

西华山花岗岩岩石化学成分的演化

王传松 陈福珍 曹国梁

(江西地质科学研究所)



西华山钨矿以储量大、开采历史悠久而驰名中外。钨矿和稀土矿化, 主要与中生代重熔再生花岗岩在时空及成因上有密切联系。因此, 对西华山花岗岩的研究具有重要的理论意义和实际意义。

本文在地质调查研究的基础上, 对西华山复式花岗岩株各期次岩体, 以及主要成矿阶段——燕山期第二阶段的各次侵入体的岩石化学成分进行了统计研究, 进而探讨矿田的多次成岩成矿作

用及其演化规律。

地质概况

西华山花岗岩体位于江西省大余县城西北9公里, 是一个小型复式岩体。岩体出露面积约20平方公里, 侵入于由寒武系浅变质岩组成的轴向为北北东的向斜轴部。围岩是一套泥质、铁镁质、钙质的砂岩、粉砂岩及板岩。岩体与围岩呈明显的侵入接触, 接触热变质作用强烈, 构成一环形角岩化岩带。西华山钨矿床位于岩体的西南端。

西华山花岗岩成岩成矿期次划分表

表1

期	阶段	次	岩石名称	成岩同位素年龄(百万年) (K—Ar法)	岩体出露位置	产出形态	出露面积(km ²)	成矿期次	主要矿化	矿化强度	成矿同位素年龄(百万年) (K—Ar法)
燕山晚期 (T_3^1)	第一阶段		斑状细粒花岗岩(花岗斑岩)		中部	岩墙	1.4	第四	W, Sn, 硫化物	弱	131
	第三阶段	附加侵入 (T_3^{1b})	(含斑)细粒二云母花岗岩	139~145	东北、中部	小岩株	11.1	第三	W, Be, Mo	强	133~145
燕山早期 (T_3^{2-3})		主侵入 (T_3^{2a})	斑状中细粒黑云母花岗岩								
	第二阶段	附加侵入 (T_3^{2b})	中——细粒(黑云母)二云母花岗岩	150~160	西南部	小岩株	2.6	第二	W, Mo, Bi	最强	160
		主侵入 (T_3^{2c})	中粒黑云母花岗岩								
	第一阶段 (T_3^{1-1})		斑状中粒黑云母花岗岩	184 (162)	东部、东部西南边及顶部	残留顶盖	4.8	第一	W, Bi, Mo	中	

表 2

西华山各阶段岩体的岩石化学成分及其比较

阶段	样品数	统计量	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}}$	$\frac{\text{K}_2\text{O}}{\text{Na}_2\text{O}}$	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}}$	$\frac{\text{FeO}}{\text{MnO}}$	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}}{\text{MgO} + \text{MnO}}$
τ_1^{1-1}	9	$\bar{x}$ σ	74.61 0.92	0.10 0.06	12.69 0.32	0.35 0.43	1.73 0.37	0.07 0.01	0.45 0.17	1.19 0.33	3.39 0.16	4.71 0.18	0.05 0.03	9.21 0.26	1.39 0.09	0.15 0.18	23.8 6.2	2.60 0.56
τ_1^{2-2}	39	$\bar{x}$ σ	75.84 0.50	0.03 0.01	12.64 0.30	0.22 0.17	1.18 0.15	0.11 0.02	0.17 0.08	0.57 0.12	4.16 0.19	4.29 0.23	0.05 0.02	9.00 0.31	1.03 0.09	0.15 0.11	11.5 2.3	1.68 0.21
τ_1^{3-3}	14	$\bar{x}$ σ	75.47 0.80	0.05 0.02	12.69 0.39	0.34 0.26	1.25 0.40	0.10 0.05	0.27 0.26	0.68 0.23	3.83 0.31	4.52 0.37	0.07 0.07	9.05 0.50	1.19 0.17	0.22 0.17	15.0 6.9	1.96 0.46
τ_1^{4-1}	3	$\bar{x}$ σ	76.37 0.64	0.04 0.02	12.09 0.18	0.18 0.08	1.22 0.23	0.11 0.05	0.20 0.07	0.75 0.46	3.73 0.19	4.46 0.14	0.05 0.03	9.33 0.11	1.20 0.09	0.13 0.08	12.6 6.1	1.71 0.13
τ_1^{2-1} 与 τ_1^{3-2} 的比较	48	$ t $ *	5.4	6.8	0.4	1.4	7.0	5.6	7.2	9.2	11.0	6.0	0	1.3	6.0	0	4.8	5.1
τ_1^{2-2} 与 τ_1^{3-3} 的比较	53	$ t $ *	2.0	4.6	0.5	1.9	0.9	1.1	0.2	2.2	4.6	2.7	1.6	0.6	4.3	1.71	2.8	3.0

* $t_{0.05} = 2.0$, $t_{0.1} = 1.7$ 。

根据不同侵入阶段花岗岩体间的侵入接触关系(包括所属岩脉、矿脉的截切关系),同位素年龄以及岩石学等资料,可将该花岗杂岩体划分为四个侵入阶段(表1),均属燕山期侵入活动的产物。每次花岗岩的侵入,均伴有规模不等的脉岩贯入和含矿石英脉充填。

各阶段岩体岩石 化学成分特征

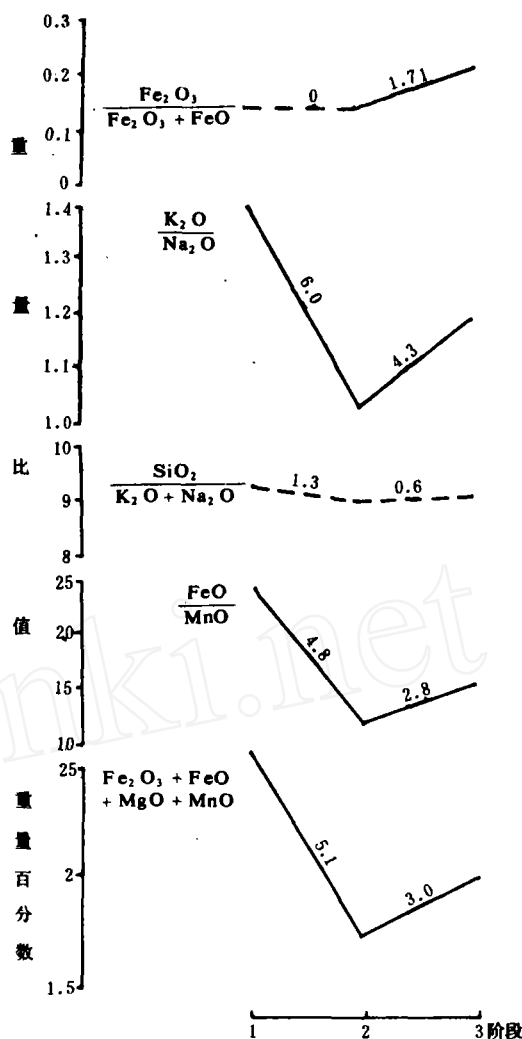
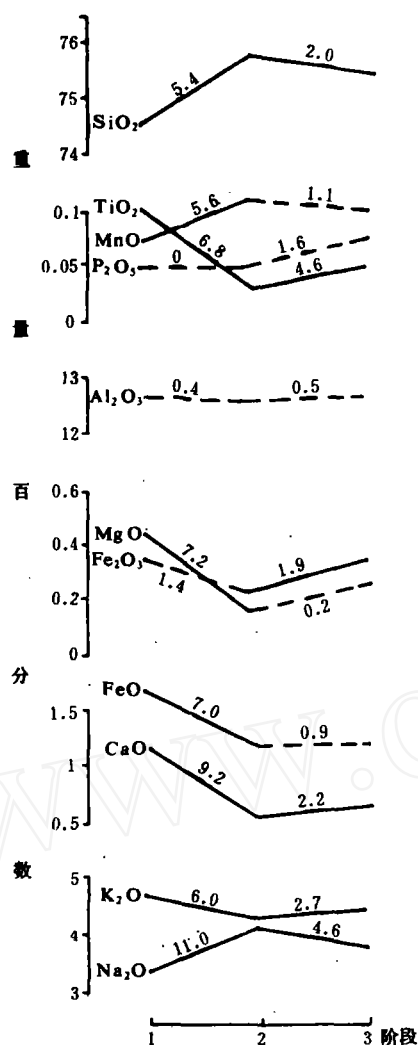
(一) 岩石化学成分的演变

西华山复式花岗岩体各阶段岩石化学成分的平均值($\bar{x}$)、标准离差(σ)列于表2。

表中岩石组分的变化,包含有偶然的因素,为了判断各阶段岩石化学成分是否真正存在着差异,我们采用数理统计方法,对相邻两个阶段的岩石化学成分进行平均值对比的 t 检验,计算结果如表2,并以图表示。图中虚线或实线上方注明统计量 t 的绝对值。如果 $|t| > t_{0.05}$ (显著性水平 $\alpha = 5\%$),则认为在两阶段中该氧化物平均含量有显著的差异,如 $t_{0.1} < |t| < t_{0.05}$,则认为两阶段有差异,但差异不显著。上述两种情况均表示该组分存在差异变化,在数字的下方用实线相连。若 $|t| < t_{0.1}$,则认为该组分在两个阶段中无显著性差异,在数字的下方用虚线相连。

1. 氧化物平均含量的对比: 自第一阶段至第二阶段形成的岩石中, SiO₂, Na₂O, MnO 含量显著增加, TiO₂, MgO, FeO, CaO, K₂O 的含量显著降低。Fe₂O₃ 含量无显著变化。

自第二阶段至第三阶段形成的岩石中, TiO₂, CaO, K₂O 的含



西华山各阶段花岗岩体岩石化学成分的演化图

量显著增加, Na_2O , SiO_2 的含量显著降低。 Fe_2O_3 含量略有变化。 MnO , MgO , FeO 含量无显著变化。

P_2O_5 , Al_2O_3 在岩体各阶段含量稳定, 无显著变化。

纵观燕山早期各阶段花岗岩的平均化学成分, 在时间上的变化有如下特点:

许多氧化物平均含量变化曲线在第二阶段花岗岩处都有一个显著的拐点——最高点或最低点, 并以 SiO_2 , Na_2O 含量最高, TiO_2 , CaO , K_2O 等含量最低为特点。表明燕山早期由 γ_3^{2-1} → γ_3^{2-2} 花岗岩, 岩浆向高酸、富碱性演化并到达顶峰。然而, 由 γ_3^{2-2} → γ_3^{2-3} 岩浆的酸、碱度又

趋于降低, 相应地 TiO_2 , CaO , K_2O 也略有增加, 但其组分降低或升高的程度, 都没有超过 γ_3^{2-1} 花岗岩中的含量。显示出燕山早期各阶段花岗岩的岩石化学特征, 从 γ_3^{2-1} → γ_3^{2-2} → γ_3^{2-3} , 其 SiO_2 , Na_2O 含量由低 → 高 → 略低, 而 TiO_2 , CaO , K_2O 等的含量, 则由高 → 低 → 略高, 呈跳跃式演化发展, 但其演化的总方向, 仍然显示向高硅、富钠方向演化的趋势。

2. 某些元素组合及比值的对比: 从表 2 和图所列的元素组合及比值可看出:

$\text{Fe}_2\text{O}_3 / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$ ——氧化系数, 自第一阶段至第二阶段保持不变, 但在第二阶段至第三阶段有提高, 标志着第三阶段的岩浆作用是在

氧逸度高的物理化学条件下进行的。

K_2O/Na_2O 的比值在第二阶段急剧降低,但第三阶段又显著升高。上述比值的变化,反映不同长石之间的交代作用的变化。

FeO/MnO 与 $(Fe_2O_3 + FeO + MgO + MnO)$ 元素组合和 K_2O/Na_2O 在各阶段有类似的变

化。上述变化与各阶段岩体暗色组分含量的变化有关。

$SiO_2/(K_2O + Na_2O)$ ——酸碱比值,在各阶段变化不显著。说明在岩浆作用的整个过程中,酸碱比值基本上保持稳定。

(二) R 式因子分析 表 3 列出了三个阶段

各阶段岩体岩石化学组分 R 式因子分析主要结果

表 3

阶段	F_1		F_2		F_3		F_4		F_5		F_6		占总方差%
$r_{\frac{1}{2}-1}$	TiO ₂	0.95	Fe ₂ O ₃	0.92	MnO	0.85							78
	FeO	0.87	MgO	0.91	K ₂ O	-0.67							
	CaO	0.80	P ₂ O ₅	-0.65									
	Al ₂ O ₃	0.64	Na ₂ O	-0.64									
	SiO ₂	-0.94											
	Na ₂ O	-0.57											
$r_{\frac{1}{2}-2}$	FeO	0.84	Fe ₂ O ₃	0.48	Na ₂ O	0.93	MnO	0.87	CaO	0.88	SiO ₂	0.70	82
	MgO	0.45	P ₂ O ₅	-0.79	TiO ₂	0.50	Fe ₂ O ₃	-0.65	MgO	-0.64	TiO ₂	-0.92	
	SiO ₂	-0.48	K ₂ O	-0.70	K ₂ O	-0.45			TiO ₂	0.48			
$r_{\frac{1}{2}-3}$	CaO	0.96	K ₂ O	0.63	Na ₂ O	0.82	TiO ₂	0.82					82
	FeO	0.95	MnO	-0.86	Al ₂ O ₃	0.76	P ₂ O ₅	-0.82					
	SiO ₂	-0.77	MgO	-0.90									
	Fe ₂ O ₃	-0.59	Fe ₂ O ₃	-0.58									

岩体岩石化学组分 R 式因子分析的主要结果。这些公因子已能说明样品总变化的 80% 左右。

三个阶段的第一公因子 F_1 的主要元素组合都显示 SiO_2 与 FeO , CaO 或 MgO 呈反消长关系,标志着这些组分与 SiO_2 的分离。说明各阶段岩体最重要的岩浆作用是分异作用。虽然每个阶段具体的分异机制不同,但都包含有 SiO_2 与 FeO , CaO 或 MgO 组分的分离。

三个阶段的第二公因子 F_2 中, Fe_2O_3 以及 MgO , MnO 等暗色组分与 K_2O , Na_2O , P_2O_5 等浅色组分呈反消长关系。这是岩浆另一种重要的结晶分异作用。

第二阶段岩体岩石 化学成分的演变

西华山岩体主要成岩成矿阶段——第二阶段包括主侵入体——附加侵入体——脉岩。在主侵入阶段的晚期伴随有强、弱不等的钾长石化。

(一) 第二阶段岩体岩石化学成分的演变

表 4 列出了第二阶段各地质体岩石化学成分的平均值 ($\bar{x}$) 和标准离差 (σ), 及各地质体之间岩石化学成分平均值的 t 检验结果。

岩体自主侵入体向附加侵入体演变, SiO_2 显著增加, FeO , MgO , K_2O 等显著降低。

自附加侵入体向脉岩演变的过程中 SiO_2 显著增加, Al_2O_3 , FeO , MnO , CaO 等显著降低。

在主侵入体向附加侵入体演变的过程中, K_2O/Na_2O , FeO/MnO , $Fe_2O_3/(Fe_2O_3 + FeO)$ 及暗色组分 ($Fe_2O_3 + FeO + MgO + MnO$) 都降低, 标志着附加侵入体在较还原的物理化学环境下形成, 钠长石化较发育, 岩石中造岩矿物的暗色组分相对减少。

主侵入阶段晚期的钾长石化带, 由于经过钾化等蚀变, 一些组分与周围存在着显著的差异。 SiO_2 , FeO , MnO 含量急剧降低, K_2O , Na_2O , Al_2O_3 的含量显著增高。此外, $Fe_2O_3/(Fe_2O_3 + FeO)$, FeO/MnO , K_2O/Na_2O 的比值与主侵入、附加

表 4

第二阶段岩石化学成分及其比较

地 质 体	样 品 数	统 计 量	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}}$	$\frac{\text{K}_2\text{O}}{\text{Na}_2\text{O}}$	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}}$	$\frac{\text{FeO}}{\text{MnO}}$	Fe ₂ O ₃ + FeO + MgO + MnO
主 侵 入 (τ_1^{1-2})	21	$\bar{x}$ σ	75.64 0.37	0.03 0.09	12.61 0.31	0.25 0.15	1.23 0.14	0.10 0.01	0.19 0.09	0.58 0.12	4.15 0.21	4.37 0.15	0.05 0.02	8.88 0.27	1.06 0.07	0.16 0.09	12.35 1.74	1.77 0.17
附加侵入 (τ_2^{1-2})	18	$\bar{x}$ σ	76.07 0.54	0.03 0.01	12.68 0.29	0.19 0.18	1.13 0.13	0.11 0.02	0.14 0.06	0.55 0.11	4.18 0.15	4.19 0.26	0.05 0.02	9.10 0.31	1.00 0.09	0.13 0.12	10.48 2.43	1.57 0.20
脉 岩	4	$\bar{x}$ σ	76.84 0.57	0.02 0.01	12.16 0.26	0.32 0.11	0.89 0.14	0.07 0.05	0.17 0.06	0.38 0.14	4.07 0.59	4.31 0.79	0.04 0.01	9.18 0.25	1.22 0.29	0.26 0.03	17.6 9.9	1.45 0.24
钾长石化 岩 石	9	$\bar{x}$ σ	67.88 3.72	0.03 0.01	17.12 2.30	0.25 0.17	0.68 0.25	0.04 0.02	0.13 0.06	0.65 0.17	4.79 0.71	7.58 1.68	0.05 0.02	5.67 1.44	1.63 0.50	0.28 0.19	23.28 18.26	1.10 0.28
主侵入体与附 加侵入体比较	39	$ r $	2.9	0	0.7	1.1	2.2	2.0	2.0	0.8	0.5	2.6	0	2.3	2.3	2.7	2.7	3.3
附加侵入体 与脉岩比较	22	$ r $	2.4	1.7	3.2	1.3	3.1	2.5	0.8	2.5	0.7	0.5	0.9	0.5	2.6	2.1	2.6	1.0
主侵入体与钾长 石化岩石比较	30	$ r $	9.1	0	8.5	0	7.3	10.6	1.8	1.2	3.6	8.4	0	9.5	4.9	2.3	2.6	7.8
附加侵入体与钾 长石化岩石比较	27	$ r $	8.8	0	7.7	0.8	5.9	8.2	0.1	1.8	3.4	8.0	0	9.3	5.0	2.4	2.8	4.8

* $t_{0.05} = 2.1, t_{0.1} = 1.8$.

侵入体比较有明显升高,而 $\text{SiO}_2/(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ 及暗色组分($\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}+\text{MgO}+\text{MnO}$)则急剧降低。由此可以推想,钾长石化蚀变作用是在氧逸度较高的条件下进行的。经过这种作用,岩浆的酸度降低,暗色矿物减少,碱度增加。

(二) 各地质体岩石化学组分的相互关系— R 式因子分析 表5 列出了主侵入体、附加侵入体和钾长石化岩石 R 式因子分析的主要结果。所列公因子的方差贡献累计都在80%以上。

在主侵入体和附加侵入体的第一公因子 F_1

第二阶段岩体岩石化学组分 R 式因子分析主要结果

表 5

地质体	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	占总方差%
主侵入体	FeO 0.74	TiO_2 0.78	Al_2O_3 -0.86	Fe_2O_3 0.63		80
	SiO_2 -0.81	K_2O -0.74	MnO -0.84	CaO 0.51	P_2O_5 0.96	
		Na_2O 0.73		MgO -0.93		
附加侵入体	Al_2O_3 0.91	Na_2O 0.88				81
	SiO_2 -0.91	K_2O -0.59	P_2O_5 0.72	Fe_2O_3 -0.94	FeO -0.83	
	CaO 0.56	MgO 0.70	MnO -0.83		TiO_2 -0.62	
钾长石化岩石	FeO 0.88					79
	Al_2O_3 -0.81					
	SiO_2 0.81	Fe_2O_3 0.94	Na_2O 0.89	CaO 0.88		
	K_2O -0.79		MgO -0.88	TiO_2 -0.77		
	MnO 0.76					

的特征元素组合中, SiO_2 分别与 FeO 和 Al_2O_3 , CaO 呈反消长关系, 说明成岩序列各演化过程主要表现为 FeO , CaO , Al_2O_3 等组分与 SiO_2 的分离。这是岩浆分异演化最主要的一种表现形式。而在主侵入体成岩过程中, SiO_2 与 FeO 的分离更为突出; 进入附加侵入体成岩时, 由于岩浆中 FeO , MgO 已大量减少, 成岩演化以 SiO_2 与 Al_2O_3 , CaO 的分离显得更为重要。

在其他公因子中, 两次侵入的特征元素组合亦存在某些类似之处。例如, 公因子 F_3 中都包含 MnO , 并且因子载荷绝对值达0.80以上。说明第二阶段自主侵入到附加侵入的两次侵入之间既存在各自的特殊性, 又有继承性。

在钾长石化的公因子特征元素组合中, F_1 以 SiO_2 , FeO , MnO 与 Al_2O_3 , K_2O 呈明显的反消长关系为特征。其他公因子的特征元素组合与主侵入和附加侵入很少存在共同之处。另外, 把岩石化学成分与主侵入体、附加侵入体作比较, SiO_2 , FeO , MnO 急剧降低, Al_2O_3 , K_2O ,

Na_2O 大幅度增加。综合上述结果, 可以推测, 伴随着钾长石化的蚀变作用, 硅、亚铁、锰转入溶液, 从而改变了热液的物理化学性质, 大大增加了溶液中 Fe^{2+} , Mn^{2+} 离子的浓度, 为钨锰铁矿的沉淀富集成矿提供了条件。

从西华山各阶段花岗岩岩石化学成分的变化规律可以推论: 西华岩花岗岩系同源多阶段侵入的复式岩体, 但以第二阶段岩体的岩浆分异演化最为完善, 矿化最好。而各阶段岩体之间, 从早阶段到晚阶段, 不存在由成岩向成矿方向演化的关系。而在一个阶段岩体中, 随着岩浆分异作用的进行, 出现由成岩向成矿方向演化的明显趋势。因此, 认为西华山矿田由多次成岩伴随着多次成矿的观点是合理的。

文中所用资料是引用我所西华山钨矿地质专题组的。工作中还得到该组全体同志的热情支持和帮助, 特别是梅勇文工程师提出了许多宝贵的意见和建议。李亿斗高级工程师仔细审阅了原稿, 提出指导意见, 在此一并致谢。