

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

长江中下游某地区两期侵入岩的特征及其与成矿关系的初步研究

李应运 方景爽 程德藻 吴言昌 汪松友

一、前 言

近年来对该区侵入岩做了许多工作;但对岩浆岩的侵入时代及演化规律等许多问题仍存在着争论。对该区广泛发育的各种中—酸性侵入岩类,过去有认为是多次侵入活动所形成的^[1],但确切的地质证据未见报导。此外,也有认为它们之间呈过渡关系,是同源相变或混染同化作用的结果。

我们曾对区内的岩浆杂岩,进行了一些岩石学、岩石化学和地球化学等方面的地质工作。结果表明,该区岩浆杂岩主要为燕山旋回的侵入产物,侵入活动具有多期性,它们各自与不同类型的矿产有着成因上的联系。本文仅为初步整理成果,不当之处,尚希指正。

我们的全部工作是在严坤元总工程师的具体指导下进行的。工作中,承该区工作的地质队的全面合作和热情支持,特此致谢。

二、侵入岩在空间上的展布特征

本区侵入岩主要有两大类:一是中性闪长岩类,包括闪长岩、含石英闪长岩及闪长玢岩等;另一为次碱性的花岗岩类,有黑云母花岗岩、钾长石花岗岩、石英正长岩及含石英正长岩等岩石种属。其中以含石英闪长岩、钾长石花岗岩及石英正长岩分布最广。

各类型岩石的空间展布与区域地质构造密切相关。岩体作线型延伸,其长宽比一般为3:1左右,长轴方向为北东40°—50°,与区域构造线方向相一致。反映出本区岩浆的侵入活动,主要受北东方向区域性断裂构造的控制。现有的资料表明,不同方向断裂的交汇处,往往是岩浆侵入的有利场所。

应当指出的是,这两大类岩石无论在空间分布、侵入规模、岩体构造及产状特征方面都有着相当的差别(图1)。

闪长岩类多呈一些小型的岩株,岩瘤或类岩墙状的小侵入体,面积均小于10平方公里,其特征是:形状复杂,规模小,岩相变化不大、混染同化作用及后期的各种蚀变交代作用较为发育的中—浅成相岩石。在空间分布上较花岗岩类偏北,呈断续出露,自成一带,如1、2、3、4、5号岩体等。

本区花岗岩类出露面积较广,既有规模较大的岩体,也有岩枝和岩株状的小侵入体。如9号次碱性花岗杂岩,就目前所见,延长17公里,宽平均约5公里,为一面积约85平方公里的巨大岩体。其他则出露面积不大,均在数平方公里以下。这些岩体,在岩相特征及岩石类型方面均变化较大。它们主要分布于上述闪长岩带之东南侧,沿江岸附近展布。

两期侵入岩中的节理裂隙系有明显的区别(图2、3)。在闪长玢岩中以走向北东 77° ，陡倾的一组节理最为发育，另一组近水平的节理常被后期的岩脉所充填；而次碱性花岗岩中，同时有几组较发育的节理，除走向南东 155° 的一组外，还有两组走向分别为北西 335° 、北东 55° 的陡倾节理系，二者近共轭分布，它们常把花岗岩分割呈方块状。这种节理裂隙系统发育的差别，显然与不同时期的侵入体的原生节理系有关，同时也与后期承受了不同的构造变动作用有关。

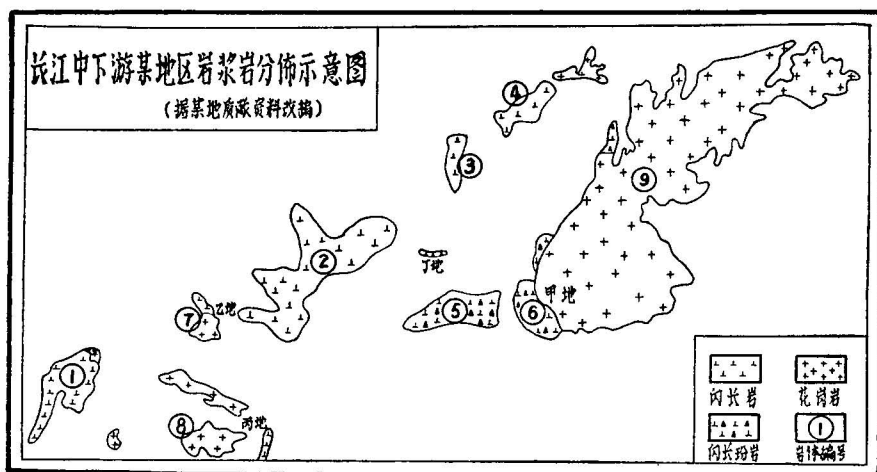
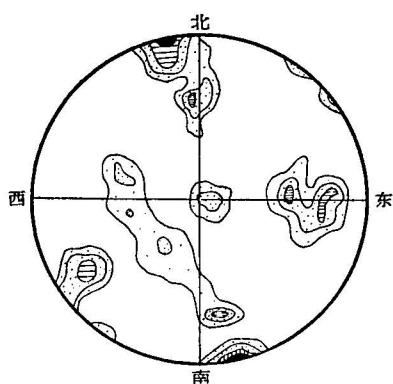


图 1

图2 某地区闪长玢岩体的节理等密图
(据 137 个节理统计)

等密线 7.5—5.5—3.5—1.5%
最密部 7.5—9.5%

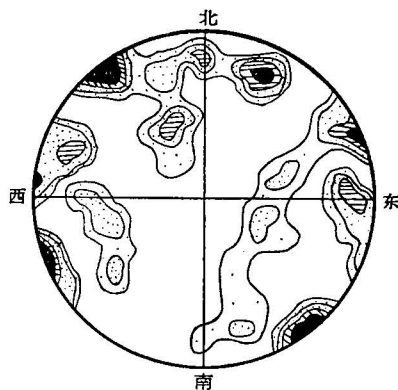


图3 某地区次碱性花岗岩杂岩体的节理等密图(据 142 个节理统计)

等密线 6.5—3.5—1.5—0.5%
最密部 6.5—9.0%

三、侵入关系的确定及侵入时代问题

本区的侵入岩不是一次岩浆活动所形成，而是多次岩浆活动所形成的。

在该区范围内，闪长岩和闪长玢岩被晚期花岗岩侵入的现象，许多地方均可发现。

1. 在甲地(图1, 4), 可见到次碱性花岗岩侵入到闪长玢岩之中, 二者的侵入接触关系

十分明显。接触带不平直,呈锯齿状,接触面倾角很陡约 80° 左右。近接触带的花岗岩呈细粒结构,局部有淬火边出现,同时有花岗岩的岩枝插入闪长玢岩之中,后者的角砾状捕虏体也见于花岗岩内(图4)。接触带附近的闪长玢岩,由于受花岗岩侵入的影响,产生了硅化、绿帘石化和钾长石化等蚀变交代现象。

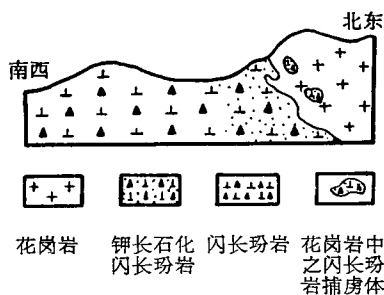


图4 甲地花岗岩与闪长玢岩接触关系示意图

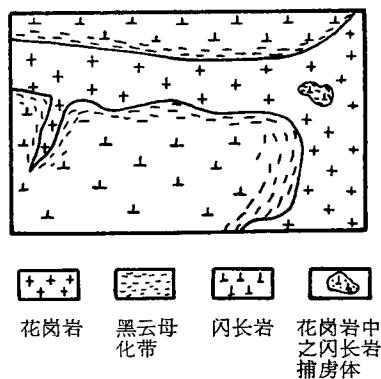


图5 乙地花岗岩侵入闪长岩中之露头素描图

2. 在乙地亦发现花岗岩呈舌状岩枝侵入到闪长岩中¹⁾,接触界线明显(图5)。在花岗岩中的闪长岩捕虏体及接触带附近的闪长岩内,黑云母大量增加,含量可达20%左右,成为黑云母闪长岩,并伴随有硅化和钾长石化现象。

3. 在丙地沿一未通车的公路剖面上(图6)同样可以获得花岗岩侵入到闪长岩中的证据。在该剖面上,发现大量不规则的黑云母化闪长岩残留体或捕虏体分布于花岗岩中。在露头上某些闪长岩残留体可追索达数10米²之巨,并见有许多后期的脉状转生岩,同时沿节理裂隙贯入到闪长岩和花岗岩之中。

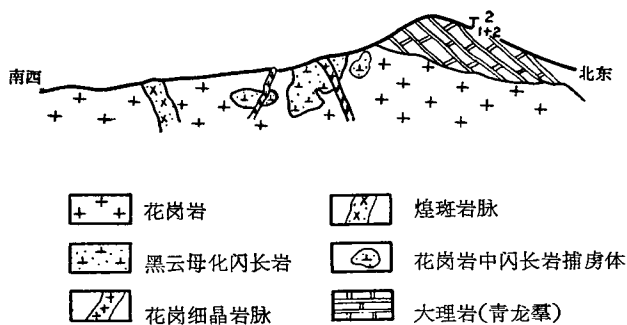


图6 丙地花岗岩与闪长岩接触关系示意剖面图

上述结果表明,本区岩浆侵入活动至少可以划分为两期,早期为闪长岩类侵入,晚期为次碱性花岗岩类侵入;并且这两期岩浆活动具有一定的区域性意义。

众所周知,长江中下游地区侵入岩形成的时代问题,是一个很重要而又悬而未决的问

1) 参加这次野外观察的还有董纯才、周云生、王瑞祥同志。

题,但多旋迴形成之说已日趋明朗。就本地区的侵入岩而论,则主要为燕山旋迴的多次侵入活动之产物。

我们的研究结果表明,闪长玢岩直接侵入到上三迭统黄马青群中,在龚箕冲附近发现闪长玢岩中有变质的侏罗纪砂岩捕虏体;同时,据该区的某普查队的资料(1961年),还见到闪长玢岩岩墙侵入到中下侏罗统的砂页岩中。含石英闪长岩体附近的象山群砂岩亦经受了接触变质作用的影响。因此,本区的闪长玢岩和含石英闪长岩,均可确证是在早中侏罗世以后侵入。根据已有的资料,我们认为二者是同期异相的产物。

次碱性花岗杂岩体西北面与侏罗纪地层相接触,在徐家冲西面见其直接侵入到中下侏罗统象山群上部的砂质页岩中,使其中的含炭质页岩变为黑色石墨角页岩。因此,该次碱性花岗杂岩在早中侏罗世以后侵入也是可以确信无疑的。

上述接触关系的研究表明,本区的两期岩浆侵入活动均在早中侏罗世以后,相当于燕山运动之产物。具体地说:中性的闪长岩类,应属于燕山早期的产物,可能形成于侏罗纪末至白垩纪初期;次碱性的花岗杂岩,可能属于燕山晚期的产物,在白垩纪时期内形成。

四、岩石-地球化学特征

燕山早期的闪长岩类

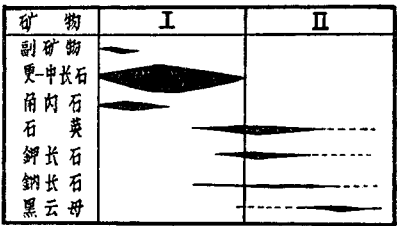
燕山早期的闪长岩类包括闪长岩和闪长玢岩。一般闪长岩体由于受围岩混染同化作用及后期碱质交代作用的影响,往往产生有闪长岩、石英闪长岩、含石英闪长岩及少量的更长岩等岩石变种,但以含石英闪长岩为主。兹以2号和6号岩体为例加以说明。

含石英闪长岩一般为灰白—浅灰绿色,中细粒半自形结构,主要由中长石,钠-更长石、少量的石英(一般为6—10%)和钾长石及普通角闪石、黑云母所组成。副矿物有磁铁矿、磷灰石、榍石和锆石等,其中以磁铁矿和磷灰石最多。次生矿物有黝帘石、绢云母、绿泥石、绿帘石、高岭土、方解石、褐铁矿等。其主要矿物的含量如表1所示。

表 1 燕山早期闪长岩类岩石的矿物含量

岩石类型 矿 物	含石英闪长岩 (2号岩体)	闪长玢岩 (6号岩体)
	体 积 百 分 比	
中 长 石	—	45—50
更-中长石	59.5	—
钠更长石	—	25—26
角 闪 石	19.5	12
石 英	6—10	2—5
钾 长 石	5.5	5—8
黑 云 母	3.5	1—2
副 矿 物	2.0	2±

表 2 含石英闪长岩的矿物结晶顺序



I. 正岩浆阶段;
II. 岩浆期后(包括自变质作用)阶段

根据岩石的结构构造特征及矿物之间的关系,含石英闪长岩的矿物结晶顺序,可列于表2。

从表中可以看出,除第I阶段正岩浆期析出的矿物外,第II阶段即岩浆期后所结晶的

矿物主要为钾长石、钠长石和部分的黑云母、石英，反映出以碱质交代作用为其特征。这一点从钾、钠长石广泛交代其他早期析出的矿物可得到证明。这种交代作用部分可能属于自变质作用的范畴。

含石英闪长岩在岩石化学上(表 3、4)为钙碱性系列。根据查氏特征数值应属于第四类第十三科“二氧化硅饱和弱过碱性”的岩石。

表 3 燕山早期闪长岩类的岩石化学成分

编号	岩石产地	岩石名称	氧化物重量百分数											
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	P ₂ O ₅
1	2号岩体	闪长岩(包括含石英闪长岩)	59.44	0.61	16.58	2.76	2.32	0.05	2.57	4.44	5.25	3.37	1.28	0.381
2	6号岩体	闪长玢岩	63.36	0.49	16.62	1.83	1.61	0.05	1.97	3.70	6.20	2.64	0.82	0.243
3	据戴里	闪长岩	56.77	0.84	16.67	3.16	4.40	0.13	4.17	6.74	3.39	2.12	1.36	0.25
4	据戴里	闪长岩(包括石英闪长岩)	58.90	0.76	16.47	2.89	4.04	0.12	3.57	6.14	3.46	2.11	1.27	0.27

表 4

编 号	岩石产地	岩石名称	查 氏 特 征 数 值									
			a	c	b	s	f ¹	m ¹	c ¹	n	Q	a/c
1	2号岩体	闪长岩(包括含石英闪长岩)	16.6	2.8	12.2	68.8	39.7	38.2	22.1	70.2	-1.2	5.94
2	6号岩体	闪长玢岩	17.23	2.35	8.38	71.42	35.74	39.35	24.89	78.1	6.65	7.33
3	据 戴 里	闪 长 岩	10.7	6.1	16.7	66.5	42.9	43.3	13.8	71.4	5.5	1.75
4	据 戴 里	闪长岩(包括石英闪长岩)	10.8	5.8	14.5	68.9	44.7	42.8	12.5	31.8	10.4	1.86

值得特别注意的是,其中碱金属氧化物含量特高($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 8.62$),而 Na_2O 大于 K_2O 几乎近 1 倍;因而反映在 a 值及 n 值上比戴里平均石英闪长岩的相应数值也超出甚巨,故在查氏向量图解(图 7)上,含石英闪长岩的向量原点大大地偏向右端。这种碱质增高的特征,固然与岩浆后期的交代作用有关,但就本区而言,可能是岩体含矿性在岩石化学上的一个指示性标志。

岩石光谱半定量分析的结果表明(图 8),含石英闪长岩中:

(1) 铁族元素(Ti、V、Cr、Ni、Co)相当普遍地存在,特别是其中的 Ti 相对增高。由于榴石及其他含钛的独立矿物的缺乏,其中的钛大部分可能赋存于磁铁矿及其他暗色矿物之中。

(2) 造矿元素(Cu、Pb、Zn)普遍存在,而且其中铜的含量一般均较闪长岩类的平均含量(3.5×10^{-3} ——据 A. П. 维诺格拉多夫,1962 年)为高。但在光谱分析的灵敏度范围内,钨、钼、锡均未能检出,只在个别样品中有微迹的钼出现(含量 0.001%)。

(3) Ba、Sr、Zr 在岩石中广泛存在,其变化丰度为 0.01—0.05%,而 Nb、Y、Yb 等稀散元素虽有出现,但含量均极其低微。

闪长玢岩为灰白色斑状结构,斑晶多为环带状的中长石,大小在 $5 \times 5 - 0.5 \times 0.5$ 毫

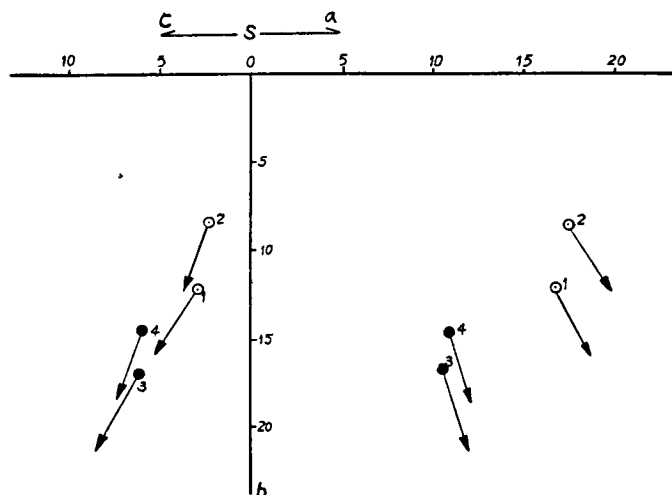


图7 燕山早期闪长岩类化学成分查氏向量图解

1. 闪长岩(包括含石英闪长岩) 2. 闪长玢岩 3. 闪长岩(戴里) 4. 闪长岩包括石英闪长岩(戴里)

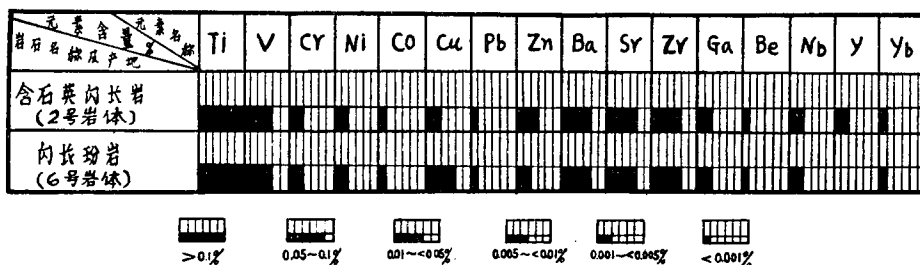


图8 燕山早期闪长岩类中的微量元素图解

米之间,约占岩石矿物总量的50%左右。基质呈细粒致密状,晶粒大小一般均在0.5毫米以下,以钠-更长石和普通角闪石为主,有少量散点状的黑云母及石英(<5%)存在。少量的钾长石(包括正长石和隐纹长石)主要分布于基质之中,晶体细小而不规则,或沿解理、裂隙交代角闪石和斜长石,或充填于其他早期析出的矿物颗粒之间。

表5 闪长玢岩的矿物结晶顺序

矿物	I	II
副矿物		
中长石		
钠-更长石		
角闪石		
黑云母		
钾长石		
石英		

I. 正岩浆阶段;

II. 岩浆期后(包括自变质作用)阶段

闪长玢岩为钙碱性系列中第三类第八科,硅酸弱过饱和($15 > Q > 6$)过碱性($a:c > 3$)的岩石。其化学成分(表3、4)与含石英闪长岩具有一些共同的主要特征:碱金属氧化物的含量也特别高($Na_2O + K_2O = 8.84$),而 Na_2O 也超过 K_2O 几达3倍。但闪长玢岩比含石英闪长岩酸度略高,而基性组分(FeO 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 CaO)偏低。这从查氏向量图解

上(图7)可获得清晰的反映。这一点与侵入的介质条件及岩浆凝固的物理化学条件的不同有关。例如,含石英闪长岩的南侧侵入到碳酸盐介质中,并受其一定混染同化作用和去硅作用的影响,于局部地段形成了闪长岩或混染闪长岩;闪长玢岩则侵入于硅铝成分的介质中,形成于比较浅成的条件之下,故酸度略高。

微量元素在岩石中的分布(图8)也和上述含石英闪长岩大致相仿,以铁族元素及造矿元素Cu、Pb、Zn的普遍存在为其特征。说明两种岩石具有“亲缘”的地球化学关系,而其中铜的含量(0.015%)比含石英闪长岩却高出5倍。目前在闪长玢岩中亦已发现了铜的矿化现象。

燕山晚期的次碱性花岗岩类

燕山晚期的次碱性花岗岩类包括黑云母花岗岩、钾长石花岗岩及石英正长岩等。兹以9号次碱性花岗杂岩体及7号花岗岩体为例分述于下:

次碱性花岗杂岩体由于岩浆结晶分异作用及部分混染同化作用的影响,从边缘至中心出现有黑云母花岗岩—钾长石花岗岩—石英正长岩—含石英正长岩等相互过渡的岩石种属,但构成该岩体的主要岩石为石英正长岩,其次为钾长石花岗岩。尽管在空间上岩相的分布是不对称的,但岩石的碱度有从岩体的边缘向中心部分逐渐增高的趋势,这从图9中可获得清楚的反映。随着中心相岩石碱度的增高,酸度却有所降低。

根据对本花岗杂岩矿物成分的研究(表6),可以总结出以下几点特征:

(1)该次碱性花岗杂岩,实际上是钾质花岗岩类,其钾长石的含量占绝对优势;暗色矿物很少,黑云母含量一般小于5%,以富含钛为其特征(次生变化后析出多量的钛铁矿、白钛矿及金红石等)。在较碱性的岩石中,钠铁闪石偶见。石英

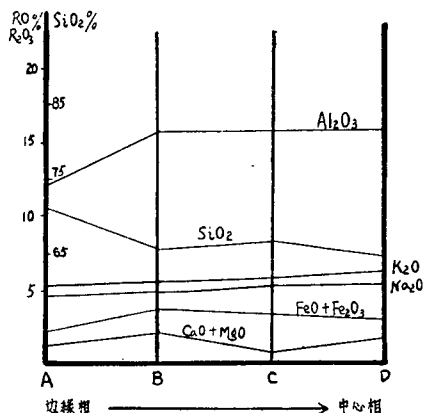


图9 次碱性花岗杂岩体中岩石化学成分变异图

A. 黑云母花岗岩 B. 钾长石花岗岩
C. 石英正长岩 D. 含石英正长岩

表6 次碱性花岗杂岩体中各相岩石的矿物含量

体 积 百 分 数 矿 物	岩石类型	黑云母花岗岩	钾长石花岗岩	石英正长岩	含石英正长岩
	岩 相	边 缘 相	过 渡 相	中 心 相	
	相				
正 长 石		33—35	15	13	8—10
隐 纹 长 石		10	5	12	75
条 纹 长 石		—	48	60	—
钠-更 长 石		22—25	6.5	3—5	3
石 英		25	20	5—8	3—5
黑 云 母		3.5	2.5	1±	5±
副 矿 物		1.5	3±	<3	3

含量变化很大,从边缘相的 25% 到中心相的 3—5%。

(2) 钾长石在不同种属岩石中出现的方式有所不同。在黑云母花岗岩中以正长石为主,常见卡氏双晶;而在钾长石花岗岩及石英正长岩中则以条纹长石为主;大量的隐纹长石则出现于含石英正长岩中,并为其主要的造岩矿物。这种隐纹长石在花岗岩,特别是在碱性花岗岩中的大量出现,是由于富含钠质的长石在岩浆结晶的初期与钾长石不相混融的结果。这一点许多学者曾强调地指出过^[3]。

(3) 岩石中后期碱质交代作用,特别是钾质交代作用相当发育。一般钾长石至少有早晚两个不同的世代(表 7)。晚期的钾长石多交代熔蚀其他早期析出的矿物,呈他形粒状,发育在其他矿物颗粒之间。这种钾质交代作用,大部分可能为自变质作用时期的产物。

表 7 石英正长岩的矿物结晶顺序

矿 物	I	II
副 矿 物	—	—
钠更长石	—	—
黑 云 母	—	—
条纹长石	—	—
正 长 石	—	—
石英	—	—

I. 正岩浆阶段; II. 岩浆期(包括自变质作用)阶段

(4) 副矿物有磁铁矿、榍石、磷灰石、锆石、钛铁矿、金红石、独居石、磷钇矿等。它们在岩石中分布是不均匀的,但有一定的规律性。一般含钛的副矿物(包括含钛的磁铁矿)主要富集于黑云母花岗岩及钾长石花岗岩中;而富含稀有及稀土元素的副矿物(如锆石、独居石、磷钇矿等)则主要集中于石英正长岩及含石英正长岩等更偏碱性的岩石之内。磷钇矿往往具有较大的自形晶体,个别晶粒达 0.5—1 毫米,(110)解理明显,形成具(111)、(110)面的柱状晶体。

根据化学分析的结果(表 8、9,图 10),并与类似的碱性花岗岩平均化学成分(据 Daly, 1933)相比较,可以得出以下几点特征:

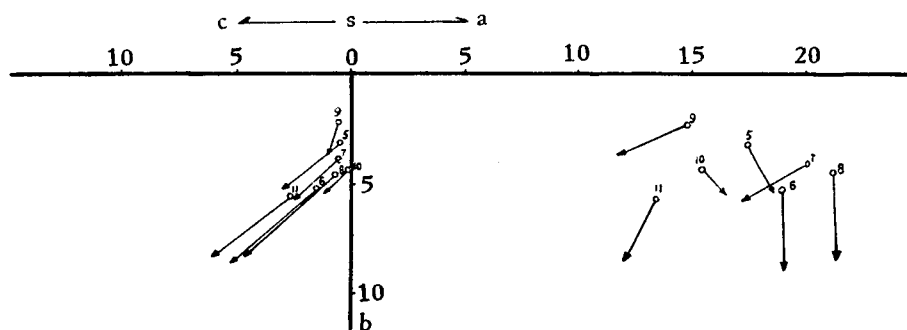


图 10 本区燕山晚期花岗岩类化学成分查氏向量图解

5. 黑云母花岗岩 6. 钾长石花岗岩 7. 石英正长岩 8. 含石英正长岩 9. 花岗岩
10. 碱性花岗岩(戴里) 11. 平均花岗岩(戴里)

1. 该次碱性花岗岩类属钙碱性系列中硅酸过饱和过碱性岩石;
2. SiO_2 含量偏低, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 总含量(10.57%)偏高;

表 8 本区燕山晚期花岗岩类的岩石化学成分

编 号	岩石产地	岩石名称	氧 化 物 重 量 百 分 数									
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
5	9号岩体	黑云母花岗岩	71.19	0.26	14.24	1.17	1.25	0.03	0.37	0.73	4.55	5.38
6	9号岩体	钾长石花岗岩	65.31	0.82	16.27	1.91	1.88	0.181	0.97	1.33	4.94	5.45
7	9号岩体	石英正长岩	66.31	0.58	16.96	2.34	0.84	0.04	0.40	0.48	5.37	5.89
8	9号岩体	含石英正长岩	64.95	0.68	16.95	1.62	1.42	0.15	1.05	0.63	5.60	6.12
9	7号岩体	花岗岩	76.90	0.06	13.02	0.37	0.91	0.02	0.19	0.40	5.98	1.65
10	据戴里	碱性花岗岩	73.30	0.11	12.33	2.58	1.28	0.22	0.26	0.46	4.55	4.20
11	据戴里	平均花岗岩	70.18	0.39	14.47	1.57	1.78	0.12	0.88	1.99	3.48	4.11

表 9

编 号	岩石产地	岩石名称	查 氏 特 征 数 值									
			a	c	b	s	a ²	f ²	m ²	c ²	n	Q
5	9号岩体	黑云母花岗岩	17.47	0.57	3.03	79.59	—	70.19	19.86	9.93	56.32	23.01
6	9号岩体	钾长石花岗岩	18.7	1.53	5.4	74.4	—	69.0	32.0	1.01	58.2	10.5
7	9号岩体	石英正长岩	20.1	0.6	3.94	75.4	29.6	70.0	17.2	—	57.7	10.0
8	9号岩体	含石英正长岩	21.1	0.75	4.6	73.8	—	61.2	38.4	0.44	52.9	4.4
9	7号岩体	花岗岩	14.76	0.45	2.20	82.57	32.16	53.21	14.6	—	84.72	35.19
10	据戴里	碱性花岗岩	15.6	0.1	4.1	80.2	—	79.4	11.1	9.5	62.2	39.1
11	据戴里	平均花岗岩	13.4	2.4	5.4	78.8	15.0	57.5	27.5	—	56	28.4

3. $K_2O > Na_2O$, 而戴里碱性花岗岩中却是 $Na_2O > K_2O$;

4. 基性组分 CaO 、 MgO 、 FeO 一般均偏高;

5. TiO_2 的含量显著偏高, 高于平均值约 5 倍以上, 故有含钛副矿物的普遍出现。

岩石的光谱半定量分析结果表明(图 11), 次碱性花岗杂岩缺乏铁族元素中的 Cr 和 Co , Ni 的含量也极低微, 这与该区燕山早期的闪长岩类有着明显的区别。稀有元素(包括稀土元素) Be 、 Nb 、 Zr 、 Y 、 Yb 等, 其绝对含量虽不高, 但大多高于或近于平均克拉克值, 可见其相对含量还是偏高的, 反映出次碱性花岗岩类的岩石-地球化学特征之一。造矿元素 Cu 、 Pb 、 Zn 比较广泛地存在。 Ba 和 Sr 虽亦遍存于岩石中, 但其含量均低于克拉克值, 它们可能呈类质同象加入到某些含钙的造岩矿物和副矿物之中。

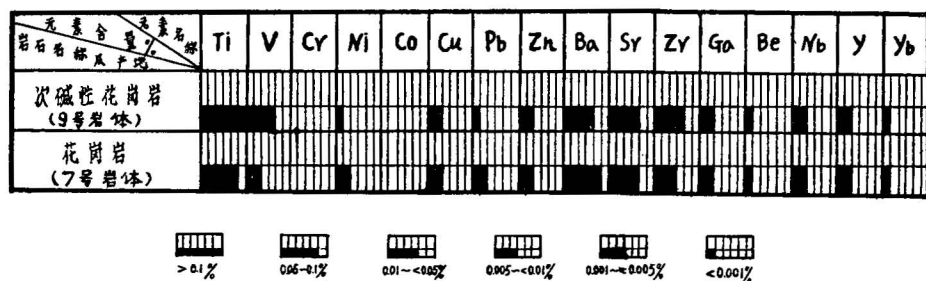


图 11 燕山晚期次碱性花岗岩类中的微量元素图解

7 号岩体为一面积不大(小于 3 平方公里)的岩枝体, 主要为肉红色细粒到中粒的浅色花岗岩。

镜下观察结果, 岩石主要由正长石、条纹长石、石英及酸性斜长石组成。暗色矿物甚少, 主要为黑云母。副矿物有磁铁矿、磷灰石、锆石、独居石等。其平均矿物成分含量如下:

钾长石	38%
斜长石(An_{5-12})	28%
石 英	30%
黑云母(部分白云母化)	2.5%
副矿物	1%

在不同地段, 矿物成分含量变化很大, 主要是由于后期钠长石化、钾长石化及硅化作用的发育程度不同所致。

在靠岩体边部的岩石中, 钠长石化作用特别发育, 交代成因的钠长石有时可达 20% 左右。

钾的交代作用在过渡相岩石中有所表现, 主要为斜长石被正长石交代, 使岩石中的斜长石大大减少, 仅少量残留。有时斜长石被交代呈不规则的条纹状连晶, 分布于正长石之中成“假条纹长石”。在钾长石化作用过程中, 对早期石英有明显地熔蚀现象, 石英被交代呈孤岛状分布于条纹长石之中, 但光性方位仍保持不变。与此同时, 常伴随着绢云母化和硅化作用。经强烈钾长石化和硅化后的细粒花岗岩, 颇近似于白岗岩的成分。

采自边缘相的一个化学分析结果表明, 其酸度略高于次碱性花岗岩, 而碱度则相对偏

低。但 Na_2O 大大地超过 K_2O , 反映出岩石具有钠质交代作用的明显特征。

该花岗岩的微量元素, 正如图 11 中所看到的, 无论在种类或数量方面均与次碱性花岗岩类极其相似, 表明它们之间具有一定的岩石-地球化学亲缘关系。

五、与成矿作用的关系

本区多期的岩浆活动, 给多次的内生成矿作用提供了有利的条件。

根据目前所掌握的资料, 某些黑色金属、有色金属矿产与燕山早期的中性闪长岩类有关; 而铁及某些稀有(稀土)元素的成矿作用, 可能与燕山晚期的次碱性花岗岩类有关。兹将本区岩浆岩侵入顺序、岩石类型及与其有关的矿产, 初步归结如下(表 10):

表 10 某地区侵入岩的分期、岩石类型及有关矿产简表

时 代	岩 类	岩 石 名 称	岩相及产状特征	有关矿产
燕山早期 (J_3 — K_1)	中性闪长 岩 类	闪 长 岩 含石英闪长岩	中浅成相不规则“小型” 侵入体	黑色金属 有色金属
		闪 长 玢 岩	浅成相或附加侵入相, 类岩墙状小侵入体	
燕山晚期 (K_1 — K_2)	次碱性花 岗 岩 类	黑云母花岗岩 钾长石花岗岩 石英正长岩 含石英正长岩	中-深成相, 沿区域性断 裂侵入的较大侵入杂 岩体	稀有元素 及铁等
		正 长 斑 岩	浅成相或附加侵入相, 脉状裂隙侵入体	

详细地研究本区的侵入岩及其有关矿产时, 不难发现: 与早期闪长岩类有关的矿产, 以砂卡岩型矿床为主, 以中温热液裂隙充填型的金属矿床为辅。前者多产于闪长岩——含石英闪长岩与石灰岩的接触带上, 或交代岩体中的石灰岩捕虏体而成矿; 后者则产于侵入体带或近侵入体带内, 沿一定方向的构造裂隙破碎带而矿化。后一类型的矿床, 既见于闪长岩中, 也见于闪长玢岩之中。

上述矿化作用与本区闪长岩类小侵入体之间, 不仅有着密切的空间关系, 而且也有着紧密的成因联系。与成矿有关的这些小侵入体具有一系列独特的岩石-岩相学及岩石化学特征。

它们一般为中深—浅成相的小型岩体, 多呈岩株、岩枝、岩瘤或类岩墙状小侵入体产出; 岩相无显著变化, 但后期蚀变交代作用, 特别是碱质交代作用明显。沿岩体和围岩的接触边缘, 常有一定的混染同化作用, 特别是与石灰岩接触处, 常形成更基性的岩石变种。

例如, 某岩体的北侧侵入到砂页岩中, 其南侧与石灰岩相接触, 并在接触带处的局部地段形成了磁铁矿砂卡岩。在自北而南横贯岩体的剖面上, 其 CaO 和 SiO_2 的变异曲线表明(图 12), 随着与石灰岩(已变为大理岩)的接近, 岩体中 CaO 的含量递增, 而 SiO_2 的含量递减, 同时岩石中的斜长石也更趋基性, 并往往出现一些反环带状构造的斜长石。这些现象, 一方面说明岩体形成时受同化作用的影响, 岩石有加钙和去硅的现象; 另一方面是否亦显示双交代作用在这些地段比较发育, 有利于接触带内砂卡岩矿床的形成。

同时, Fe_2O_3 在岩体中的分布是不均匀的, 但在岩体与石灰岩接触带的内侧一般具有

较高的分布量,并且向着已知的含矿接触带显示出递增的递度变化(图12)。岩体中的磁铁矿在分布上也有类似的趋势。毋庸置疑,这些现象的产生,一方面是与矽卡岩—磁铁矿

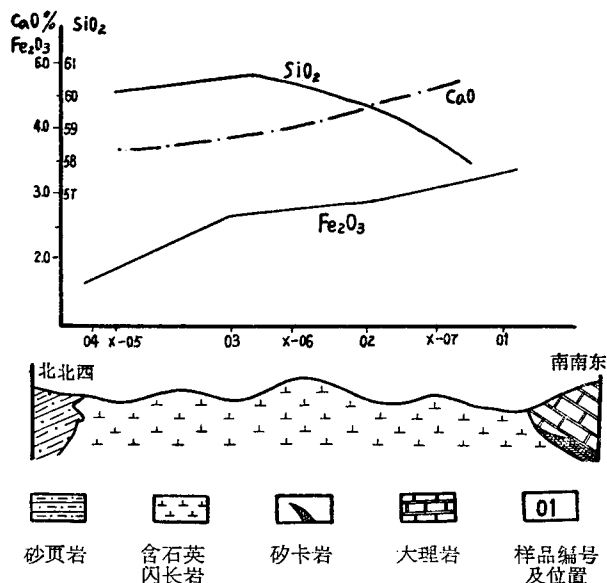


图12 某岩体-剖面上 SiO_2 、 CaO 及 Fe_2O_3 含量变化曲线图

化作用密切有关,是反映矿化过程中铁质富集方向的一种趋向性指示;另一方面,则可能与矽卡岩型铁矿床和碳酸盐同化作用的专属性有关。由于部分地同化了石灰岩而增加了岩浆中二氧化碳的组分,挥发组分的增加,无疑对于铁质的析出和集中有促进作用。

因此,可以认为岩体中 Fe_2O_3 及磁铁矿的含量向着与石灰岩接触带增高的梯度变化,结合其他地质因素综合分析,在一定程度上可以作为预测矽卡岩型铁矿的指示性标志。

本区闪长岩类岩石的地球化学特征表明,其主导的特征成矿元素(Cu 、 Fe 等)的含量,往往高于中性

岩类的平均含量。个别岩体中铜的含量比中性岩中铜的平均含量^[8] (3.5×10^{-3} —据 A. П. 维诺格拉多夫, 1962) 高达四倍。因此,可以认为本区闪长岩类的含矿性较高,同时也反映了侵入岩与成矿作用之间具有一定的内在联系。

值得特别指出的是,本区与成矿作用有关的闪长岩类小侵入体是富含碱质的 ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 的平均值为 8.73%, 正常值为 3.16%), 其中 Na_2O 的含量特别高(其平均值为 5.72%, 正常值为 2.26%), K_2O 的含量也有所偏高(其平均值为 3.0%, 高于正常值 0.89%)。已有的大量事实和有关文献的资料同样表明,当岩体中碱质的含量愈高时,则矿化的可能性也愈大。本区的实际情况也完全符合于这一结论。从本区以及邻区的某些含矿闪长岩类的岩石化学特征图解(图13、14)上,充分表明了这一点。

从图13和图14中可以看出,本区及邻区的含矿闪长岩类,其 α 值均在 12 以上,较一般正常闪长岩类为高;而 Na_2O 与 K_2O 的分子比多大于 2, 最高可大于 5。这种岩石中碱质增高的特征,与岩浆整个演化的进程,特别是与碱质交代作用的发育有关。我们的研究结果证明,早在自变质作用时期,碱质交代作用就已广泛发育,主要表现为钠长石化、钾长石化及黑云母化等作用;到热液活动时期,碱质交代作用仍继续表现,在矿化的局部地段钾质交代作用尤为发育。如该区某热液矿床中,矿脉两侧的闪长岩常伴随着强烈的钾长石化作用,甚至形成“钾长石化岩”。有理由认为,成矿溶液是富含钾的。碱金属元素(Na 和 K) 在该区闪长岩类的整个岩浆期后作用,特别是成矿作用过程中,对于造矿元素的迁移和富集具有重要意义。

目前已知的矿化作用,均晚于闪长岩类的侵入,二者虽有成因上的联系,但出露的闪

长岩类侵入体本身,并不是矿液的直接来源,矿液可能是与闪长岩类同源的深部岩浆分异的产物。

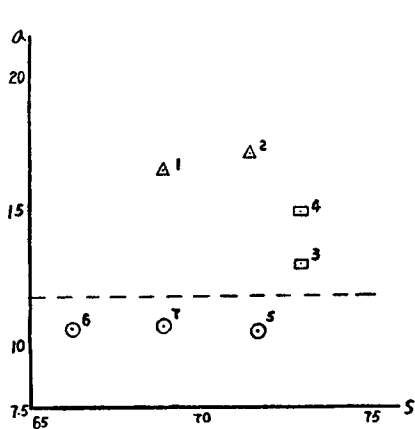


图 13 本区及邻区某些闪长岩体
 $a-s$ 值关系图解

1. 本区闪长岩(包括含石英闪长岩) 2. 本区闪长玢岩 3. 邻区石英闪长岩(甲) 4. 邻区石英闪长岩(乙) 5. 石英闪长岩(戴里) 6. 闪长岩(戴里) 7. 闪长岩包括石英闪长岩(戴里)

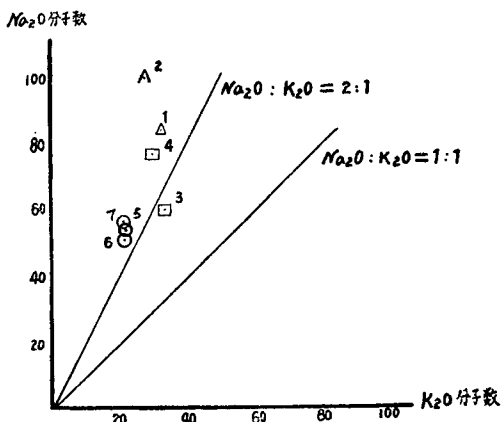


图 14 本区及邻区某些闪长岩体
 Na_2O-K_2O 分子数比值关系图解

1. 本区闪长岩(包括含石英闪长岩) 2. 本区闪长玢岩 3. 邻区石英闪长岩(甲) 4. 邻区石英闪长岩(乙) 5. 石英闪长岩(戴里) 6. 闪长岩(戴里) 7. 闪长岩包括石英闪长岩(戴里)

对于本区的燕山晚期次碱性花岗岩类,除了注意有关的铁矿及某些稀有元素以外,由于个别岩体中某些钙质围岩的俘掳体内,也呈现明显的接触交代磁铁矿化现象。说明当岩体与碳酸盐介质接触时,寻找某些矽卡岩型矿床,特别是铁矿床也是有希望的。

岩石的地球化学特征表明,该区次碱性花岗岩类中的 TR、U、Nb、Th、Zr、Y、Cu 等元素均具有较高的含量,其中某些元素有随着岩石碱度的增加而相对增高的趋势。这种情况符合于它们在岩浆演化进程中的一般富集规律。在寻找类似矿产时,对与矿化作用密切伴生的硅化、钠长石化、萤石化等蚀变作用必须给以充分的注意。但是,与这些元素有关的成矿作用还远未查明。因此,推测成矿的可能性时,不仅要注意成矿元素的绝对含量,而且还应注意其在剖面上的起伏和变化,以了解其赋存条件和富集规律。由于本区的次碱性花岗岩类碱质含量高,其 a 值在 15 以上,大于平均花岗岩的相应值(图 15),同时具有从花岗岩向正长岩演化的特征。因此,在其岩浆演化过程中在有利的条件下,发生局部聚集而成矿是有可能的。

此外,岩浆期后(包括自变质作用)的碱质交代作用,在该区次碱性花岗杂岩中的明显发育,也是比较特征的。岩体的边部以强烈的钠长石化作用为主,而中部则以钾长石化作用

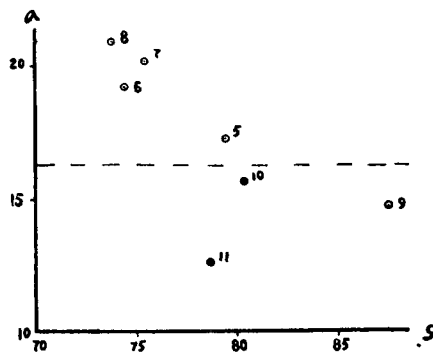


图 15 本区燕山晚期花岗岩类
 $a-s$ 值关系图解

5. 黑云母花岗岩 6. 钾长石花岗岩 7. 石英正长岩 8. 含石英正长岩 9. 花岗岩 10. 碱性花岗岩(戴里) 11. 平均花岗岩(戴里)

为主。因此,寻找碱性花岗岩中与不同蚀变岩石类有关的矿产,也是今后值得注意的问题。

六、結 論

1. 本区的侵入岩主要为燕山旋迴的产物,其侵入活动有多期性的特征。就目前的研究结果,至少可分为两期:燕山早期为中性的闪长岩类,以含石英闪长岩和闪长玢岩为代表,二者是同期异相的产物。其侵入时代肯定晚于早中侏罗世,可能形成于侏罗纪末至白垩纪初期。燕山晚期为次碱性花岗岩类,具有黑云母花岗岩—钾长石花岗岩—石英正长岩—含石英正长岩等一系列相互过渡的岩石种属。其侵入时代肯定是在早中侏罗世以后,并且晚于上述闪长岩类,可能形成于白垩纪时期。

2. 根据现有的区域地质、岩石学及岩石化学资料的分析,长江以南一带某些石英闪长岩及闪长玢岩可与本区燕山早期的闪长岩类相对比;而江北一带地区的若干石英正长岩和正长岩,则可能与本区燕山晚期的次碱性花岗杂岩属同期产物。它们无论在空间分布,地质构造控制条件及岩石—地球化学特征方面,都有十分相似之处。

因此,可以认为,该区燕山旋迴的两期岩浆活动具有一定的区域性意义。但是,长江中下游一带整个岩浆活动的规律,还有待更详细地查明。因为根据目前我们的观察和有关地质队的资料表明,长江中下游一带还有印支期和若干前侏罗纪花岗岩的存在,值得进一步加以研究。

3. 本区燕山早期的闪长岩类,主要为中—浅成相小侵入体,岩相变化不大;但混染同化作用,特别是岩浆期后(包括自变质作用)的碱质交代作用相当发育。在空间分布上明显受区域性的断裂构造所控制。

岩石以碱质含量($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 8.73\%$)特高为其鲜明的特征之一,同时对成矿作用也有重要的指示意义。在自变质作用时期,以钠长石化和钾长石化作用比较普遍;到热液矿化时期,则伴随着强烈的钾长石化作用。

根据目前的资料,与闪长岩类有关的矿产主要为接触交代矿床,其次为热液矿床。我们的研究结果和有关文献资料同样表明:除了其他因素以外,侵入岩中的碱质愈高,成矿的可能性也愈大。

4. 本区燕山晚期的次碱性花岗岩类,其特征是钾长石含量占绝对优势,铁镁矿物很少,属硅酸过饱和和过碱性岩石,其 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 平均为 9.86% , 而 $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$ 。由于岩浆结晶分异作用及部分同化作用的影响,同一岩体中往往出现从花岗岩到正长岩的不同岩石种属,它们的岩石—地球化学特征也有相应的变化。

与次碱性花岗岩类有关的矿产,除了铁矿及某些稀有元素以外,由于在这些岩体中钠长石化和钾长石化作用在不同地段相当强烈地发育,应当特别注意寻找与不同蚀变岩石类型有关的内生矿化作用。

参 考 文 献

- [1] 李锡之 1958年 对安徽铜山矽卡岩型铜矿的几点认识。地质论评,第18卷第2期。
- [2] 金兹布尔格 N. B. 等 1963年 花岗岩类的定量矿物成分及其对岩石学和命名问题的意义。地质译丛,第7期。

- [3] 科普捷夫——德沃尔泥柯夫 B. C. 等 1963 年 浅成花岗岩的建造。地质译丛, 第 1 期。
- [4] 索科洛夫 T. A. 1964 年 内生矿作用的某些问题及进一步研究途径。地质译丛, 第 3 期。
- [5] 黄汲清 1960 年 中国地质构造特征的初步总结。地质学报, 第 40 卷, 第 1 期。
- [6] 威廉斯 H. 等 1964 年 岩石学岩石薄片研究指导。中国工业出版社版。
- [7] 郭文魁 1957 年 论安徽铜官山铜矿成因。地质学报, 第 33 卷, 第二期。
- [8] 维诺格拉多夫 A. П. 1957 年 化学元素在地壳中分布的规律性。地球化学专辑, 第 2 辑, 地质出版社版。
- [9] Kuellmer, F. J. 1960 Composition variation of alkali feldspars in some intrusive rocks near Globe-Miami, Arizona. Econ. Geol. Vol. 55. pp. 557—562.
- [10] Kuellmer, F. J. 1958 Alkali feldspars in a tertiary porphyry near Hillsboro, New Mexico. Jour. Geol. Vol. 66.
- [11] Ерешеев, В. П. 1959 О калиевом метасоматозе в гранитах Юго-восточной Тува. Изв. АН СССР. Сер. Геол. № 10.
- [12] Мاستутов, Р. В. 1960 К вопросу об альбитизации гранитов. Мэс-АН. Казахский ССР. Сер. Геол. № 1.
- [13] Соболев, Н. Д. 1953 Автометаморфизованные граниты. АН СССР. Вопросы петрографий и минералогии “1”.
- [14] Слободской, Р. М. 1960 Рудные комплексы и металлогеническая специализация интрузий “На примере Северо-западного Алтая”. “Геология и Геофизика” № 1.
- [15] Чайковский, В. К. и Степанов, А. А. 1963 Некоторые особенности эндогенного рудного процесса. Советская геология. № 6.
- [16] Шахов, Ф. Н. 1960 О присхождении гранитных магм и рудных месторождений. “Магматизм и связь с ним полезных ископаемых” стр. 142—149. Москва.

A PRELIMINARY STUDY OF THE CHARACTERISTICS AND MINERALIZATION OF TWO-STAGE INTRUSIVES OF THE MIDDLE AND LOWER YANGTSE VALLEY

LI YING-YÜN FANG CHING-SHUANG CHENG TE-HAN
WU YEN-CHANG WANG SUNG-YU

(Abstract)

This district is one of the known promising mineralization areas of the middle and lower Yangtse Valley. Magmatic, especially intermediate and acidic intrusive rocks accompanied by endogenic mineralization on a large scale in this district are rather well developed.

The result of the present study shows that the magmatic complex here is mainly the product of intrusion during Yenshan cycle, and the intrusion is characterized by multi-stage development. In spatial distribution the rock body is obviously controlled by a regional tectonic structure in north-east direction. Quartz-diorite and diorite porphyrite are intruded during the early Yenshan cycle, both of them being of the same stage, but of a different phase. Subalkaline granitoid, including a series of rocks such as biotite granite—orthoclase granite—quartz syenite—nordmarkite, etc, belongs to the late stage of Yenshan cycle.

The diorite of the early stage of Yenshan cycle was found to be chiefly in the form of small meso-epiintrusive bodies characterized by a little facies change and a considerable development of contamination and assimilation, especially by hystermagmatic (including autometamorphism) alkaline metasomatism.

The high content of alkaline matter in the rocks ($K_2O + Na_2O = 8.73\%$) serves as a evident feature and at the same time can be used as an important indicator of mineralization. Both the result of our study and literature data concerned indicate that the more alkaline matter the intrusive rocks contain, the more chance of mineralization, without other factors to be considered. It is mainly contact-Metasomatic deposits of ferrous and non-ferrous metals and some hydrothermal deposits of rare and non-ferrous metals that are connected with the diorite.

The subalkaline granitoid of the late stage of Yanshan cycle is characterized by the predominance of orthoclase and a minor quantity of ferromagnesian minerals, presenting silicic supersaturated and peralkaline rocks. The average content of $K_2O + Na_2O$ in the granitoid is 9.86%, $K_2O > Na_2O$. Due to the influence of magmatic differentiation and partial assimilation there can often be found different rocks from granite to syenite in the same rock body with their inherent lithologic-geochemical characteristics.

Besides iron and some rare elements which are connected with subalkaline granitoid the attention should be paid to search for postmagmatic ore deposits in connection with alkaline feldsparized, silicified, fluoritized rocks, etc.