

专题调查报告 第4号

福建省花岗岩类微量元素 地球化学研究

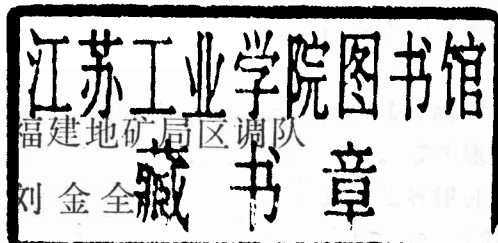
学

福建省区域地质调查队

福建省花岗岩类微量元素 地球化学研究

1980年10月 — 1984年12月

编写单位：福建地矿局区调队
课题组组长：刘金全
提交报告时间：1984年12月



福建省花岗岩类微量元素地球化学研究

福建省区域地质调查队 编辑

责任编辑：宋泳宪 朱义华

福建三明日报社印刷厂 印刷

1986年8月

科研成果评审证书

编 号： 85—05
科研成果名称： 福建省花岗岩类微量元素
地球化学研究
研究单位： 福建省区域地质调查队
组织评审单位： 福建省地质矿产局
评审日期： 一九八五年四月二十三至
二十六日

一、研究成果简要说明

《福建省花岗岩类微量元素地球化学研究》是国家重点科研项目《南岭地区有色、稀土金属矿床的控矿条件、成矿机制及分布规律的研究》中“南岭花岗岩的成因及成矿作用”分项目的三级课题。研究工作由省区域地质调查队完成。地矿部矿床所协作。80年10月至81年8月先后开展三次野外工作。其采集样品350多件；82年完成碎样工作；84年10月完成32个元素的测试。84年12月完成研究报告。

本报告以精度较高的一批花岗岩中微量元素分析数据为基础。运用概率统计的一些理论和概念计算并讨论了各时代不同类型花岗岩中微量元素的丰度及其统计参数。成功地采用聚类分析，因子分析等多元统计手段。对花岗岩中微量元素的组合特征及其变化规律进行了探讨。报告中建立了常量元素对应于微量元素的回归方程，还讨论了Cu、Nb、Ce、Y的空间分布规律。

二、评审意见

评审委员会对研究工作中样品的采集、加工、测试数据的可靠程度及报告的内容进行了审查和评议，一致认为：

1. 在省内一比二十万区调工作基本完成，对省内岩浆活动有了进一步认识之后。立即组织系统采样，开展花岗岩类微量元素地球化学研究是及时而且有意义的。

2. 采样部署目的明确，安排周密，采样点分布合理，既考虑了岩石侵入的时代和类型。也照顾了采样点的空间分布。注意采集新鲜样品。又经薄片检查，剔除了遭受交代蚀变的样品。保证了样品的代表性；样品加工过程细致，注意防止遭受污染；采用了目前精度和灵敏度较高的等离子光谱分析，对微量元素含量进行测定，取得的数据是可靠的。

3. 报告从概率统计的角度出发。计算各期次岩石中元素的平均丰度、标准差、偏倚系

数、峰凸系数等统计参数，绘制了各期花岗岩微量元素含量直方图，建立了岩石元素丰度的完整概念。在此基础上，采用面积加权计算出全省花岗岩的平均丰度及其统计参数。通过上述统计。作者指出：在某期花岗岩中偏倚系数大又呈正偏分布的元素。往往是该期花岗岩的可能成矿元素。对找矿有一定指导意义。

4. 报告成功地使用了聚类分析和因子分析等多元统计手段。阐述了各期花岗岩中参加统计的24个元素的组合特征和变化规律，指出不同时代的花岗岩中，因岩石成因不同，微量元素的聚类程度有明显差别。岩石时代愈新，元素的聚类程度愈高，组合关系愈清晰。它为探讨省内花岗岩演化和元素的共生、伴生规律提供依据。

5. 报告建立了常量元素对应于微量元素之间含量变化关系的回归方程，定量地描述了它们之间的内在联系。

6. 报告编制了Cu、Nb、Ce、Y四种成矿元素的等量线图。认为花岗岩中微量元素的物质来源与下古生界及前古生界中该元素的丰度有关。并讨论了大地构造背景对微量元素丰度的控制作用。

不足之处：

W、Sn、Mo是本省主要成矿元素。因测试结果未到。本报告没能反映这些元素。要求收到数据后，将这些元素补充于本报告中。

回归分析得出了常量元素与微量元素之间含量变化的定量关系，但对此讨论不够。

个别图件中，符号与文中不一致；文字部分，有些名词不统一，要认真查对。

总之，这是国内诸省区首次有计划地系统研究全省花岗岩类岩石中微量元素地球化学特征的一份报告。采样要求统一。并在同一单位用同样方法测定。数据的质量高，可比性强。上述问题的研究为今后全面开展区域地球化学角度探讨省内花岗岩类岩石的成岩、成矿作用，进行资源评价和矿产预测打下基础。因此，这是一个有实际意义的科研成果。报告中文字简炼流畅，重点突出，立论有据，并附有较多必要的图件，是一份质量较高的报告。评审委员会一致通过验收。本报告稍加修改后可先在省内刊物公开发表。

三、组织评审单位审查意见

同意评审意见。

四、主要技术文件

《福建省花岗岩类微量元素地球化学研究》文字报告

五、评审委员会成员名单

主任委员：李纯杰 地科院矿床所 工程师
委员：刘树汉 福建省地矿局 高级工程师
高天钧 福建省地矿局 高级工程师
王振民 福建省地矿局 工程师

黄家厅 闽东南地质队 工程师
陈捷千 福建省三二一地质队 工程师
林令婉 福建省地矿局 工程师

本报告已按照审查意见的要求作了必要的补充与校核。

—作者—

目 录

前言.....	(1)
一、福建花岗岩地质概况.....	(1)
二、微量元素的统计分析.....	(5)
三、稀土元素的统计分析.....	(34)
四、微量元素与主成分的关系.....	(34)
五、微量元素丰度及其分布特征与矿化的关系.....	(40)
六、成矿元素的空间分布.....	(45)
七、结语.....	(47)
参考文献.....	(48)

福建省花岗岩类微量元素地球化学研究是国家重点科研项目《南岭地区有色、稀有金属矿床的控矿条件、成矿机制及分布规律的研究》中“南岭花岗岩的成因及成矿作用”分项目的三级课题。研究任务由福建省区域地质调查队、地科院矿床所协作完成。任务下达后,先后三次(1980年10—12月、1981年4—6月、1981年7—8月)开展野外调查和采样工作(第二次野外调查时,地科院矿床所李纯杰同志参加),1983年完成碎样工作,1984年10月完成样品测试,1984年11—12月编写研究报告。

福建省花岗岩类微量元素的研究,是在全省1:20万区域地质调查基本完成的基础上进行的一次总结⁽¹⁾,省地矿局地矿处王振民同志对铅铜等七种元素分布的基本特征作过论述⁽²⁾。过去岩石微量元素多数是ИСП—28光谱仪半定量分析结果,除了Be、V、Cu、Ga、Y、Zr、Ba、Yb、Pb、Bi等元素分析灵敏度尚可利用之外,大多数稀有、稀散、稀土和放射性等成矿元素灵敏度皆超出世界酸性岩类平均值(维诺格拉多夫,1962年),精度甚差。以往样品新鲜程度、采样位置的代表性以及样品加工防污染等问题仍有忽略的情况,因而也不同程度的影响着分析成果精确性。根据1:20万区调大量岩石微量元素分析资料固然可以总结出元素某些地球化学特征和圈出某些高含量异常,但由于上述种种原因,以它作为深入探讨岩石微量元素地球化学规律显然有一定的局限性。

本文所采用的岩石微量元素的资料是按一定的密度进行系统的采样,即考虑福建省花岗岩类从老到新各主要期次均有一定数量的样品,亦考虑样品区域分布均匀性。采样位置多属岩体中心相或过渡相,大多数样采自石材开采场或路壁新鲜岩石,每一单样重量约2公斤。与岩石微量元素样品同一地点上同时采集岩石化学、人工重砂和岩矿鉴定等样品,块样经颚式对滚破碎至5毫米左右,缩分出约100克,地四川峨嵋地矿部综合利用研究所用玛瑙研钵(三头磨样机)研磨至200目,缩分后送地矿部测试所用美国JA—1160型等离子光量计测定。个别元素(Zr、Rb、U)采用X光荧光光谱仪测定。

一、福建花岗岩地质概况

我省地处环太平洋岩浆带西南段和南岭花岗岩带东段的重叠地带,有广泛的岩浆活动,其中尤以花岗岩浆活动占绝对优势,其累计分布面积(5864公制求积仪统计结果)为39276平方公里,占侵入岩面积97.4%,约占全省陆域面积32%(图1)。其活动规模在广泛花岗岩浆活动的华南诸省中居于前列。

花岗岩活动具多期性,除喜马拉雅期未证实有花岗岩浆活动之外,在本省地壳演化各主要地质时期皆有花岗岩浆活动,并且都在各时期岩浆活动中占主导地位。燕山旋回的岩裂活动空前活跃,断块构造活动特别发育,勾通各壳层之间物质和能量的交流促使花岗岩浆活动进入鼎盛时期,晚侏罗世和白垩纪还出现频繁多次的岩裂侵入和脉动。根据地质体相互接触关系和岩体同位素年龄资料,已确定花岗岩有加里东期,华力西—印支期,燕山早、晚期(表1)。

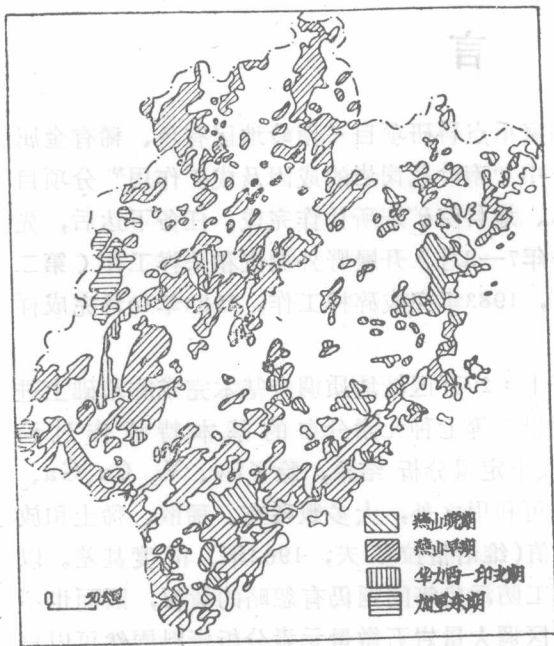


图1 福建省花岗岩类岩体分布图

如果按每百万年平均花岗岩分布面积衡量其活动规模的话，其强度依次为燕山早期→燕山晚期→加里东期→华力西期→印支期。

不同时期形成的花岗岩，由于处于不同的大地构造和区域构造条件下，其物质来源和形成机制各有不同，因此在花岗岩的成因上有明显的差别，加里东旋回是地槽形成、发育和回返定型的时期，随着地壳急剧凹陷，晚元古代—早古生代形成二万多米的复理式建造，压力与温度的剧增，使得奥陶纪以下的岩层普遍区域变质成绿片岩相。地槽回返阶段形成的构造挤压带中能量聚集，在绿片岩变质相之上局部叠加角闪岩相，还出现混合岩化，在最强烈的部分形成混合花岗岩，甚至由于交代作用形成有一定位移的交代花岗岩。华力西—印支旋回于闽西南永（安）梅（县）地区以龙岩将军山为中心出现

强烈凹陷，形成粗碎屑岩、碳酸盐岩、含煤细碎屑岩、钙硅泥岩建造，累计厚度达5619米，可想而知在凹陷中心部位的下部基底变质岩，由于温度的递增，出现选择性的熔融，新生岩浆（指稀薄岩浆）、岩浆上升交代形成交代花岗岩和少部分重熔花岗岩。燕山旋回大洋（库拉—太平洋）板块与大陆（欧亚）板块相互作用，产生一系列平行俯冲带的断裂带，断块构造运动不仅控制了沉积作用、火山作用，也控制着花岗岩浆活动。燕山旋回早期可能由于俯冲角度较缓及速度较快，产生的重熔花岗岩（以陆壳被选择性重熔为主）广及闽赣交界的武夷山，燕山旋回晚期可能由于俯冲角度变陡，速度减小，产生的同熔花岗岩和同熔分异碱性花岗岩带向闽东沿海地区迁移。综上所述，花岗岩的成因随地壳的演化，由老到新表现为混合交代花岗岩→重熔花岗岩→同熔花岗岩→同熔分异碱性花岗岩的演化趋势。

频繁多期次的花岗岩浆活动往往沿袭构造裂隙侵入，某些构造经历多期反复活动，导致同一构造活动带上重叠着多期次的花岗岩体而构成复式岩体或复式岩带，这种现象在省内屡见不鲜，也是重要特点之一。

燕山早、晚期的花岗岩浆活动与同期火山岩在空间分布上密切伴生，二者的物质来源大体相似，岩类演化顺序（从基性→酸偏碱性）、岩石化学、地球化学、同位素地质学等特征都十分相似。

福建省是太平洋内生金属矿带与南岭钨、锡、稀有、稀土矿化带的重叠地带，为我国重要内生矿产成矿区之一，它与广泛的花岗岩浆活动息息相关，有的花岗岩就是成矿母岩，甚至有些岩体全岩矿化而构成工业矿体。

表1 福建侵入岩期次划分表

期	阶段	次	代 号	岩 性	代 表 岩 体 和 主 要 岩 体	
喜 马 拉 雅 期			ν_6	辉长岩	石井顶、大南山	
			$\nu\mu_6$	辉长玢岩	大石山、西山	
			$\nu\beta_6$	辉长辉绿岩	东 盘	
			β_6	辉 绿 岩	梅坪、晒鞍尾、水坑	
			$\beta\mu_6$	辉绿玢岩	茅 坪	
燕 山 晚 期	II		$\gamma\pi_5^{3(2)}$	花岗斑岩	下大山岬	
		四		$\xi\pi_5^{3(1)d}$	正长斑岩	泉 头
				$\xi_5^{3(1)d}$	正 长 岩	洋 坊
				$\xi_0\pi_5^{3(1)d}$	石英正长斑岩	三马、广洋、九秋桥
				$\lambda\pi_5^{3(1)d}$	石 英 斑 岩	钱坂、下坪
				$\gamma\pi_5^{3(1)d}$	花 岗 斑 岩	八埭、过港、东洋山、溪东、城仔楼
				$\xi\gamma\pi_5^{3(1)d}$	钾长花岗斑岩	笔 架 山
				$\xi\gamma_5^{3(1)d}$	细粒钾长花岗岩	会洋、梅花田
			$\gamma_5^{3(1)d}$	细粒花岗岩	过 溪	
	I	三		$\xi\gamma_5^{3(1)c}$	晶 洞 钾长花岗岩	魁岐、太姥山、太子帽、 旗山、方壺山
				$\gamma_5^{3(1)c}$	晶洞花岗岩	赤路、新村、乌山、白石山
	二			$\gamma_5^{3(1)b}$	花 岗 岩	福州、长乐、云霄、永泰、太武山、 四都、扁桃山
				$\eta\gamma_5^{3(1)b}$	二长花岗岩	丹阳、顶城、古农、鹤塘、穆阳
	一			$\eta_0^{3(1)a}$	石英二长岩	举溪、葛畲、大门山、淦山
				$\gamma\delta_5^{3(1)a}$	花岗闪长岩	涧田、和溪、蓬壶、长泰、列市、宁德、丰斜
				$\delta_0^{3(1)a}$	石英闪长岩	埔埕、仙游、田坑、下坪仔、赤岭、北竿塘
			$\delta_5^{3(1)a}$	闪 长 岩	延石山、高枰门、路下	
			$\nu\delta_5^{3(1)a}$	辉石闪长岩	天 堂	
			$\nu_5^{3(1)a}$	辉 长 岩	北竿塘、桃花山、蚩前山、官山、花厝	
		$\sigma_5^{3(1)a}$	斜辉橄榄岩	长 基		

续表 1

期	阶段	次	代 号	岩 性	代 表 岩 体 和 主 要 岩 体
燕 山 早 期	III	四	$\xi_5^{2(3)d}$	正 长 岩	康里、易坑、饭坑
			$\xi_5^{2(3)d}$	石英正长岩	铁 山
			$\gamma\pi_5^{2(3)d}$	花 岗 斑 岩	洛阳、广坪
			$\gamma_5^{2(3)d}$	细粒花岗岩	蒋屋、塔山、天山堂山、湖洋、来垵大岗
		三	$\gamma_5^{2(3)c}$	黑 云 母 花 岗 岩	行洛坑、龙伞峰、莒舟、大洋、白莲、河田、 胡坊、篁村、古田、盖德、金山、周宅、 蓝田、八山、小庶
		二	$\eta_5^{2(3)b}$	石英二长岩	钟 腾
			$\gamma\delta_5^{2(3)b}$	花岗闪长岩	大望山、浦城、霞美、铺前、南靖
			$\delta_5^{2(3)b}$	石英闪长岩	樟湖板、五股仙
			$\delta_5^{2(3)b}$	闪 长 岩	九曲岭、青坑、上中坝
			$\nu\delta_5^{2(3)b}$	辉石闪长岩	台岭、止马、太拔
		一	$\eta\gamma_5^{2(3)a}$	碎裂二长花岗岩	中村、筹岭、惠安、古美山、国宝
			$\gamma m_5^{2(3)}$	混合花岗岩	宝 盖 山
			$\eta\gamma m_5^{2(3)}$	混合二长花岗岩	方 劳 山
			$\gamma\delta m_5^{2(3)}$	混合花岗闪长岩	官 下
		II	$\xi_5^{2(2)}$	正 长 岩	园 岱
			$\gamma_5^{2(2)}$	似斑状黑云母花岗岩	小陶、光泽、高溪
	印支— 华力西期		$\eta\gamma_{4-5}^1$	片麻状黑云母 二长花岗岩	桂洋、围埔、大山
			$\gamma\delta_{4-5}^1$	片麻状花岗闪长岩	下元、捕虎尖、草山
			δo_{4-5}^1	片麻状石英闪长岩	夏茂、溪坪、后章
			ν_{4-5}^1	辉 长 岩	大 康
加里东期		$\eta\gamma_3$	片麻状黑云母 二长花岗岩	宁化、营上	
		γm_3	混合花岗岩 二云母花岗岩	竹洲、徐墩、石洲 小溪、湖源、东堡	
		σ_3	片麻状橄榄岩	北坊、长城、黄源	

二、微量元素的统计分析

我们从花岗岩类 (SiO_2 含量 $>62\%$) 254个样品等离子光谱和X荧光光谱分析结果中剔除常量元素 Al、Ti、Fe、Ce、Mg、K、Na、Mn、P 和分析精度较差的 Co、Ni 元素, 共选用 27 种元素作统计分析, 各元素的分析精度列于表 2。

表 2 元素分析精度 (ppm) 表

元 素	W	Sn	Mo	Cu	Zn	Pb	V	Cr	Be	Zr	Nb	Li	Sc	
报 出 限	0.5	0.5	0.5	2	1	13	1.5	4	1	2	12	0.3	0.1	
元 素	Ga	Rb	Sr	La	Ce	Nd	Sm	Gd	Dy	Yb	Y	Th	U	Hf
报 出 限	5	2	0.15	2	10	5	7.5	3	1.5	0.3	0.25	3	5	0.5

(一)、微量元素的丰度

全省花岗岩类微量元素丰度, 是采用参于统计的各期次花岗岩类分布面积加权的 结果 (表 3), 它是本省花岗岩类微量元素区域地球化学背景的重要参数之一。与世界酸性岩类微量元素丰度 (根据维诺格拉多夫, 1962) 比较, 本省花岗岩 W、Sn、Mo、Pb、Hf、Nb、Sc、Rb、Th、U 等元素丰度相对偏高, 而 Cu、V、Cr、Zr、Li、Sr、La、Ce、Nd、Sm、Gd、Dy、Yb、Y 等元素丰度相对偏低, 丰度相当的元素有 Zn、Be、Ga 等。与华南花岗岩微量元素丰度⁽³⁾比较, 本省花岗岩 Zn、Pb、Be、Ga、Sr 等元素丰度高, 而 Mo、Cu、Cr、Zr、Li、Rb 等元素丰度略低 (科学院贵阳所的 W、Sn 元素丰度, 可能由于样品多选自矿区明显偏高, 难以比较)。

不同时期花岗岩类微量元素丰度差别一般较显著 (图 2), 随着花岗岩时代由老变新, 元素丰度显示递变的元素只有 Cu 和 Rb (表现为递减)。不同时期的花岗岩各有丰度较高的元素 (表 3), 如加里东期有 Sn、Cu、Pb、Cr、Rb 元素, 华力西—印支期有 V、Zr、Hf、Nb、Li、Ga、La、Ce、Nd、Sm、Gd、Dy 元素, 燕山早期有 W、Mo、Be、Sr、Yb、Y、Th、U 元素, 燕山晚期有 Zn、Sc 元素。不同期次花岗岩不仅反映不同时期岩浆旋回的特点, 还表现出同期花岗岩浆分异所形成的不同阶段和活动次的差异, 因此其微量元素丰度的差别更为显著 (表 4)。不同期次各有丰度较高的元素, $\gamma_{\pi}^{\delta}(1)d$ 花岗斑岩有 Nd、Sm、Gd、Dy、Y 元素; $\gamma_{\pi}^{\delta}(1)c$ 晶洞花岗岩有 Zn、Nb、Yb 元素; $\gamma_{\pi}^{\delta}(1)b$ 花岗岩和二长花岗岩有 Pb 元素; $\gamma_{\delta}^{\delta}(1)a$ 花岗闪长岩有 Cu、V、Cr、Sc、Sr 元素; $\gamma_{\pi}^{\delta}(3)c$ 黑云母花岗岩有 W、Mo、Be、Rb 元素; $\gamma_{\delta}^{\delta}(3)b$ 花岗闪长岩有 U 元素; $\gamma_{\pi}^{\delta}(2)$ 花岗岩有 Pb、Hf、La、Th 元素; $\eta_{\gamma_4-\frac{1}{5}}$ 二长花岗岩有 Zr、Ga 元素; η_{γ_3} 二长花岗岩有 Sn、Li 元素。

表3 福建省花岗岩类微量元素丰度(ppm)表

均 期	元 素 值 次	W	Sn	Mo	Cu	Zn	Pb	V	Cr	Be	Zr	Hf	Nb	Li	Sc	Ga
燕山晚期		1.26	2.31	1.11	10.24	72.61	33.16	25.25	9.80	3.11	164.3	3.86	22.72	16.59	5.20	19.74
燕山早期		2.38	3.28	1.60	10.64	54.56	33.59	17.96	9.47	6.18	120.64	3.40	23.50	27.20	4.62	19.21
印支—华力西期		1.05	3.20	0.88	14.71	66.12	29.88	30.84	12.14	5.11	196.75	4.17	26.06	44.41	6.99	22.02
加里东期		1.29	4.25	0.82	14.78	60.45	33.60	22.65	13.18	3.75	145.06	3.50	19.32	37.66	4.77	20.19
全省		2.02	3.17	1.41	11.10	58.81	33.33	20.27	9.95	5.39	137.21	3.50	23.16	27.01	4.85	19.5
世界(维氏)		1.50	3.0	1.1	21	61	21	41	25	5.5	210	1	21	41	3.1	21
华南(科学院)		3.5	32	1.5*	33	21.56*	18.47*	30	41	4.2	147		29	78		8
均 期	元 素 值 次	Rb	Sr	Ba	La	Ce	Nd	Sm	Gd	Dy	Yb	Y	Th	U		
燕山晚期		215.63	167.56	395.06	35.51	56.31	24.22	4.87	4.76	4.00	3.05	26.58	25.80	6.58		
燕山早期		236.95	170.40	437.49	35.67	58.70	26.34	5.39	5.45	4.92	3.43	30.26	27.73	6.88		
印支—华力西期		236.92	127.33	515.70	44.77	82.53	34.89	7.15	6.77	5.05	2.83	2.83	25.28	5.25		
加里东期		260.65	121.86	538.61	32.54	56.88	24.76	5.20	4.33	3.49	1.88	18.33	18.10	4.13		
全省		230.60	163.92	441.82	35.86	59.34	26.06	5.37	5.31	4.65	3.21	27.29	26.51	6.55		
世界(维氏)		200	310	830	61	110	46	9.1	9.1	6.7	4.1	34	18	3.5		
华南(科学院)		279	159	254												

* 引自南京大学地质系《华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系》

花岗岩类微量元素的丰度，在一定程度上反映出受岩性的控制（表5），花岗岩中W、Sn、Mo、Pb、Be、Nb、Hf、Rb、Th和重稀土Gd、Dy、Yb、Y等元素丰度高；二长花岗岩中Zr、Li和轻稀土La、Ce、Nd、Sm等元素丰度高；花岗闪长岩中Cu、Zn、V、Cr、Sc、Ga、Sr等元素丰度高。随着岩性由中酸性向酸性过渡，岩石中Sn、Pb、Be、Nb、Rb、Gd、Dy、Yb、Y和Th等元素的丰度依次递增；而Cn、V、Cr、Sc、Ga、Sr等元素的丰度则依次递减。

（二）、微量元素的分布特征

微量元素的分布特征（分布类型及分布特征参数）的变化，明显地反映了成岩成矿作用的特征，它是自然体形成的化学状态，元素在岩石矿物中的含量特征、地质时间、化学反应的可逆与不可逆等因素的函数^[3]。与分布特征有关的统计参数有标准差、变异系数、偏倚系数和峰凸系数。

1. 标准差（ σ ）

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

式中N为样品数， \bar{x} 为元素的平均值， x_i 为每一样品中元素的含量。

标准差（ σ ）值的大小反映数据离散的程度，标准差越大，表明该元素的含量高低悬殊；反之含量相差不显著。它们在元素频率直方曲线图（图3）上，前者显“胖”型，后者显“瘦”型。

各期花岗岩由于成因（物质来源和形成方式）的不同，元素在岩石中离散程度有明显的差异，标准差值悬殊较大，如加里东期二长花岗岩元素的标准差普遍偏小，说明其元素活动趋于稳定，其中U元素最小。华力西—印支期花岗岩仅Hf元素标准差大，而W、Pb、Zn、Cu、Cr、Ga、Nb等元素标准差小。燕山早期 $\gamma_5^{2(2)}$ 花岗岩仅Ce、Th元素标准差大，其余元素标准差小。 $\eta\gamma_5^{2(3)a}$ 二长花岗岩仅Sr元素标准差大，其余元素偏小。 $\gamma\delta_5^{2(3)b}$ 花岗闪长岩的元素标准差普遍偏小，其中Sn、Be、Zr、Dy、Yb、Y元素标准差最小。 $\gamma_5^{2(3)c}$ 黑云母花岗岩的元素标准差普遍偏大，其中W、Sn、Mo、Cu、Be、Li、Rb、Dy、Yb、Y等元素标准差最大。 $\gamma\delta_5^{3(1)a}$ 花岗闪长岩的V、Cr、Sc元素标准差大，Li、La、Ce、Nd、Gd等元素标准差小。 $\gamma_5^{3(1)b}$ 花岗岩中Pb元素标准差大。 $\gamma_5^{3(1)c}$ 晶洞花岗岩中Zn、Nb、Ga、U元素标准差大，V、Sr、Sc元素标准差小。 $\gamma\pi_5^{3(1)d}$ 花岗斑岩中La、Nd、Sm、Gd、Zr等元素标准差大，而Mo元素标准差最小。同期多次活动的花岗岩类，依先后顺序，岩性由中酸性向强酸性演变，有些元素的标准差有递变趋势。以燕山晚期为例，稀疏元素Zr、Li和大部分稀土元素La、Nd、Sm、Gd、Y元素的标准差依次增大，而Cu元素标准差依次缩小。上述标准差参数的变化表明不同元素在岩浆演化过程中其离散程度发生规律的变化。

2. 变异系数（Cv）

$$Cv = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\%$$

式中 σ 为元素的标准差， \bar{x} 为元素的平均值。由于不同元素背景含量的悬殊差异，用变异系数能更客观地刻划元素间相对离散程度。统计的结果表明元素在岩石中分散程度各有不

表5 福建省花岗岩类不同岩性微量元素丰度(ppm)表

岩 性		花 岗 岩	二 长 花 岗 岩	花 岗 闪 长 岩
样 数		184	42	30
钨钼族	W	2.44	1.01	1.11
	Mo	1.60	0.84	1.24
铜族	Sn	3.32	3.19	1.80
	Cu	9.44	12.35	17.09
	Zn	61.76	59.46	73.54
	Pb	34.98	33.70	20.88
铁族	V	12.46	25.75	65.43
	Cr	8.82	11.83	13.41
稀有	Be	4.12	3.68	2.32
	Zr	135.16	161.71	108.00
	Hf	3.93	3.55	3.63
	Nb	24.62	19.92	18.90
分散	Li	23.68	32.10	17.53
	Sc	4.13	5.53	8.41
	Ga	19.41	20.01	20.15
	Rb	249.54	228.00	146.27
	Sr	115.66	182.25	420.99
轻稀土	La	35.58	37.62	33.37
	Ce	57.38	65.00	54.09
	Nd	25.26	27.75	23.73
	Sm	5.27	5.36	4.62
重稀土	Gd	5.28	5.02	4.60
	Dy	4.79	3.98	3.40
	Yb	3.51	2.34	2.30
	Y	30.77	22.50	19.57
放射性	Th	28.46	20.79	20.16
	U	6.21	5.10	9.52

同(见表4)。不同元素的变异系数各有不同,有些元素的变异系数变化不大,如Sn、Zn、Zr、Nb、Sc、Ga、Rb、La、Ce、Nd、Sm、Gd、Dy、Yb、Y、Th等元素,其数值变化倍数低于5,说明这些元素在各期次花岗岩中其活动趋于稳定,分布比较均匀;另一些元素的变异系数变化较大,如W、Pb、Cu、V、Cr、Be、Li、Sr、U等元素,其数值变化倍数高于5,甚至相差1—2个数量级,说明这些元素在不同期次花岗岩中离散程度十分悬殊,分布不均匀。不同期次花岗岩类中元素的变异系数有明显的差异(见表4),各有变异系数较大的元素,如燕山晚期 $\gamma\pi_5^{3(1)d}$ 花岗斑岩的Li, $\xi\gamma_5^{3(1)c}$ 晶洞花岗岩的Mo、Zn、V、Ga、Sr、Nd、Sm、U, $\gamma_5^{3(1)b}$ 肉红色花岗岩的Pb、Gd、Dy、Th, $\gamma\delta_5^{3(1)a}$ 花岗闪长岩的Cr。燕山早期 $\gamma_5^{2(3)c}$ 黑云母花岗岩的W、Sn、Cu、Be、La、Ce、Y, $\eta\gamma_5^{2(3)a}$ 二长花岗岩的Pb、Cr, $\gamma_5^{2(2)}$ 似斑状花岗岩的Zr, 加里东期 $\eta\gamma_3$ 二长花岗岩的Nb、Sc、Yb等元素。燕山早期 $\gamma\delta_5^{2(3)b}$ 花岗闪长岩、华力西—印支期 $\eta\gamma_{4-5}$ 二长花岗岩中各元素的变异系数都偏小。

不同离散程度所提供的矿化信息是不同的,变异系数大的元素,表明在某一期的岩体中呈不均匀分布,有可能形成异常和矿化。

3. 偏倚系数(Cs)

$$Cs = \frac{\mu_3}{\sigma^3}, \text{ 其中 } \mu_3 = \sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^3$$

式中 μ_3 为三阶中心距, σ 为标准差,置信度 α 取5%。

偏倚系数可以反映概率分布或密度函数的偏斜程度。当 $\mu_3 > 0$ 时,称分布是正偏(即概率分布或密度函数的曲线在中位数的右侧有“长尾”);当 $\mu_3 < 0$ 时,称分布是负偏(即概率分布或密度函数的曲线在中位数的左侧有“长尾”)。由表4可见,福建省花岗岩类多数元素的分布以正偏为主,其中W、Cu、V、Sc、Be、Yb等元素,不论哪一期次都为正偏,在元素频率直方曲线图(见图3)主峰的右侧出现“长尾”,华力西—印支期花岗岩的Sn、Pb、Rb、La、Ce、Nd、Sm、Gd、Dy、Yb、Th和燕山晚期花岗闪长岩的Zr、Li、Nb、La、Cu、U等元素均略显负偏,在元素频率直方曲线图主峰左侧出现“长尾”。不同元素的偏倚系数的变化幅度不同,Pb、Zn、Zr、La、Yb和U等元素偏倚系数变化幅度大,而其它元素变化幅度小。Cs值大于2可以认为是很大的偏倚,从表4可见偏倚程度最大的元素仅局限于某些期次的花岗岩类。例如 $\gamma_5^{2(3)c}$ 黑云母花岗岩的W、Sn、Mo、Be、Zr、Nb、Cu、Li、La、Nd、Sm、Gd、Dy, $\gamma_5^{3(1)b}$ 花岗岩的Pb、Zn、Th, $\xi\gamma_5^{3(1)c}$ 晶洞花岗岩的V、Sc、Sr、U, $\gamma\pi_5^{3(1)d}$ 花岗斑岩的Rb等。这些元素偏倚程度很大,说明它们在岩石中可能是多次地球化学作用的结果。元素偏倚系数大,又呈正偏分布特征,一般来说对该元素的局部富集成矿是有利的。

4. 峰凸系数(Ce)

$$Ce = \frac{\mu_4}{\sigma^4}, \text{ 其中 } \mu_4 = \sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^4$$

式中 μ_4 为四阶中心距, σ 为标准差。置信度 α 取5%。

同(見表4)。繪圖(見表4)。繪圖(見表4)。

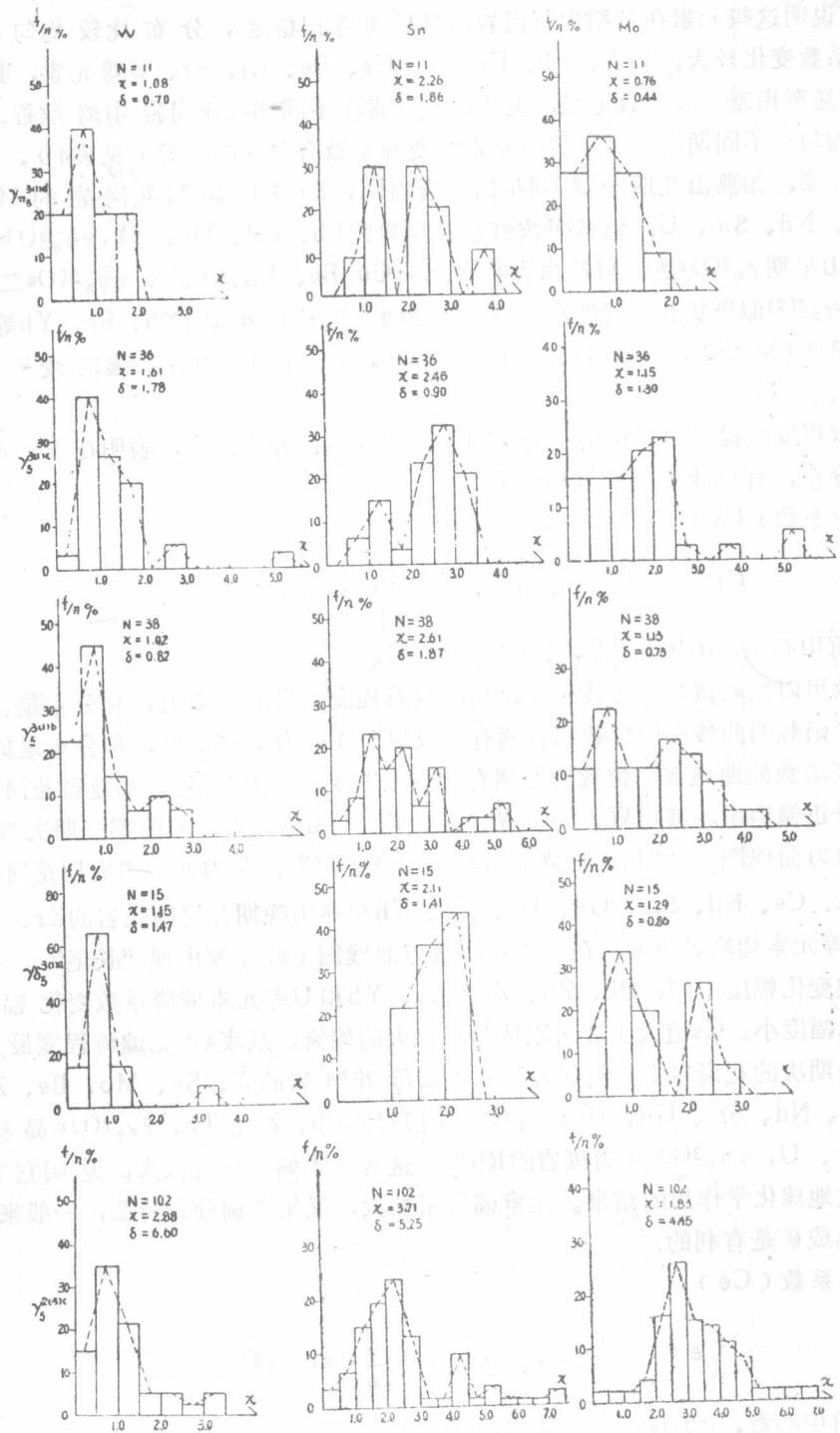


图 3-A 钨、锡、钼