地 质 学 报
1985 年 ACTA GEOLOGICA SINICA 第 4 期

广西燕山期花岗岩体含矿（锡、钨）性判别及其演化

王韦玉　韦文灼
（广西有色金属地质研究所）

笔者在对广西的燕山期花岗岩采集较多大样，经多种测试对比后，发现某些元素的组合和矿物特征，可以作为区别含矿（指锡、钨）岩体与非含矿岩体的标志。上述标志在晚期侵入体中也比在早期侵入体中明显。对其原因，文中也进行了初步探讨。笔者认为，测定上述判别标志与研究岩体的演化程度，是锡、钨矿找寻工作中的一种重要方法和途径。

广西的锡（钨）矿床，多与燕山期花岗岩有关。但一部分燕山期花岗岩无锡（钨）矿化现象。故广西燕山期花岗岩体，可分为含矿的和非含矿的（均指锡、钨，下同）两类。有关文章认为[1)]，广西的花岗岩，难以按国内外通用的岩石化学参数将二者区分开。近年来，我们对区内 9 个燕山期花岗岩分布区[2)]中较大的岩体（约占总岩体数 50%），分别采集大样（样重超过 40 公斤），采用 13 种手段测试对比结果发现，岩石化学组成、岩石微量元素、造岩矿物中云母的化学成分、云母中锡、钨含量、磁铁矿与钛铁矿含量等五种手段对判别含矿岩体与非含矿岩体有意义，应用这些手段中部分变量的组合数据，可以对花岗岩的含矿（锡、钨）性作出明确的判别。锆英石晶面符号组合类型、灰色重砂中锡、钨含量等两种手段，可作判别的参考。而造岩矿物含量、长石有序度、斜长石延长率、其它副矿物含量、同位素组成特征、成岩温度等六种手段以及造岩矿物中钾长石和斜长石的化学成分等仅有理论意义，实际判别价值甚低。

一、含矿岩体与非含矿岩体的判别标志

1. 岩石化学成分、岩石微量元素及云母中锡、钨含量等27种变量中，采用对应分析及矢量长度法筛选变量时，均获得非常相近的结果，即锶，钡，TiO_2，MgO，CaO，FeO，Fe_2O_3 与非含矿岩体紧密组合。锡、钨、钽、铌、锂、铷、氟及云母中锡、钨与含矿岩体紧密组合。在对应分析主因子载荷平面图上，二者可得到明确的分群。

图 1 中的实线和圆点符号是岩石化学成分、微量元素与云母中锡、钨等 27 个变量对应分析主因子载荷平面图。虚线和三角形符号是剔除岩石化学成分后 16 个变量对应分析主因子载荷平面图。两个结果都表明上述两个组合群分离较清楚。在两群之间出现一

本文 1985 年 3 月收到，4 月改回，季国容编辑。
1) 郑传仑，1982，广西锡矿主要成矿条件的初步探讨。桂林冶金地质学院学报，第 4 期。
2) 本区共有 10 个燕山期花岗岩分布区。

个过渡群。某些变量由于不具备判别作用，故出现于过渡群中是正常的。少数岩体出现在过渡群中则说明单凭一种方法有时不能作出判别。图中 16 个变量的判别效果比 27 个变量要好。前者，图中基本上不出现无法判别的岩体。

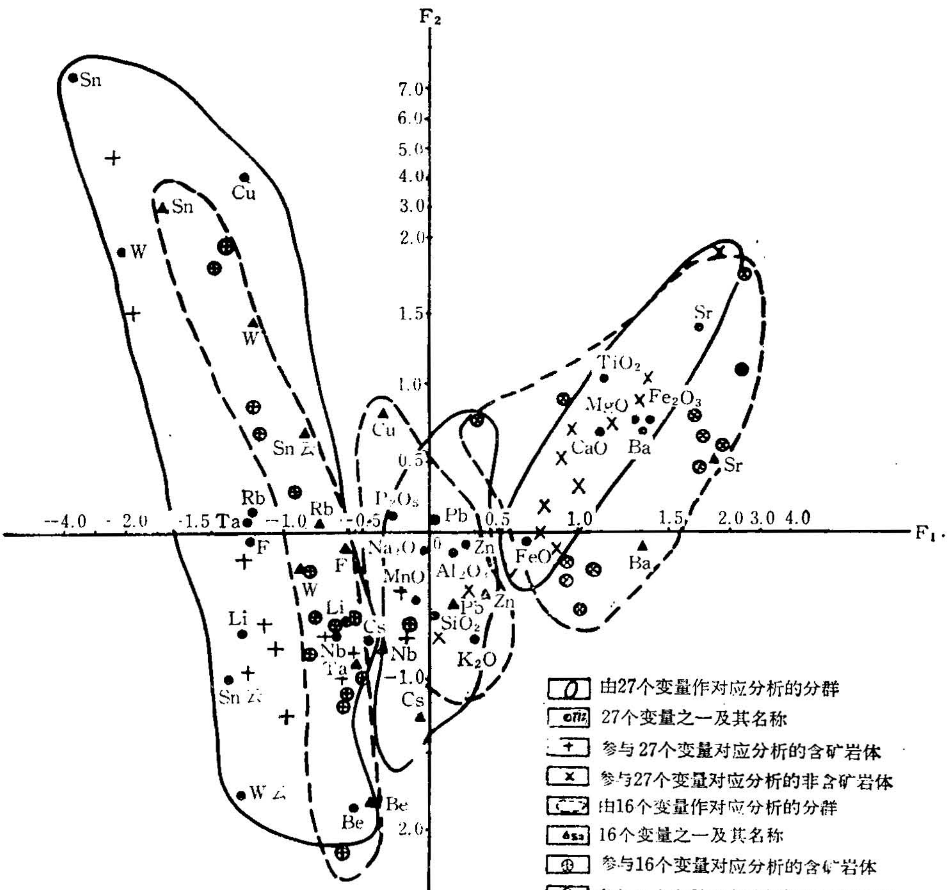

图 1　对应分析主因子载荷图

Figure 1　Diagram of the major loading of correspondence analysis

图 2 是含矿岩体与非含矿岩体的上述27个变量中被选上变量的连续数据矢量长度法与二态数据矢量长度法总积分曲线图。表明含矿岩体与非含矿岩体的差别是明显的。两种计算法分别采用总积分为 255 与 430 作判别分界值，对待判岩体的判别效果较好。少数待判岩体的两种计算法得到不同判别结果时，可再结合下列判别标志加以判别。

2.有关研究者提出的$(Na + K)/(Fe + Ti + R'')$，$(10^3 \times Li)/Mg$，Rb/Sr，TiO_2/Ta，K/Rb，$(Sr + Ba)/(Li + Rb + Cs)$ 等值也具有非常好的判别效果。其分界值为：$(Na + K)/(Fe + Ti + R'') > 3.3$；$(10^3 \times Li)/Mg > 98$；$Rb/Sr > 36$；$TiO_2/Ta < 114$；$K/Rb < 63$；$(Sr + Ba)/(Li + Rb + Cs) < 0.15$ 为含矿岩体。反之，为非含矿岩体。上

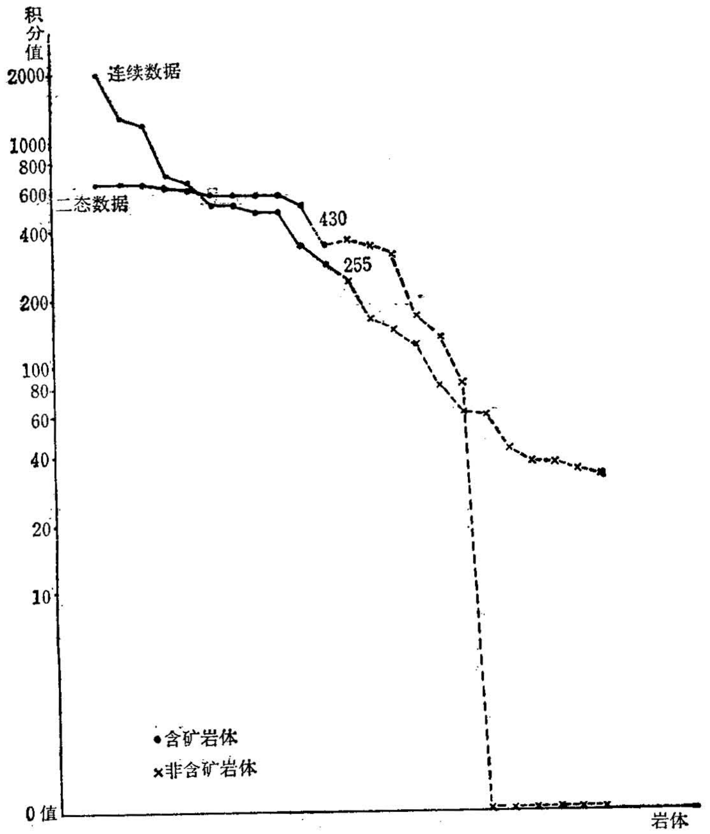

图 2　两种矢量长度总积分与岩体含矿性关系图

Figure 2　Diagram showing the relation between total integral of two vector length and metal-bearing potential for granitic bodies

列取值与国内外有关学者提出的稍有差异[1-2],1-2)。

图 3 是含矿岩体及非含矿岩体六种元素比值的直方图。图上较清楚地表明了对含矿岩体与非含矿岩体的区分效果较好。大部分待判岩体也能得到明确的判别。

3. 根据化学组成计算的云母种属及云母中锡、钨含量也是有效的判别标志。图 4 是本次所采含矿岩体和非含矿岩体中的铁镁云母亚族的种属（其余为含锂云母亚族和白云母亚族因比较少，故未包括在内)。其中铁叶云母与趋近于铁叶云母的铁黑云母，是含矿岩体的云母，云母中的锡、钨含量也高(表1)。镁黑云母、黑云母以及趋近于黑云母的铁黑云母是非含矿岩体的云母，云母中锡、钨含量也低。

4. 磁铁矿和钛铁矿含量，具有单方向的判别作用。即当磁铁矿、钛铁矿含量很高时，可作为否定标志；但含量低时，并不一定是含矿岩体。表 2 中含矿岩体的磁铁矿与钛铁矿含量都是低的；非含矿岩体虽大部分是高含量的，但也有一部分是低含量的，甚至是

1) 刘英俊，1982，华南花岗岩类中微量元素的地球化学。南京大学国际花岗岩和成矿关系学术讨论会论文。
2) Vinau. M. B. 等，1981，TiO_2/Ta 是含锡花岗岩分异程度的指示剂。宋诚译，地质地球化学，第 5 期。

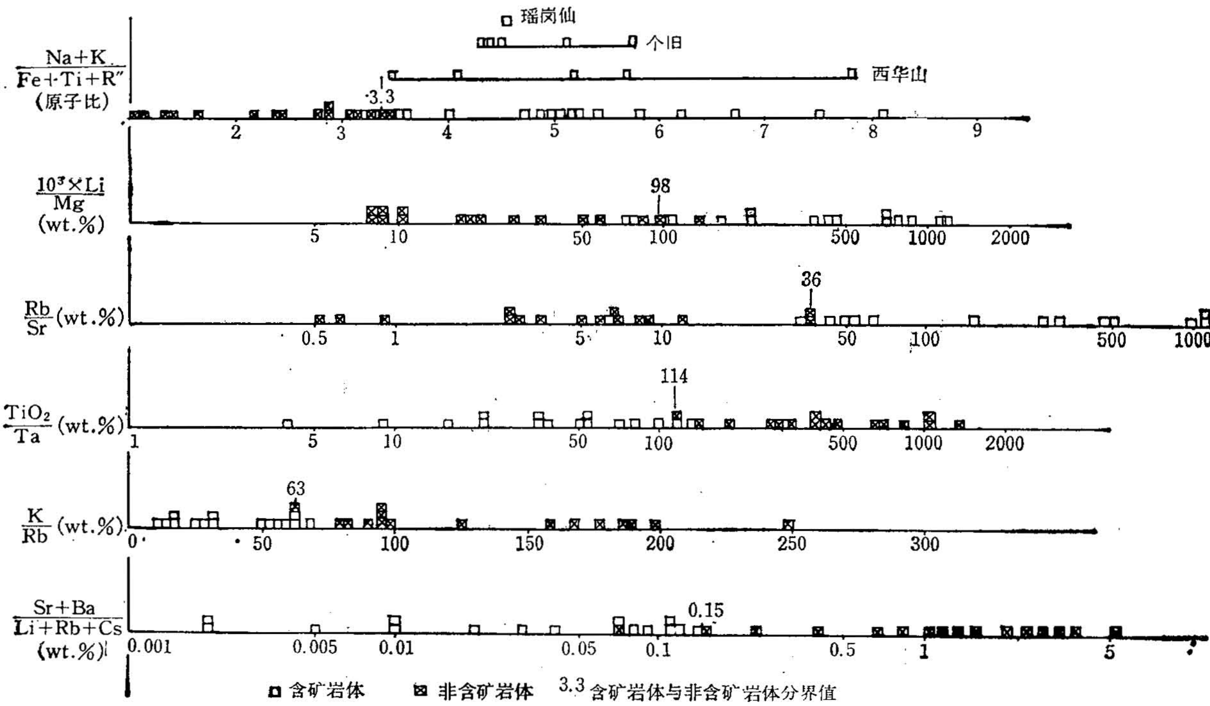

图 3 六种元素比值与岩体含矿性关系图

Figure 3 Diagram showing the relation between six element ratios and metal-bearing potential for granitic bodies

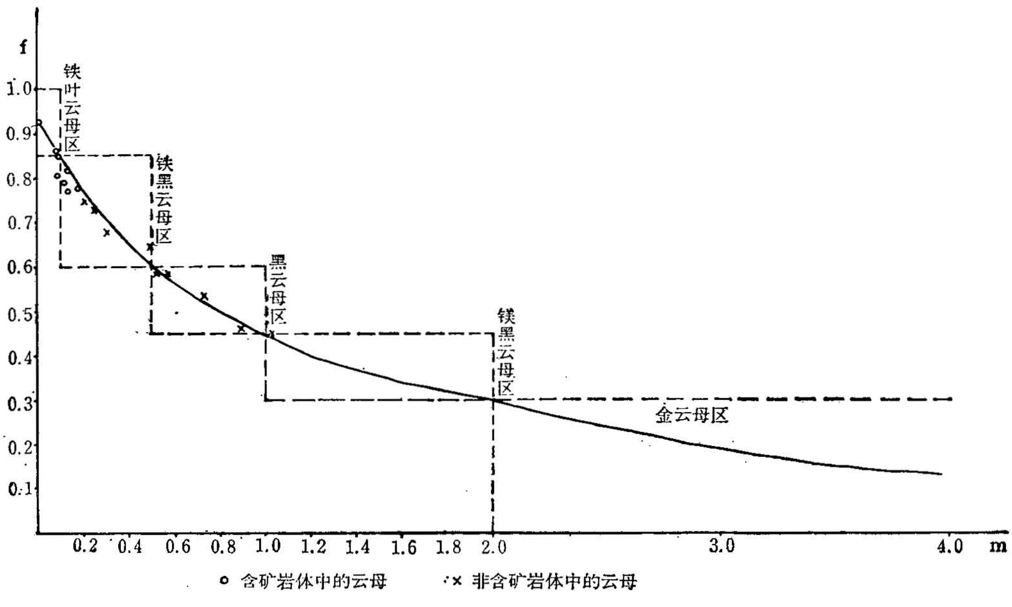

图 4 云母种属与岩体含矿性关系图

Figure 4 Diagram showing the relation between mica varitions and metal-bearing potential for granitic bodies

表 1　含矿岩体与非含矿岩体云母中锡、钨含量表

Table 1　Sn, W contents in the mica for the ore-bearing and barren granitic bodies

类别	顺序号	云母中锡含量 (ppm)	云母中钨含量 (ppm)
含矿岩体	1	183	78.2
	2	114	14.8
	3	403	72.4
	4	381	324.2
	5	48	110.6
	6	600	78.3
	7	379	105.9
	8	645	76.2
	9	519	74.3
	10	115	91.8
平均		339	102.7
非含矿岩体	1	52	19.8
	2	101	41.6
	3	26	7.9
	4	60	5.0
	5	11	0
	6	55	0
	7	249	11.8
	8	21	2.0
	9	52	12.0
平均		70	11.1

注：本表内容系我所分析结果。投产前曾进行物相分析方法试验，排除了锡石和黑钨矿单矿物包裹体的干扰。写有试验报告，结果满意、经验收后投产。其论文曾在 1983 年中国金属学会地质学术委员会的南京物相会议上发表。

不含磁铁矿和钛铁矿的。

运用上述判别标志，对已知岩体进行回判，最低判对率为 82.2%，最高判对率为 96.6%。综合判别，即以大部分标志为准，效果更佳。

通过对待判岩体的判别，我们发现区内从未引人注意的巴马岩脉群具有良好的含矿性。桂林冶金地质学院根据重力低及对应的低缓正航磁异常认为[1)]，该区有隐伏花岗岩存在。本次对地表岩脉的判别，提供了隐伏花岗岩含矿性好的信息。此外，初步认为目前已进行部分工作，但尚未打开局面的西屏山岩体的外围及资源片，燕山期花岗岩中的一类

1) 王玉梅，1983，个旧、大厂及其外围深部构造与花岗岩的关系及锡矿成矿远景预测。

表 2 含矿岩体与非含矿岩体的磁铁矿、钛铁矿含量表

Table 2 Contents of magnetite and ilmenite in the orebearing and barren granitic bodies

类别	顺序号	磁铁矿含量 (g/t)	钛铁矿含量 (g/t)
含矿岩体	1	微	微
	2	2.4	0.48
	3	2.0	微
	4	41.3	0
	5	0	0
	6	微	微
	7	0	0
	8	微	0
	9	微	微
	10	76.0	微
	11	52.4	0.14
平均		15.8	0.06
非含矿岩体	1	0.3	102.3
	2	219.5	12.8
	3	835.0	85.5
	4	3.4	1.3
	5	4911.0	25.2
	6	4651.2	456.0
	7	2390.0	0
	8	3762.2	528.0
	9	81.0	123.0
	10	5734.0	649.0
	11	3084.0	218.0
	12	2810.0	413.0
	13	1647.0	56.1
	14	微	0
平均		1931.8	190.2

(含白云母和黑云母属铁叶云母者)也可能有找矿远景。

二、广西几个花岗岩体的演化阶段

区域性花岗岩的演化，以地壳运动的大旋回为单位构成一个演化系列[3]。但一个局

部地区岩体的演化，初步认为，不宜以地质时代相距甚久的几个岩体作为一个演化系列，而应以复式岩体的几次入侵或一个岩体群之间侵入时代相差不远的先后或派生关系，作为一个演化顺序来研究。本文基于这一观点，探讨了岩体的演化规律与含矿(锡、钨)性之间的关系问题。

广西燕山期花岗岩，以姑婆山、花山、大厂、栗木、昆仑关、陆川等地区的岩体研究较详。本文根据有关资料，将上列岩体划分为若干个侵入阶段。划分的依据系根据下列现象中之 1—2 点，并要求其证据较为确凿可靠：

1.晚期小岩株呈不规则状侵入在主岩体中。

2.复合岩体的两期侵入体界线清晰，晚期侵入体蚀变了早期侵入体。

3.早期大岩体附近派生的晚期岩脉或小岩体，在岩性和空间关系上与大岩体有明显的联系。

4.形成较早的边缘相与形成较晚的内部相，有明显的岩性差别。

5.具较多的同位素年龄资料。

我们初步将姑婆山东体[1)]划分为顶部边缘相的含角闪石、富黑云母斑状花岗岩为第一阶段。主体粗粒及粗粒斑状花岗岩为第二阶段。主体中的小侵入体细粒花岗岩为第三阶段。姑婆山西体主体中一粗粒斑状花岗岩为第一阶段。主体中的小侵入体和主体侧部围岩中与前者岩性相同的细粒花岗岩小侵入体为第二阶段。

花山岩体侧部边缘相角闪花岗岩[2)]为第一阶段(因缺数据，图表中未列出)。主体粗粒斑状花岗岩为第二阶段。侵入于主体中的细粒花岗岩小侵入体为第三阶段。

大厂龙箱盖富黑云母斑状花岗岩为第一阶段。与之界线清晰并蚀变了前者的粒状花岗岩为第二阶段。主岩体周围派生的花岗斑岩脉为第三阶段。

对栗木岩株群的分期问题，有几种不同意见。中国地质科学院宜昌地质矿产研究所 1980 年提交的研究报告[3)]倾向于不分期。但 1981 年同一作者正式发表的论文[4]则划分为两期。一直在该区工作的广西冶金地质勘探公司二七一队主张分三期。我们同意分二期。理由是已发表的年龄资料[5,6],[4)]，属于该区的泡水岭、香坛岭、凤尾庄、水溪庙、金竹园等小岩体，有 9 个云母钾-氩法年龄中 174—185 百万年占六个，3 个为 189，235 和 248 百万年。4 个锆石铀-铅法年龄中 159—184 百万年占 3 个，另一个为 195 百万年。此外有几个全岩钾-氩法年龄均在 130 百万年左右，可能偏低。故多数属于燕山早期。老虎头岩体有 3 个云母钾-氩年龄为 104—130 百万年，这个岩体与其它岩体不同，它侵位较高和顶部具较大范围层状伟晶岩两个特点，我们初步认为属燕山晚期。

昆仑关岩体以主体中一粗粒花岗岩为第一阶段。侵入于主体中的细粒花岗岩小侵入体为第二阶段。陆川岩体与昆仑关岩体一样，划分为两个阶段。

---

1) 姑婆山岩体在形状上是一完整的圆形岩体，但根据岩性、含矿性及年龄资料，基本上取得统一认识，可划分为两期入侵的东半部岩体(即东体)和西半部岩体(即西体)。

2) 该类岩石与一般角闪花岗岩略有不同，其特点是，含角闪石，An10—An14 的斜长石明显多于钾长石。

3) 史明魁等，1980，广西栗木稀有金属花岗岩岩石学和地球化学。

4) 全国同位素地质年龄数据汇编小组，1975，全国同位素地质年龄数据汇编第一集。

表 3 各岩体不同阶段 9 种参数的变化

Table 3 Variation of nine parameters in different stages for each granitic body

岩体 / 参数	姑婆山东体			姑婆山西体		花山岩体		大厂岩体群			栗木岩体群		昆仑关岩体		陆川岩体	
	早	中	晚	早	晚	早	晚	早	中	晚	早	晚	早	晚	早	晚
(Na + K)/(Fe + Ti + R'')	1.65	2.83	4.0	2.14	3.9	3.06	5.2	3.15	4.2	0.68	7.6	15.4	2.3	3.96	1.5	5.2
$(10^3 \times Li)/Mg$	10	36	79	31	656	45	74	57	446	220	898	789	10	16	8	23
Rb/Sr	2.5	5.5	270	2.8	288	8	155	12	62	6.2	804	1145	0.9	2.7	0.6	8.0
TiO_2/Ta	316	733	113	660	19	275	129	300	37	22	63	4	58	45	1075	518
K/Rb	118	76	68	79	43	64	53	42	32	25	16	12	174	136	178	188
(Sr + Ba)/(Li + Rb + Cs)	1.20	0.83	0.02	1.36	0.068	0.58	0.03	0.65	0.09	0.14	0.017	0.002	2.27	1.11	3.18	5.74
连续数据矢量总长度	—	75.7	485.8	89.2	724.4	123.4	604.2	119.5	326.0	487.4	747.1	1924.4	58.2	93.0	35	113.2
二态数据矢量总长度	0	163.3	327.2	241.2	552.6	280.7	555.2	282.1	555.2	501.8	609.2	620.9	75.4	234.4	0	177.6
对应分析主因子值 (F_1)	—	0.58	0.17	0.82	−0.6	0.39	−1.17	0.35	−0.55	−0.66	−1.43	−2.6	0.88	0.22	1.41	0.61

注：本表中 Rb、Sr、Ba 的原始分析数据系贵州省地质矿产局中心实验室与本所两家分析，并得到验证。其它元素的原始数据均系本所分析。

三、不同阶段侵入体的演化规律

前述含矿(锡、钨)性的判别标志所以有较好的判别效果，系与岩体的演化有关。

对比上述七个研究较详的岩体的早、晚期(阶段)侵入体，发现前述判别标志呈现有规律的变化。与非含矿岩体紧密组合的变量，在早期侵入体中含量高；与含矿岩体紧密组合的变量，在晚期侵入体中含量高。六种元素比值及对应分析主因子 F_1 值、二态和连续

表 4　各岩体不同阶段黑云母中 $Mg/(Mg+Fe)$、Al^{VI} 锡含量的变化

Table 4　Variation of $Mg/(Mg+Fe)$ and six coordinated Al^{VI} as well as Sn contents in mica in different stages of gramitic body

岩体 \ 参数		Mg/(Mg + Fe)	Al^{VI}	Sn(ppm)
姑婆山东体	早	0.33	0	—
	中	0.25	0.059	52
	晚	0.08	0.168	114
姑婆山西体	早	0.31	0	72
	晚	0.08	0.774	116
花山岩体	早	0.28	0	175
	晚	0.14	0.002	381
大厂岩体群	早	0.69	0.367	89
	中	0.37	0.65	115
	晚	—	—	—
栗木岩体群	早	0.13	3.029	541
	晚	0.09	2.16	579
昆仑关岩体	早	1.0	0.46	21
	晚	—	—	52
陆川岩体	早	0.87	0	249
	晚	0.53	0.02	679

注：本表中云母常量元素的原始数据系中国有色金属总公司矿产地质研究院电子探针分析。锡系本所分析，方法同表 1 注。

数据总积分也随之发生相应的变化。表 3 是 9 种判别参数在各岩体不同阶段侵入体中的演变情况。从表中可见到几乎所有岩体均符合此演化规律。唯大厂第三阶段花岗斑岩有些数据异常。其原因是斑岩有一定程度碳酸盐化，促使钙、镁及与其正相关的锶钡增高，钾、钠及与其正相关的铷降低所致。

云母的种属均由高镁向低镁的方向演化。表 4 是各岩体不同阶段云母的 $Mg/(Fe+Mg)$ 值、Al^{VI} 及云母中含锡量的变化。从早期到晚期，前者下降，后二者上升。不同岩体的晚期云母有两种趋势：一种是相对富铝、铁，即在铁镁云母亚族中由高镁向高铁演化；一种是相对富铝、硅、锂，即从铁镁云母亚族演变为含锂云母亚族。前者与锡、钨矿化有关。如姑婆山西体、花山、大厂；后者与锡、钨、钽、铌矿化有关，如栗木。云母的种属和 $Mg/(Fe+Mg)$，Al^{VI} 演化不显著的岩体，则往往无矿。如姑婆山东体、陆川以及矿化较弱的昆仑关岩体。

四、含矿（锡、钨）性判别标志的形成机制

上述岩体的演化规律，实质上与徐克勤教授等提出的华南若干时代花岗岩呈现由中酸性向酸性富碱方向演化的总趋势是一致的[7]。只是岩体演化的变异比较微弱，岩性差别小，故必须借助其它微量元素并采用组合数据统计法或元素比值以及某些矿物特征，才能更好地把演化规律表现出来。

岩体演化遵循这种规律的原因，比区域性花岗岩的演化规律更易于解释，即岩体演化与岩浆结晶顺序的关系更为直接。岩浆结晶过程中，钛、铁、钙、镁等元素都进入早期生成的磁铁矿、钛铁矿、角闪石及黑云母等矿物中。而钾、钠等元素，都滞留到结晶晚期，故 $(Na+K)/(Fe+Ti+R'')$ 值很能反映演化程度而成为有效的判别标志。与上述元素有联系的微量元素随之发生相应的分异

例如，铷的地球化学行为与钾相似，都富集于岩浆结晶的晚期。但 Rb^+ 的离子半径略大于 K^+ 的，故在晚期钾长石中含铷较高，伟晶期可出现富铷的钾长石即天河石。因此采用 K/Rb 值能反映演化的程度。又如锶的性质与钙相似，所以在早期富集。由于锶的丰度远比钙低，因此演化分异后早、晚期岩体的差别更为明显。如采用 Rb/Sr 值，正好是两个相反方向演化的成分比，就成为非常灵敏的有效判别标志。钡与钾的性质也相近，可形成含钡长石，但钡比钾的碱性较弱，含钡高的钾长石出现较早，且钡与锶的化学性质很相近，故钡与非含矿岩体的元素紧密组合。

钽、铌、锡、钨等都是金属元素，与矿化剂元素氟等在伟晶期或岩浆期后富集。因此在演化晚期的侵入体中丰度高自然是合理的。故它们与含矿岩体紧密组合。如采用 TiO_2/Ta 值作判别指标，其灵敏度显然较高。

关于云母中锡的含量，初步认为可能与锡、铁的地球化学性质相似有关。Sn^{4+} 与 Fe^{3+} 的离子半径均为 0.67 Å±；负电性 Sn^{4+} 为1.9，Fe^{3+} 为1.8；Sn^{4+} 的配位数为 6，而 Fe^{3+} 为 6 和 4。所以 Sn^{4+} 能置换 Fe^{3+} 而进入含铁矿物中。如姑婆山西体接触带矽卡岩中的锡，据冶金工业部地质研究所研究报告表明1)，主要以置换钙铁榴石中铁的形式存在，一

1) 赖来仁等，1982，平桂矿区含锡矽卡岩锡的赋存状态研究报告。

般含量为 0.25—0.35% (国外有关的资料最高可达 5.8%)[8]。如前所述，含铁高的云母是花岗岩演化晚期的产物，这就为锡的置换创造了有利的条件。因此云母中的锡含量是有效的判别标志。云母中钨含量高也有效的原因尚不清楚。

通过以上资料可以看出，不论哪个岩体，上述判别指标表明，晚期矿化均比早期好。早期侵入体大多达不到含矿岩体标准。一般来说，早期含矿性较好的，演化到晚期往往更好，演化的程度愈显著者，矿化也愈好，上述判别标志也愈明显。单一的、演化不显著、不彻底的岩体，难以形成强的锡、钨矿化。因而测定上述判别指标和研究岩体的演化程度，是寻找锡、钨矿的一种重要方法和途径。

参　考　文　献

[1] Plimer, I. R, et al, 1979, The use of Rb/Sr ratios as a guide to mineralization. Journal of Geochemical Exploration, No. 1.

[2] Olade, M. A, 1980, 尼日利亚北部含锡花岗岩和不含锡花岗岩的地球化学特征。郑明华译，美国经济地质，第75卷，第1期。

[3] 南京大学地质系，1981，华南不同时代花岗岩类及其与成矿的关系。科学出版社。

[4] 史明魁等，1981，广西栗木稀有金属花岗岩的岩石学和地球化学特征。中国地质科学院宜昌地质矿产研究所所刊，第3期。

[5] 全国同位素地质年龄数据汇编编纂小组，1977，全国同位素地质年龄数据汇编，第二集。地质出版社。

[6] 全国同位素地质年龄数据汇编编纂小组，1983，全国同位素地质年龄数据汇编，第三集。地质出版社。

[7] 徐克勤等，1963，华南多旋回花岗岩的侵入时代、岩性特征、分布规律及其成矿专属性的探讨。地质学报，第43卷，第1，2期。

[8] Taylor. R. G, 1978, Geology of Tin Deposits. Amsterdamoxford New Yerk.

DISCRIMINATION OF Sn(W)-BEARTING POTENTIAL FOR THE YANSHANIAN GRANITES IN GUANGXI AND THEIR EVOLUTION

Wang Weiyu and Wei Wenzhuo

(Guangxi Institute of Nonferrous Metal and Geology)

Abstract

About half the Yanshanian granite bodies in Guangxi has been studied and samples were collected, each weighing over 40 kg. Laboratory investigations of the samples have shown that the Sn (W)-bearing and the barren granitis differ in certain petrochemical, geochemical and mineralogical characters, The discriminating criteria include the ratios of (Na+K) (Fe+ti+R"), $10^3\times$Li/Mg, Rb/Sr, TiO_2/Ta, K/Rb, (Sr+Ba)/(Li+Rb+Cs) (Fig. 3), the results of corresponding analysis and vector length calculation of 27 variables relating to thair petrochemical composition, trace-element geochemistry, Sn(W) contents in mica (Table 1), as well as 16 variables except those of petrochemical composition, and some characters of minerals such as varieties of mica (Fig. 4), and contents of magnetite and ilmenite (Table 2).

It is considered that the cause of effective discrimination of Sn(W)-bearing potential is in relationship with the evolution of granite bodies. Through detailed studies of some granites in Guangxi, it is noticed that the early and later granitic intrusives show a regular change in the discriminating criteria. The criteria of the later stage granites are very characteristic and mineralization is closely related to these rocks. On the contrary the early intrusive do not show characteristics of ore-bearing criteria.

It is also the simple intrusive bodeis without any sign of strong evolution that are unfavourable for mineralization. Therefore, determination of discriminating criteria and study of evolutionary degree of granites are of great importance and may provide an useful method and guide in the exploration for Sn and W deposits.