++} 、 Mn^{++} 及S等組成日光榴石族矿物。后者从矿物共生情况来看，已接近于热液期。

通过上述討論，結合本区地质情况并綜合国内外有关資料，可以将酸性花崗岩中与鈉长石化、云英岩化作用有关的鈳、鉍、鈳矿床分作两类。

1. 主要与鈉长石化作用有关的鈳鉍矿床。其特征为：

(1) 鈉长石化作用較强烈，云英岩化作用不明显或較弱；

(2) 岩石中鉍与鈳的比值低， Ta/Nb 一般不超过0.4；

(3) 鈳、鉍主要形成鈳鉄矿、鉍鈳鉄矿或其他以鈳为主的矿物；

(4) 鈳沒有显著富集，仅形成少量綠柱石；

(5) 副矿物中常能見到鋯石、曲晶石、独居石、磷鉍矿、褐鉍鈳矿及鈳石。

2. 主要与云英岩化作用有关的鈳鉍鈳

表 4

矿床。其特征为：

(1) 云英岩化作用较强烈，而钠长石化作用较弱；

(2) 岩石中钽与铌的比值高，Ta/Nb 一般均高于 0.5，有时可达 1—2；同时可能有铍出现；

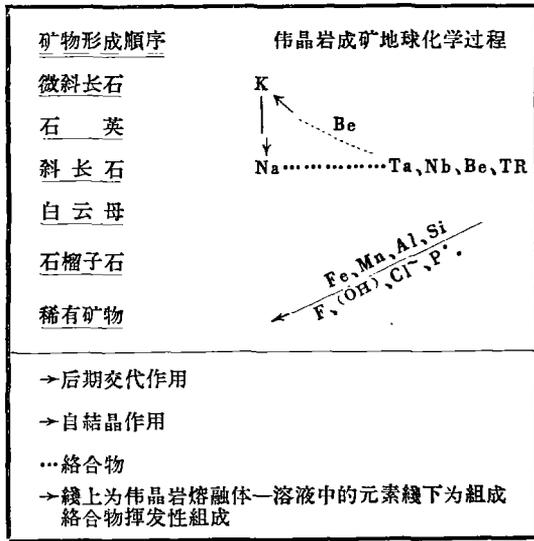
(3) 钽与铌形成以钽为主的矿物如钽铁矿、钶钽铁矿或细晶石。当钽含量较低时，铍往往高度富集，这时钽与铌的比值也降低；

(4) 副矿物中很少见到锆石、曲晶石、独居石或磷钇矿等。

(参考文献从略)

(上接第14页)

富钽、铌、铍花岗岩伟晶岩的地球化学成矿规律可概括为下式(表 4)：



文中的岩石、矿物化学分析资料全部是冶金部地质研究所化验室三组及八组全体同志辛勤劳动的成果，粉晶照相由刘鸞玲所作。作者表示衷心的感谢(参考文献从略)。

就鑽探操作机械化问题举行座谈

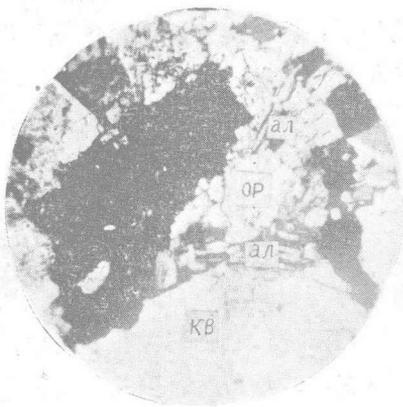
七月下旬，地质部在辽宁省地质局举行座谈会，专门研究钻探工程操作机械化问题。参加会议的有各省地质局(厅)的探矿技术负责人及试验钻的代表；建工部和有关的地质学校也派人出席了会议。

会议的中心议题是对辽宁式撑管机进行中间鉴定。在部勘探技术研究设计院、辽宁省地质局分别介绍了它的设计、试制和试验过程，提出了试验的技术总结后，代表们进行了现场参观和评议。经过反复讨论研究，大家一致认为这种撑管机比过去的撑管机传动效率高，体积小，结构紧凑，密封润滑良好，操作简便。鉴定小组提出的中间鉴定意见是：辽宁式撑管机技术上基本成熟，在进一步改进的基础上，可以统一小批生产，选点扩大试验。

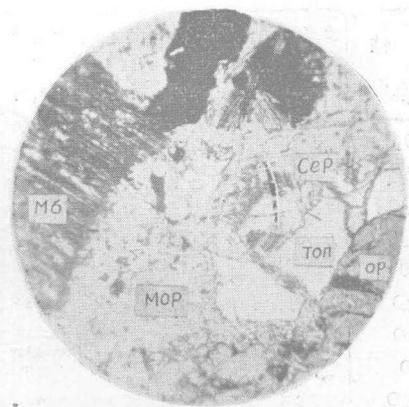
在充分交流钻探机械革新情况中，辽宁省地质局还介绍了他们试制的手轮给进器和倒杆器以及四种摆管扶管装置。

会议在认真总结了大跃进以来的钻探机械革新的经验的基础上，研究了今后的钻探机械技术革新的方向和任务问题。经过讨论，大家一致认为，当前的革新方向是：在全面提高工程质量的前提下，提高效率；提高升降工序机械化、半机械化水平；加强设备维护保养和节约原材料等。

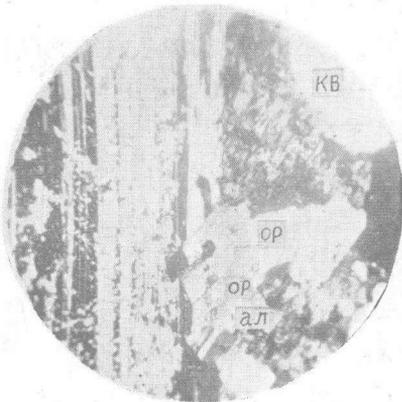
(本刊记者)



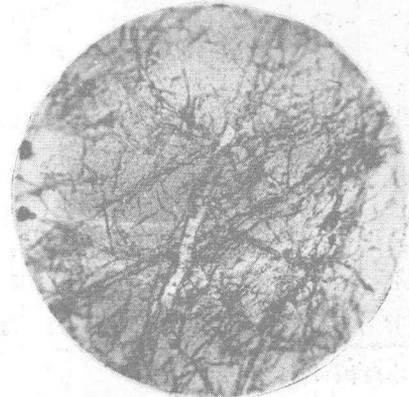
照片1. 钠长石化花岗岩. 钠长石生成在正长石之中
 ал 钠长石(An 8) КВ 石英 Op 正长石
 50×正交偏光



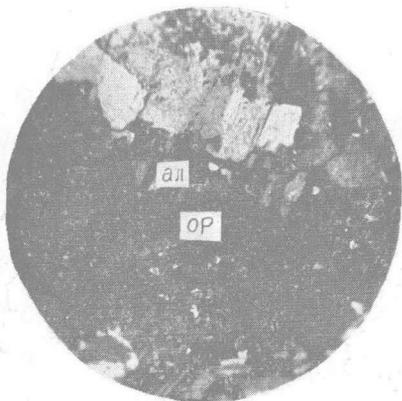
照片4. 云英岩化花岗岩
 Mб—白云母化之黑云母
 Mop—被白云母交代之正长石、黑斑为正长石
 Top—黄玉 Cep—絹云母 Op—正长石
 50×正交偏光



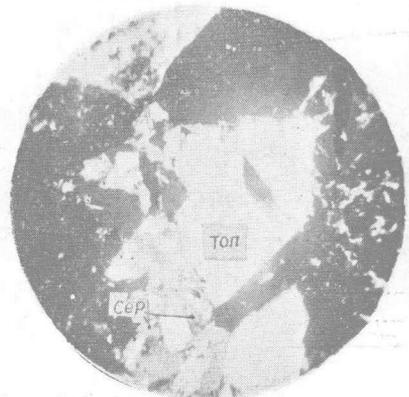
照片2. 钠长石生成在正长石的边缘
 ал 钠长石(An 9—10) Op 正长石 КВ 石英
 50×正交偏光



照片5 薄片中之鉍榴石 50×平行偏光



照片3. 钠长石交代正长石, 并生成在其边缘
 ал 钠长石 Op 正长石 50×正交偏光



照片6 鉍榴石中的黄玉被絹云母切割充填
 黑色者为鉍榴石
 Top—黄玉 Cep—絹云母 50×正交偏光

表 2

岩性 組份	云英岩	云英岩	云英岩	云英岩	云英岩	云英岩
	化中粒 花崗岩	化中粒 花崗岩	中粒 边缘相	边缘相	中心相	边缘相
SiO ₂	75.98	73.90	73.46	59.22	35.32	45.04
TiO ₂	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Al ₂ O ₃	12.35	12.38	12.67	22.58	28.88	32.94
Fe ₂ O ₃	0.27	0.33	0.19	0.00	1.57	0.16
FeO	1.90	2.37	4.69	5.85	10.53	6.05
MgO	0.14	0.16	0.07	0.11	0.13	0.13
MnO	0.19	0.26	0.36	0.95	7.76	1.75
CaO	0.63	0.86	0.36	1.96	1.35	2.00
Na ₂ O	2.88	2.36	0.20	0.20	0.20	0.16
K ₂ O	2.04	3.92	3.32	1.40	1.92	2.36
P ₂ O ₅	痕	痕	痕	痕	痕	痕
S	0.075	0.03	0.03	0.09	1.05	0.25
F	0.19	0.03	0.47	2.47	0.52	0.75
H ₂ O ⁺	0.56	0.71	1.26	1.43	1.65	1.53
H ₂ O ⁻	0.06	0.09	0.07	0.08	0.07	0.09
B ₂ O ₃	0.18	0.17	0.17	0.19	0.18	0.18
Ta ₂ O ₅	0.0018	0.0017	0.0019	0.001	0.0008	0.0014
Nb ₂ O ₅	0.0096	0.0075	0.009	0.0084	0.0063	0.0036
BeO	0.026	0.02	0.047	0.42	4.39	0.79
Li ₂ O	0.06	0.06	0.07	0.06	0.07	0.06
ZrO ₂	0.008	0.011	0.008	0.012	0.008	0.011
灼減	1.14	1.50	3.64	4.10	6.34	5.92
共 計	97.61	99.22	101.15	101.18	102.00	100.23

注：本表中分析样数各为一个

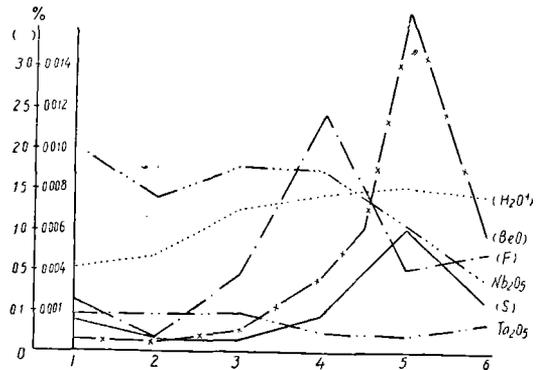
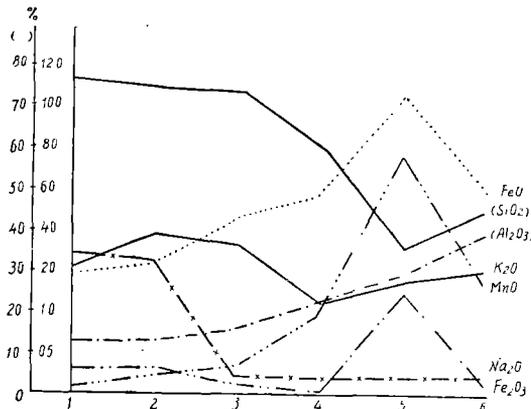


图 1. 一些造岩元素、稀有元素及挥发分变化曲线图

1-2. 云英岩化中粒花崗岩；3-4. 云英岩边缘相；5. 云英岩中心相；6. 云英岩边缘相

上述特点说明，在岩浆期后阶段，残余溶液的性质，随着压力、温度的变化以及其中所含组份的变化，在不断改变。而稀有元素的地球化学行为在这两种不同的交代作用中也有明显的不同。

二、副矿物特征

在各类岩石中，副矿物成分也有不同。中粒黑云母花崗岩中，只有少量钛铁矿、磷灰石、磁铁矿等；钠长石化花崗岩中，有独居石、磷钇矿、锆英石、钶铁矿（暂定）、绿柱石、黄铁矿等；云英岩中则有绿柱石、日光榴石族（钹榴石—日光榴石）、贝川石、锡石、黑钨矿、方铅矿、闪锌矿及碳酸盐类矿物如方解石、菱铁矿、铁菱锰矿等。下面仅就一些重要副矿物作一概述。

绿柱石：产于钠长石化花崗岩、云英岩化花崗岩及云英岩中。依其产状可分为两期：早期绿柱石为淡绿色，晶体细小（长轴约1 mm左右），呈星点状产在蚀变花崗岩中，不具工业价值。晚期绿柱石产于云英岩中，晶体较大，常呈晶簇或团块状聚晶，以浅绿色及天蓝色为主，与石英、黄玉等伴生。富含绿柱石的云英岩体多出现于标高900—