

裂方向基本一致。这种吻合的特点可用库伦—莫尔强度理论解释。在实验条件相似的情况下,选择一个合适的 n 值(即把外力扩大适当的 n 倍),外力作用的结果就可以达到这样一种临界值,能满足:

$$\tau_{\max} = 1/2 (\sigma_3 - \sigma_1) = \kappa$$

式中 $\tau_{\max}$ —最大剪应力;

$\sigma_3 - \sigma_1$ —主应力差,即图10b中等值线;

κ —岩石的剪切破裂强度极限。

于是,破裂首先在强度极限较小,而在实验模型中获得较大的主应力差值的岩(矿)石中发生(表2)。特别是它们之间的界面附近,更易于产生破裂,于是破裂展布的方向就可能与主应力差等值线的展布方向相一致。

5.主应力差等值线的展布形态与所处部位矿体延展特征基本一致。

通过数学模拟和地质研究认为,矿田内形变破裂是在原有的构造格架基础上经过燕山晚期构

实验模型内各类岩(矿)石与石英闪长岩的主应力差及破裂强度比值一览表

表 2

类 别	石英闪长岩	磁铁矿	夕卡岩	大理岩	角 岩
实际主应力差比值	1	1.1	1.22	1.22 ±	1.1 ±
破裂强度极限比值	1	0.453	0.29	0.316	0.96

造应力场的作用形成的。它有两种表现形式:一是具燕山晚期自身构造的展布特征;二是利用改造了原来接触带。这两种断裂对矿液活动都起着导矿和储矿作用,它们是成矿的重要控制因素之一。

此项工作得到李东旭副教授和有关方面的支持帮助,谨此致谢。

主要参考文献

- [1] 曾庆丰等, 1981, 矿田构造与成矿, 地质出版社。
- [2] 曾庆丰, 1981, 科学通报, No. 3
- [3] 曾庆丰, 1975, 地质科学, No. 4

[4] 地质力学研究所, 1977, 岩组分析方法文集, 地质出版社

[5] 林新多等, 1981, 同[1]。

[6] 罗焕炎, 1978, 国外地质, No. 9

[7] 刘承祚, 孙惠文, 1981, 数学地质基本方法及应用, 地质出版社

[8] 田桂珍, 1981年, 数学地质与方法, 煤炭工业出版社

[9] Fairbairn H.W., 1981, Structural Petrology of Deformed Rock (岩组学), 地质出版社

[10] Лускин Л. И., 1965, Микроструктурный анализ, ИЛ, «Наука»

浙江两个成因系列花岗岩类之划分与成矿的关系

方大钧 蔡蕙兰

笔者在徐克勤教授等对华南两个成因系列花岗岩类划分的基础上,根据浙江省的实际资料,比较了丽水—上虞断裂带西侧陆壳改造型和东侧地壳同熔型两种成因系列花岗岩类的岩石化学、地球化学、矿物学、岩体地质等的特征及其成矿规律;论证了丽水—上虞断裂带两侧两类成因系列花岗岩类的主要差异。

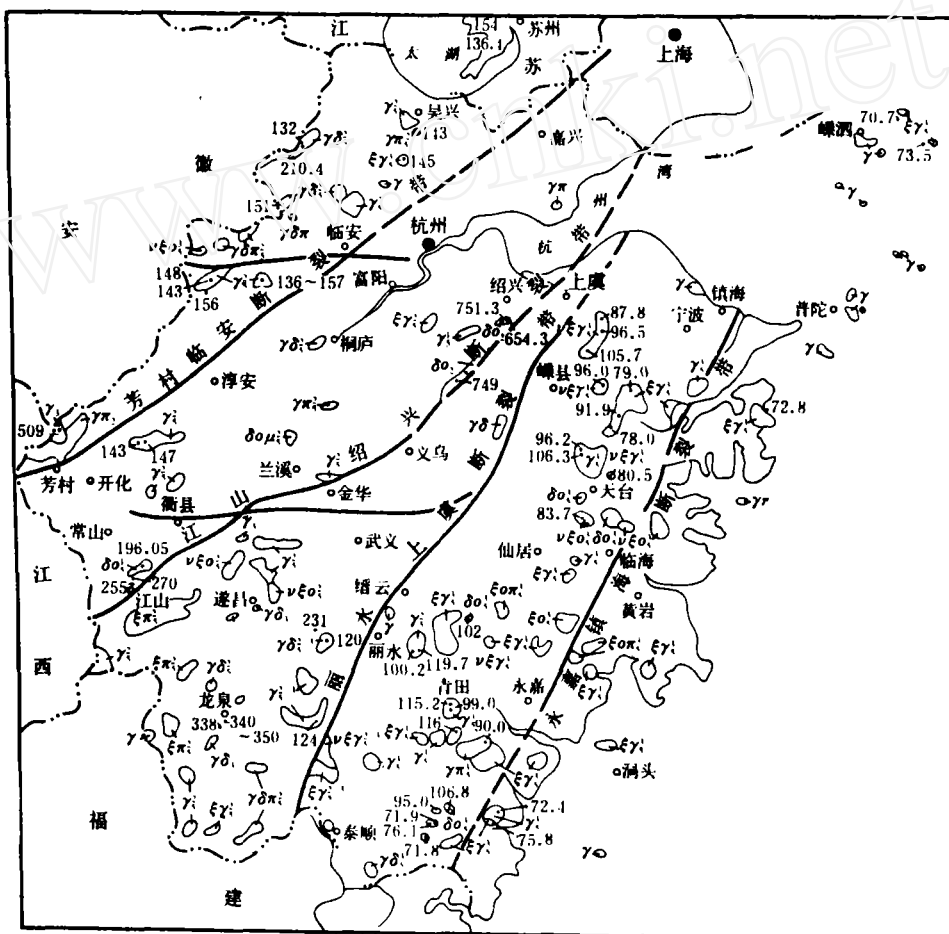
浙江花岗岩类的时代的分布特征

花岗岩类岩石在浙江省分布颇为广泛。根据区域构造运动特征、岩体与地层的接触关系、同位素年龄数据,并结合岩石学、岩石化学、地球化学等资料的综合对比,将该省侵入岩划分为雪峰期、加里东期、印支期、燕山早期及晚期五个

时期,其中以燕山期花岗岩分布最广,特别是燕山晚期的花岗岩类几乎遍及全省。

该省花岗岩类的分布,自西北向东南,随各褶皱构造带的演化,由老至新具明显的区域分带性。雪峰期花岗岩主要出现在该省西南的江南地轴范围内;加里东、印支期花岗岩分布于浙西加里东—印支褶皱带中;向东南,环太平洋燕山褶

皱带存在三个明显的岩带:①燕山早期花岗岩带(同位素年龄均在132百万年以上),②燕山晚期第一岩带(丽水—上虞断裂带与永嘉—镇海断裂带之间,同位素年龄由西北向东南依次为119—90—80—70百万年),③燕山晚期第二岩带(永嘉—镇海断裂带以东,同位素年龄主要为70百万年左右)(见下图)。



浙江省两个成因系列花岗岩类分布略图

(岩体旁边之数字为同位素地质年龄,百万年)

- 燕山晚期: $\gamma\pi$ —花岗斑岩; $\epsilon\gamma$ —钾长花岗岩; $\nu\epsilon\gamma$ —二长花岗岩; γ —花岗岩; $\gamma\delta$ —花岗闪长岩;
 $\nu\epsilon\sigma$ —石英二长岩; $\epsilon\sigma\pi$ —石英正长斑岩; $\epsilon\sigma$ —石英正长岩; $\delta\sigma$ —石英闪长岩
- 燕山早期: $\gamma\pi$ —花岗斑岩; $\epsilon\gamma$ —钾长花岗岩; $\nu\epsilon\gamma$ —二长花岗岩; $\gamma\delta\pi$ —花岗闪长斑岩; $\gamma\delta$ —花岗闪长岩; $\nu\epsilon\sigma$ —石英二长岩; $\epsilon\pi$ —正长斑岩; $\delta\sigma\mu$ —石英闪长玢岩
- 燕山期(未分): $\epsilon\gamma$ —钾长花岗岩; $\nu\epsilon\gamma$ —二长花岗岩; γ —花岗岩; $\gamma\delta$ —花岗闪长岩
- 印支期: γ —花岗岩; $\delta\sigma$ —石英闪长岩
- 加里东期: γ —花岗岩; $\nu\epsilon\gamma$ —二长花岗岩; $\gamma\delta$ —花岗闪长岩
- 雪峰期: $\gamma\pi$ —花岗斑岩; $\delta\sigma$ —混合岩化石英闪长岩

地壳同熔型花岗岩类主要分布于丽水—上虞断裂带东侧,为燕山晚期花岗岩类的发育地带。由于燕山期岩浆活动持续时间长,波及范围广,故在该断裂带西侧亦有少量、规模不大的地壳同熔型花岗岩类,并常与燕山早期或时代更老的岩体构成复式岩体,如浙西千亩田岩体,由燕山早、晚期花岗岩组成(同位素年龄分别为134及88百万年)。

地壳同熔型花岗岩类是幔源岩浆侵入到地槽或拗陷地区,由于热流增大、地热梯度急骤升高,引起同熔作用(局部可伴有花岗岩化作用,来自地幔岩浆的混染作用、同化作用等)而形成的。这类花岗岩往往由中性到酸性发育,如闪长岩→石英闪长岩→花岗闪长岩→石英二长岩→钾长花岗岩;与其对应的火山岩也较发育。所以,丽水—上虞断裂带东侧,除见极少数变质岩基底出露外,几乎全为上述花岗岩类及其相应的火山岩类。

陆壳改造型花岗岩类主要分布于丽水—上虞断裂带西侧,以雪峰期、加里东期、印支期及燕山早期花岗岩类为主。它是地槽或拗陷的堆积物经混合岩化或花岗岩化,及与其有成因联系的重熔—再生岩浆作用而形成的。这一成因系列的花岗岩类,在浙江省一般以正常花岗岩为主;如燕山早期花岗岩类以黑云母花岗岩分布最广,也出现二长花岗岩、花岗闪长岩和斜长花岗岩等。

两个成因系列花岗岩类 岩石的基本特征

不同成因系列的花岗岩类在岩石学上具有明显的差异。

陆壳改造型花岗岩带中时代较老的花岗岩常发育有富斜花岗岩,并含一定量的暗色矿物,如燕山早期花岗岩,斜长石、黑云母含量均较高,故该时代以黑云母花岗岩最发育。在岩石结构构造上,常见片麻状构造,有混合岩化作用特征,具花岗岩变晶结构、变余花岗结构、压碎花岗结构等。时代较新的岩体以岩浆型结构为主,常见中—粗粒似斑状结构或中—粗粒花岗结构,块状构造。

地壳同熔型花岗岩类在浙江以钾长花岗岩广泛分布为特征,具细粒花岗结构,块状构造,并有晶洞构造出现。

在岩体化学成分上,主要计算了两类花岗岩的 $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Fe^{2+})$ 、 $Al_2O_3/(K_2O+Na_2O+GaO)$ 及 K_2O/Na_2O 三个比值(表1)。计算结果表明,地壳同熔型花岗岩类 $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Fe^{2+})$ 平均值为42%,最低值10%;陆壳改造型花岗岩类 $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Fe^{2+})$ 平均为32%,最低值10%。因此,32%初步可确定为浙江省两类花岗岩类 $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Fe^{2+})$ 的划分界线。该比值

浙江省两个成因系列花岗岩类岩体化学成分特征对比

表1

类型	岩体名称	岩性	$Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Fe^{2+})$	$Al_2O_3/(K_2O+Na_2O+CaO)$	K_2O/Na_2O	同位素年龄 (百万年)	资料来源
陆壳改造型	西袁岩体	斜长花岗岩	50	0.94	0.19	751.3	南京大学、浙江冶金地质勘探公司
			50	0.94	0.34		
		斜长花岗斑岩	46	1.01	0.09		
			45	1.06	0.20		
	益山岩体	二长花岗岩	1.4 19	1.25 1.32	1.79 1.61		1/20万丽水幅
	冷水岩体	片麻状黑云母花岗岩	31	1.02	1.63		
	下湾岩体	三长花岗岩	53	1.11	1.52		
	鸠鹚山岩体	花岗岩	5.7	1.00	1.34		1/20万旌德幅
			8.7	1.15	1.75		

浙江省两个成因系列花岗岩类岩体化学成分特征对比

续表 1

类型	岩体名称	岩性	Fe ₃ ⁺	Al ₂ O ₃	K ₂ O	同位素年龄 (百万年)	资料来源
			Fe ³⁺ + Fe ²⁺	K ₂ O + Na ₂ O + CaO	Na ₂ O		
陆 壳 改 造 型	学川岩体	粗粒花岗岩	16	0.95	1.59	143	1/20万建德幅、 临安幅
			52	1.09	1.36		
			54.7	1.14	1.54		
	铜山岩体	似斑状花岗岩	51.7	1.09	1.56	147	原杭州队
			6.8	0.96	1.35		
			30	0.94	1.19		
			25.6	0.96	1.32		
	孙家桥岩体	斑状花岗岩	11	0.58	1.61		1/20万建德幅
	河桥岩体	黑云母花岗岩	13	0.94	1.53	0.36~0.57	1/20万临安幅
	黄康岩体	"	50	1.02	1.44		1/20万金华幅
	麦坑岩体	"	43.9	1.07	1.48		
	横村埠岩体	花岗闪长岩	29.3	0.96	1.13		1/20万建德幅
			36.6	0.93	1.08		
	湖州岩体	花岗岩	29.4	0.97	1.22		1/20万苏州幅
		钾长花岗岩		0.99	1.16		
			35.6	1.02	1.45		
			32	0.97	1.35		
	施家桥岩体	花岗斑岩	47	1.04	1.35	134	"
	黄家堰岩体	钾长花岗岩	75	1.08	1.18		1/20万杭州幅
	道林山岩体	"	56.8	0.89	0.97	137	南京大学、1/20万 诸暨幅
			45.9	0.90	1.04	140	
			58.6	1.01	1.32		
	凤凰山岩体	"	20.9	1.03	1.34	145	1/20万杭州幅、 苏州幅
			25.8	1.02	1.26		
			5.1	0.88	1.37		
			31	1.02	1.31		
			23.6	0.97	1.34		
			33.9	1.02	1.42		
	嵩村岩体	黑云母花岗岩	36.2	1.00	1.89		1/20万临安幅
			16.4	0.98	1.28		
			24.4	0.99	1.37		
	城山岩体	"	22.7	0.93	1.38		
	小将岩体	钾长花岗岩	47.7	1.04	1.52	79.9 91.9	1/20万宁波幅
			46.5	1.00	1.36		
			76.9	1.11	1.39		
			34.9	1.00	1.33		

浙江省两个成因系列花岗岩类岩体化学成分特征对比

续表 1

类型	岩体名称	岩 性	Fe^{3+}	Al_2O_3	$\frac{\text{K}_2\text{O}}{\text{Na}_2\text{O}}$	同位素年龄 (百万年)	资 料 来 源
			$\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+}$	$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}$			
地	花岛山岩体	中细粒黑云母 花岗岩	22	1.03	1.19	70.7	1/20万嵊泗幅
	裘村岩体	中细粒花岗岩	38.6	1.05	1.28		1/20万宁波幅
	翼障岩体	细中粒斑状 二长花岗岩	30.0	0.94	0.95	96	
	梁弄岩体	细粒黑云角闪 二长花岗岩	31.3	0.99	1.38	96.5~105.7	
	普陀山岩体	细粒斑状钾长 花岗岩	27.0 67.6	1.02 1.11	1.10 1.29		1/20万定海幅、 沈家门幅
	东福山岛岩体	细粒花岗岩	37.3	0.97	1.33		1/20万定海幅
壳	前村岩体	钾长花岗岩	41.2	1.01	1.22		1/20万温州幅
			62.2	1.22	1.68		
			70.5	1.05	1.17		
			41.0	0.97	1.10		
同 熔 型	青田岩体	细粒花岗岩	22.3	0.84	0.002	115.2 99	"
			20.0	1.10	0.92		
			43.4	1.06	1.39		
		花 岗 岩	24.6	0.99	1.19		
			47.3	1.04	1.13		
			23.8	1.04	1.19		
			22.5	1.01	1.17		
			48.0	1.04	1.08		
			22.8	1.05	1.24		
			33.6	1.02	1.21		
			52.8	1.00	1.22		
			11.8	1.06	1.41		
			26.0	0.83	0.77		
	慈圣岩体	钾长花岗岩	48.8	1.00	1.18		1/20万仙居幅、 宁波幅、诸暨 幅、临海幅
			56.9	1.03	1.26		
			33.8	0.92	0.85		
		花岗岩	29.6 41.6	1.06 1.10	1.29 1.37	96.2	
	六科岩体	花岗斑岩	54.4	1.07	1.25		1/20万平阳幅
	曹门岩体	钾长花岗斑岩	50.9	1.06	1.12		1/20万黄岩幅
	东辽岩体	钾长花岗岩	72.7	1.03	1.08		

浙江省两个成因系列花岗岩类岩体化学成分特征对比

续表1

类型	岩体名称	岩性	Fe ³⁺	Al ₂ O ₃	K ₂ O	同位素年龄 (百万年)	资料来源
			Fe ³⁺ +Fe ²⁺	K ₂ O, Na ₂ O+CaO	Na ₂ O		
地壳同熔型	泽国岩体	钾长花岗岩	47.0	1.14	1.31		120万黄岩幅
			73.2	1.05	0.83		
	陶峰岩体	细粒钾长花岗岩	61.0	1.00	1.20		120万平阳幅
			59.9	0.98	1.31		
	大罗山岩体	钾长花岗岩	56.3	0.93	1.26		120万温州幅、平阳幅
			40.4	1.04	0.92		
地壳同熔型	石前岩体	花岗闪长岩	40.4	1.04	0.92	136.9	120万温州幅、平阳幅
	黄沙坑岩体	"	40.6	1.00	1.18		120万泰顺幅

是划分地壳同熔型与陆壳改造型花岗岩类的一个有效参数。

对两类岩石代表性岩体百余个硅酸盐资料 $Al_2O_3/(K_2O+Na_2O+CaO)$ 比值的计算表明, 丽水—上虞断裂带西侧铝指数偏高, 雪峰期、加里东期花岗岩类铝指数平均值 1.02; 西部省界边缘的一些燕山早期花岗岩体铝指数亦较高, 鸠甫山岩体为 1.00~1.15, 学川岩体为 0.95~1.14。这个数值与 A. J. R. 怀特、B. W. 查佩尔研究澳大利亚新英格兰岩基、科修斯古岩基分别获得的 S 型花岗岩类铝指数相似 (前者 1.03, 后者 1.1)。丽水—上虞断裂带东侧花岗岩类的铝指数一般小于此值; 也有一些数值与西侧燕山早期花岗岩类铝指数差别不很明显, 可能与原岩成分的区别、岩浆的多期多阶段侵入等因素有关。

对代表性岩体近百个硅酸盐资料的统计还证实, 两类花岗岩类 K_2O/Na_2O 比值差异极为明显。丽水—上虞断裂带西侧平均为 1.26, 东侧平均为 1.18。1.18 可初步作为两类岩石 K_2O/Na_2O 比值的划分界线。个别岩体由于钾长石化 K_2O/Na_2O 比值也会出现异常。

上述岩体化学成分的差异说明, 丽水—上虞断裂带两侧花岗岩类形成时构造环境的不同。浙西花岗岩类源岩大多为沉积岩类 (加里东地槽及其后拗陷的堆积物), 含较多的硫及碳, 又处于还原环境, 因而 $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Fe^{2+})$ 比值低, 源岩中许多为地壳风化物质, 大量钠、钙流失, 使铝指数增高; 沉积岩类钾含量偏高, 因而具有比

东部高的钾钠比值。

对代表性岩体近百个微量元素的分析数据进行了比较 (表 2), 可以看出, 丽水—上虞断裂带西侧花岗岩类中铁族元素相对含量比东部高; 主要成矿元素中, 钨、锡、钼、铋等含量亦高于东部。千亩田、河桥、夏色岭、伏岭和唐舍等岩体钨背景含量均超过华南同期岩体的平均值, 并以千亩田、夏色岭及前坑岩体为著。铜、铅、锌等元素在两类花岗岩中均有一定的峰值, 但东部含量相对较低。两类花岗岩中普遍出现的元素有钡、铍、锆、镓、锗、铋、铌、铯和铷等, 但几乎都在东部花岗岩中含量较高。

在副矿物特征 (表 3) 上, 断裂带两侧不同成因系列花岗岩类共有的副矿物有锆石、磷灰石、钛铁矿和榍石等。东侧岩体中还常含有稀土锆石或全为稀土锆石; 一些岩体磁铁矿含量较高, 典型者平均含量可达 4207.8 g/t; 而西侧岩体含磁铁矿少, 含钛铁矿高。一般看来, 由西往东磁铁矿含量有所增加; 东部有几处残留铁砂矿床 (如温州西汤墙) 已由当地群众开采。上述特征与 A. J. R. 怀特、B. W. 查佩尔 (1974) 及石原舜三 (1977) 提出的花岗岩类划分为 I 型和 S 型、及磁铁矿系列和钛铁矿系列的成因分类有颇多相似之处。

判别花岗岩类岩石成因系列的准则是多方面的。除上述外, 就判别花岗岩源区物质而言, 初始 Sr^{87}/Sr^{86} 比值是一个重要依据。中国科学院地

* $Al_2O_3/(K_2O+Na_2O+CaO)$ 暂称“铝指数”。

浙江两个成因系列花岗岩类

类型	岩体名称	相带	Ba	Be	Mn	Ti	V	Cr	Co	Ni	Cu	Pb	Zn
陆壳改造型	西溪湾		1000	<10	900	4000	200	<100	20	30	80		100
	下湾山				<100	1000~3000	40~100	100~300	10		10~100	20~70	100
	益江山		200~300	<10	300~400	1000~2000	10				10	20~40	100
	江城山		400	10	500	300	70	100	10	10	30	20	100
	孙家桥		<500	<10		2000~5000	<30			20	10	60~70	<100
	铜山		1500	<10	100	<1000	<100				50~60	50~60	<100
	沈家塔		100	<10	200	1000	10	100	10	10	20	40	<100
	石门坑		600~1000	<10	600~1000	2000~5000	40~100			20	<10	60~70	100
	东坞			<10	740		164	17	23	7	<10	30~50	
	黄康村		100~500	<10			10~50	100	10		230	130	2200
	新铺		600~1000	<10			10~50	100		10	10	60~100	<100
	黄畈		600~1000	<10			<10	100	10		<10	60~100	<100
	仙桃山			<10							10~20	40~100	100
	马家地		1000	<10	200	1000	<10				80		
	凤凰山		<100	<10	310	860	<10	100		10	20	40	
	伏岭			10~50		>1000	10~50	10~50			10	30	<100
	大石坞		500~1000	<10	200~500	2000~5000	40~100			10	10~50	10~50	100~500
	太阳基		<500	<10	100	6000~10000	<30				<10	60~70	<100
	中古岭		1000~2000	<10	200~500	2000~5000	110~150			10	<10	60~70	
	夏色岭										20~40	30~50	
地壳同熔型	学川		1100~2000	<10	200~580	11000~20000	40~100			10	150~400		
	召黄坑		<500	<10	200~500						<10	60~70	<10000
	前坑			20							<10	60~70	<100
	嵩村		600~1000	<10	200~500	2000~5000	40~100			100	<10	80~100	200
	河桥		600~1000	<10		2000~5000	40~100			30~40	<10	80~100	200
	大流滩		<500	<10	100	<1000	<30				<10	80~100	<100
	合村			<10							<10	30~50	<100
	小蒋	外部相	200	3	200	1000	10	100			7	40	50
		内部相	300	3	400	1000	10	100			8	40	20
	马香	外部相	200	3	100	1500		50			5	40	30
		内部相	50	3.5	150	1000	13	110			10	50	25
	鼻溪		300	2	300	1500	20	80			3	30	60
	花鸟山		100	3	700	1000		140			8	50	40
	螺溪			3	160	1000	10	75			3	30	50
	小洋山	外部相	100	4	400	1000	10	210			4	40	20
		内部相	200	4	500	1500	10	300			5	40	35
	北障		1300	2	350	2500	50	180			3	20	14
	东福山			3	500	1500		100			8	30	50
	普陀山	外部相	800	3	500	2000	20	140			4	40	130
		内部相	200	2.5	400	1000		160			4	35	30
熔型	裘村	外部相	700	2	350	1500	30	50			3.5	35	14
		内部相	1200	2	600	3000	60	80	6		4	40	80
	前村		470	2.6	350	1600	10	81	2	0.2	6	55	52
			540	2.4	420	1800	16	55	1		3.3	37	34
	青田		560	3	250	1700	8	80	1		5.8	38	10
	大岙		1670	2.3	400	4300	70		7	7	3.7	32	33
	石坪		1000	<10	1000	3000	50	100		<10	<10	30~50	100
	山炮		100	10	<500	<1000	<10	<100			<10	65	<100
	陶峰		200~300	<10	500~800	2000	10	<100			<10	30~50	<100
	大罗山	内部相		<10	300~500	2000	10				<10	50	
熔型		外部相		<10	100~200	<1000	10	<100			<10	50	<100
	大玉仓山		400	<10	400	2000	<10	700		<10	<10	70	
	钱仓		300~800	<10	700	2000	<10	<100		<10	<10	30~40	<100
	平阳		1200	<10	700~1000	3000~4000	50	<100	<10	<10	<10	40	<100
	桃花岛			4	600	1000		160		5	5	30	100
				2.5	550	1000		450			10	23	105

微量元素含量 (ppm) 对比

表 2

W	Sn	Mo	Bi	Zr	Ga	Sr	Y	Nb	Yb	Ag	Hg	As	La
	<10	<10		200	20	200			<10				
	<10			<100	<10								
	<10			100~200	10~20		30						
				200	10	200	20		10				
	<10	20~50		200	20~30	200	40~50	60~100					
	<10	<10		200~300	10		10~20		<10	<10			
	<10	10		200	10	10	30	30	<10				
	<10	<10		100	20~30	200	>50	60~100			5	10~20	
	<10	<10						20~50			5	10~20	
	7	30	1		16					2.7			
	10			400	10	200	100		<10				
	20	10		300		200	100		<10	<10			
	30	30		300	30		40~100		10				
	20	10~20					30		<10				
	40	30					30~100	20					
				200	<10								
	10	<10		200	20	100	60	80	<10				100
	<10	<10			10~50	1000	<10	50~100					
				200	<10	200	30						
	<10	<10		200	<10		40~50	20~50					
	<10	<10		200	40~100	300~400							
100~500	100~350	10~400	100~250					10~100					
	<10	20	60~100	200	20~30	200	30	10		100			
	<10	<10		200	<10		>50						
100~200	60~100	10	60~100	100	20~30		50	40~50	<10				
10~20	20	<10		300	20~30	200	40~50	20~50					
	60~100	<10		300	20~30	200	40~50	60~100	<10				
	<10			200	20~30	200	750	60~100					
	10	<10											
		3		150	<10	100	20	30	<10				
		1		100	<10	100	20	30	<10				
				200	<10	100	30	40	<10				
	5	2		150	<10	100	25	45	<10				
		1		150	<10	100	20	30	<10				
		0.5		100	10	100	25	25	<10				
				100	<10	100	10	30	<10				
				100	<10	100	20	30	<10				
		2		100	<10	100	30	30	<10				
		1		200	<10	200	20		<10				
		1		200	<10	100	20	30	<10				
		1		200	<10	100	20	30	<10				
				100	<10	100	20	25	<10				
				150	<10	150	20	30	<10				
		2		250	<10	200	30	30	<10				
	1.6	2.8		150	9	90	24	23	7				20
	1	1.7		190	9	100	26	17	6				30
		1		100	11	110	31	20	6				10
				250	7	330	23		5				
	20	<10		600	20	100	100	20	<10				100
	<10	<10		100	10		30	20	<10				
	<10	<10		200~300	10		30	30	<10				
	<10	<10		100	10		30	40	<10				
	<10	<10		200	20		30	50	<10				
		<10		100	20	<100	30	10	<10				
	<10	<10		200	20	100	30	30	<10				
	<10	<10		200	20	200	30		<10				
		1		200	<10	100	30	60	<10				
		1		200	13	100	20	35	<10				

浙江两个成因系列花岗岩类副矿物特征对比

表 3

类型	岩体名称	相 带	副 矿 物 含 量 (g / 10 k g)			
			磷灰石	磁铁矿	钛铁矿	榍 石
陆 壳 改 造 型	西 委		0.97			1.4
			4.4			
	铜 山	内部相	0.0697		1.8020	+
			+		0.0667	
	下 湾 益 山 冷 水 罗 家 沈 塔 嵩 村 河 新 学 河 洞 坑 大 石 中 古 山 岭 和 后 黄 村 茅 康 新 坑 马 铺 庙 岭 苏 后 太 村 召 基 路 黄 凤 旁 伏 山 岭			++		
				0.46		
			0.058		++	
			0.48		++	
			+	0.061	+ ~ ++	+ ~ 0.08
			++	10.6	+ ~ ++	
				0.08	++	
				1.1		
				0.014		
			0.2	3.39		+
			0.021			
			++		++	0.56
					++	
			0.005		0.64	
			0.02		0.56	
					++	
			++			
			0.028			
			0.14			+
地 壳 同 熔 型	石 坪 山 炮 陶 峰		++	22.54		0.682
			+	4.03		
			+	25.11		0.23
	大 罗 山	内部相		31.26		
		外部相		27.64		
	大 玉 仓 山 钱 仓 平 阳 泽 国 东 辽		+ ~ ++	47.6	++	+ ~ 0.011
			++ ~ 0.21	41.66		1.16
			0.33	71.56		13.356
			+ ~ ++	34.67		
				32.19		0.018
	青 田	内部相	0.078	54.36	0.06	0.79
			0.023	56.32		5.03
		过渡相	0.016	7.67		
		边缘相	0.026	43.5		0.026

浙江两个成因系列花岗岩类副矿物特征对比

续表 3

类型	岩体名称	相带	副矿物含量 (g/10Kg)			
			磷灰石	磁铁矿	钛铁矿	榍石
地壳同熔型	海溪	内部相	+	65.29		2.04
			0.593	57.86	+	2.05
		外部相	1.23	61.44		0.183
			0.052	66.48		0.8
	大门岛		2.494	65.61		1.08
			0.049	62.6		12.97
	小将	内部相	0.041	39.567		+ ~ + +
			0.004	44.796		
		外部相		59.16		
			0.179	30.285		
	屏溪			27.3		+ ~ + +
	嵎酒		0.109	31.139		+ ~ + +
	普陀山		0.002	29.365		
	裘村		0.89	36.141		

注: + 示微量 (几粒), ++ 示少量 (几十粒, 一般超过20粒)。

质所胡光华等曾于丽水—上虞断裂带附近获得碱长花岗岩 $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ 初始比值为0.7103。北京三所也曾于江绍断裂带西侧火山岩中获得锶同位素初始比值, 浙西的上侏罗统劳村组、黄尖组 Rb—Sr 全岩等时线 $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86} = 0.7121 \pm 0.00027$; 浙东上侏罗统磨石山组 Rb—Sr 全岩等时线 $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86} = 0.7089 \pm 0.0021$ 。这与福建沿海所测流纹质英安岩锶的初始比值 ($\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86} = 0.70802 \pm 0.0004$) 非常相近, 可见浙东与浙西初始 $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ 比值有较大差异, 西侧较东部为高。这是由于岩浆在上升过程中不同程度地从围岩中选择性的捕获放射成因锶, 从而使 $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ 比值不断增加。

笔者认为, 浙江大面积燕山期花岗岩和火山岩的产生, 与太平洋板块向西北俯冲带熔融上升有关, 故火山岩与花岗岩可视为同一岩浆源。所以, 上述锶同位素比值反映了丽水—上虞断裂带两侧花岗岩类锶同位素比值。

两个成因系列花岗岩与成矿的关系

从浙江全省一些矿床的成矿规律来看, 钨、锡、钼、铜、铅、锌等矿床在空间上与含矿花岗岩类紧密伴生, 在时间上与花岗岩类侵入时间相一致, 但两类成因系列花岗岩类中的矿种、成矿特征有很大差异。丽水—上虞断裂带西侧燕山期前主要以铜、金、铁、钼及多金属矿床为主 (金矿主要与雪峰期混合石英闪长岩及加里东期混合花岗岩有关)。燕山早期花岗岩类是浙江一个重要的成矿期, 大部分钨、锡、钼、铀、铜、铅锌、锑、汞及非金属矿产 (黄铁矿、萤石等) 与其有关。丽水—上虞断裂带东侧的地壳同熔型花岗岩类, 主要形成于燕山晚期, 特征性矿产有一些重要的钼、铅锌、银、多金属及萤石、高岭土、黄铁矿等非金属矿。这显然与岩石的岩浆源及金属来源有关。