

厦门大学出版社

福建省
侵入岩岩石谱系
单位划分

郑声俭 严炳铨 黄泉祯 编撰

前 言

福建省岩石谱系单位划分专题研究,是配合编制福建省第四代1:50万地质图而开展的综合性项目,自1994年4月开始,到1997年底,包括参与编制1:50万地质图、编写说明书的侵入岩部分,历时近四年。

福建省是华南侵入岩最为发育的省份之一,花岗岩类总面积42 316.85 km²,占省境陆地面积的34.87%。自1977年全省完成1:20万图幅区域地质矿产调查以来,于闽西北、闽西南、闽东、闽东南、沿海等地完成了100多个图幅,占全省面积1/3多的1:5万区域地质调查。其中,自1984—1986年在福州、厦门等图幅对魁岐、厦门等深成岩体进行岩石谱系单位划分以来,十多年间续后的各个图幅,对花岗岩类基本采用了岩石谱系单位填图新方法。1991—1993年,福建省区调队组织力量,在上杭—永定地区开展了较大区域的岩石谱系单位划分研究工作。这10多年间,福建省地质研究所、中国地质大学等单位,从不同角度对福建东部花岗岩类进行了大量、有效的研究。这些,为全省岩石谱系单位划分,建立全省性花岗岩等级体制奠定了充实的基础。

本专题开展以来,对新元古代梅坝岩体,志留纪夏茂、岭兜、国母洋岩体,二叠纪贡川岩体,中三叠世宣和、山阳岩体,早侏罗世新街岩体,早白垩世岱前、花厝、钟腾岩体等,进行了较为详细的野外调查;对光泽、小陶等大型复式岩体进行了路线调查,把不同时代的侵入体进行了初步划分;对吴东山、玛坑、邑坂、洋中、魁岐、惠安、同安等岩体侧重做了一些补充或采样等工作;对没有进行过1:5万区调的侵入岩分布区,按岩石谱系单位划分的基本原则,根据1:20万区调工作时的野外记录本、各种测试成果等,进行系统、全面的清理、对比。在野外调研过程中,共采集同位素年龄测定样品6件,硅酸盐、人工重砂测试样品各25件,稀土元素测定样品32件,微量元素定量测定样品35件,弗氏台测试样品21件,矿物百分含量测定样品29件,岩矿薄片77件,单矿化学分析样品140件(其中黑云母7件、钾长石22件、斜长石4件、白云母2件、磁铁矿58件、锆石47件)。

本专题对省内330多个深成岩体1 024件岩石化学分析成果,170多个深成岩体405件稀土元素测定成果,130多个深成岩体580件岩石微量元素定量光谱测试成果(少数如双峰单元各深成岩体因缺乏定量光谱测试资料,暂用半定量光谱测试成果代替),200多个深成岩体446件人工重砂测定成果,70个深成岩体146件钾长石、15个深成岩体27件斜长石、49个深成岩体89件黑云母、17个深成岩体20件白云母、118个深成岩体195件结晶锆石、154个深成岩体220件磁铁矿单矿物化学分析成果进行了综合分析研究,参考、对比了290多个深成岩体370多个(组)不同方法测定的同位素测年资料。资料引用截止至1996年验收的1:5万区域地质调查报告。

本专题是在黄泉祯教授级高级工程师主持下进行的,在第四代1:50万地质图编制过程和评审会议中,得到地矿部陈克强教授级高级工程师、田玉莹研究员,省地勘局李春仁、石礼炎、高天钧教授级高级工程师,王绍雄、朱熙道、文斐成、陈云钊、叶允钧高级工程师,省地质科学研究所王振民、吴克隆教授级高级工程师,区调队区管科陈泽霖、马金清、冯宗炽高级

工程师以及林文生队长、韦德光总工程师和省内同行、同仁的关照、指导和支持,在此表示衷心的感谢。

1998年1月中旬,由高天钧、吴克隆、韦德光、马金清、文斐成、陈泽霖教授级高级工程师、高级工程师组成的评审委员会,对本项目成果进行了详细、慎重的评审,一致认为该项目成果对今后我省侵入岩岩石谱系单位的划分、对比研究起了开拓性作用。主要成果基础资料丰富翔实,依据较充分,所建立的岩石谱系单位具有一定的区域意义,为进一步深入研究福建省侵入岩和国民经济建设提供了可靠的基础地质成果。主要成果达到了国内同类成果的先进水平。

本书由郑声俭主笔编写,严炳铨负责单矿物化学分析和副矿物资料的整理,宋泳宪高级工程师协助编制了《福建省侵入岩图》,张俊成、邓应松同志参与了本专题前期工作,岩矿测试及重砂鉴定等由岩矿室游天寿、陈炎官、苏福景、杨玲雅、黄兰英同志完成,岩石化学、微量元素、稀土元素测定由省中心实验室三明分中心及区调队化验室承担,同位素年代由天津地质研究所测定,有关岩石化学参数等的计算工作由区调队微机组和地矿室张顺金同志协助完成,张引娥同志协助清绘了部分图件。

由于笔者水平所限,文中错误之处敬请各位专家、同仁不吝指正。

目 录

前言	(1)
第一章 区域地质构造和岩浆侵入活动	(1)
第二章 侵入岩成因类型划分	(10)
第三章 岩石谱系单位划分及等级体制的建立	(16)
第四章 岩石谱系单位划分各论	(19)
第一节 古元古代岩石谱系单位	(19)
第二节 新元古代岩石谱系单位	(33)
第三节 志留纪岩石谱系单位	(44)
第四节 二叠纪岩石谱系单位	(79)
第五节 中三叠世岩石谱系单位	(99)
第六节 早侏罗世岩石谱系单位	(113)
第七节 晚侏罗世岩石谱系单位	(134)
第八节 早白垩世岩石谱系单位	(161)
第九节 晚白垩世岩石谱系单位	(197)
第十节 第三纪岩石谱系单位	(206)
第五章 岩浆演化特征	(209)
第六章 岩石谱系单位与矿产关系	(215)
结语	(222)
主要参考文献	(224)

第一章 区域地质构造和岩浆侵入活动

福建省地质构造具有多旋回、多阶段演化发展的历史,自新太古代至第四纪可以划分为五台—吕梁、四堡—晋宁、加里东、华力西—印支、燕山、喜马拉雅等六个构造期,构造运动频繁,岩浆侵入活动和火山活动与构造运动有着密切的联系(表1)。对于省境花岗岩类,地矿部南岭项目花岗岩专题组曾划分为“赣粤过渡区”和“沿海活动区”两个岩石区^[1],程裕祺先生统划为“南华区”^[2]。本课题通过省境花岗岩类的研究,认为省境多期、多阶段的岩浆侵入,系元古代形成的结晶基底多次(断)陷—拼接(隆起)过程上地幔、幔壳以及部分壳源物质部分熔融的产物。

一、五台—吕梁期

该时期是华夏古陆“克拉通化”的早期发展阶段,构造层地质记录主要是闽西北地区的新太古代天井坪组,古元古代大金山组、迪口组、南山组以及闽西南地区的桃溪组,发育内陆或陆缘广海盆地的沉积—火山复理石建造,岩石普遍遭受角闪岩相变质作用。变质基性、中基性火山岩 Sm—Nd 等时线年龄($2\,682\pm148$)~($1\,825\pm129$) Ma^①。构造变形以发育形态复杂的平卧、斜卧挤压剪切褶皱、粘性褶皱及顺层韧性剪切为特征。构造层地球化学场特征与维诺格拉多夫地壳元素丰度(1962)及福建省表壳元素丰度值综合相比较(表2),高含量微量元素中亲岩、亲氧元素 Li、Rb、Zr、W、Sn 等元素含量较高,可能反映了地壳成熟度也较高。

新太古代末的五台运动在本省缺乏较充分的地质依据,但天井坪组中发育有拉斑玄武岩,认为属岛弧构造环境^②,拟属活动陆缘火山活动产物更为妥当。另天井坪组与上覆大金山组、南山组间同位素年龄有较大的时间间隔,揭示了省境可能存在五台运动,目前尚未发现同期岩浆侵入。

古元古代末的吕梁运动,省境也缺乏地层不整合依据,然而原岩建造、变形、变质作用与上覆四堡—晋宁构造层有较大区别,同位素年龄间两者也存在较长的间断。大金山组中的拉斑玄武岩,桃溪组、南山组中的钙碱性中酸性、酸性火山岩以及上坪超单元石英闪长岩、英云闪长岩和包处单元超基性岩,应是吕梁运动期间热事件产物。里特曼—戈蒂里图解中,上坪超单元投在 B 区(图 1a),R₁—R₂ 多阳离子图解投在板块碰撞前区(图 2a),结合其发育的片麻状叶理产状与围岩一致,可能属沿韧性剪切带呈底辟形式侵位机制,而包处单元超基性岩也可能是沿断裂带展布的零星地幔岩的“冷侵位”地质体,反映了岛弧或活动陆缘以水平剪切作用为主的一种构造运动形式。

二、四堡—晋宁期

该时期,华夏古陆一度裂解、增生。构造层分布于省境西北部、西部地区,中—新元古代交溪组、马面山群、万全群,为一套沉积—火山堆积、细碧—石英角斑岩、砂泥质—钙、硅质、杂砂质等复杂的建造组合。岩石均遭受绿片岩—低角闪岩相变质作用。构造层和变质相均

① 福建省地质矿产勘查开发局,1:50 万地质图说明书,1996。

② 福建省地质矿产局,1:5 万付坊、里心幅《区域地质调查报告》,1990。

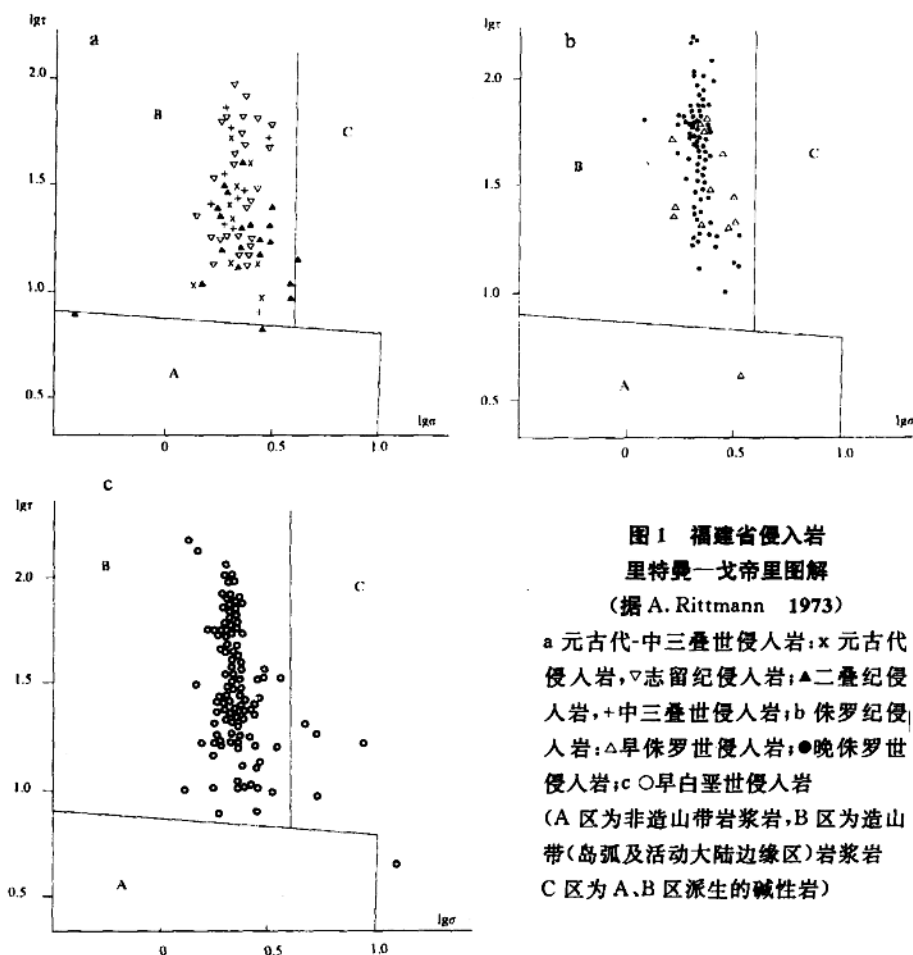
表 1 福建省岩浆活动时代划分简表

代	纪	世	地质年龄 (Ma)	构造期	构造运动	岩 浆 活 动	
						侵入活动	火山活动
新生代	第三纪			喜山期		基、中基性岩(R)	粗玄武、拉斑玄武岩、橄辉玄武岩
中生代	白垩纪	晚	65	燕山期	燕山运动Ⅲ幕	中-偏碱性岩(K ₂)	钙碱性系列玄武岩-碱性流纹岩
		早				超基性-碱性岩(K ₁)	
	侏罗纪	晚	135		燕山运动Ⅱ幕	中-酸性岩(J ₃)	J ₃ 钙碱性系列安山岩-流纹岩
		中			燕山运动Ⅰ幕		
	三叠纪	早	208	印支运动 (淮阳运动)		基性-酸性岩(J ₁)	T ₃ -J ₁ 拉斑、钙碱性系列玄武岩-流纹岩
		中	235			中-酸性岩(T ₂)	
		早					
			250				新祠角岩段角岩与火山活动可能有关
晚古生代	二叠纪	晚		印支	华力西运动Ⅲ幕 (东吴运动)	基性-酸性岩(主要在P)	经俞组中发育有基-酸性火山岩,玄武岩属碱性系列,中酸性、酸性岩属钙碱性系列
		早					
	石炭纪	晚	290	华力西期	华力西运动Ⅱ幕 (淮南运动)		
		早			华力西运动Ⅰ幕 (柳江运动)		
	泥盆纪	晚	362				
早古生代		中					西部盖洋群中发育中酸性火山岩,沿海澳角群中发育有基性-酸性火山岩,均属钙碱性岩系
		早	409		加里东运动	中性-酸性岩(主要在S)	
	志留纪	晚		加里东期			
		中	439				
	奥陶纪	晚					
		中	510				
	寒武纪	晚					
新元古代		早	570				
	震旦纪	晚	700		澄江运动		
		早	800		晋宁运动	超基性、酸性岩(Pt ₃)	
中古元代	蓟县纪		1000	晋宁四堡期			双峰式细碧岩-石英角斑岩
	长城纪		1400		四堡运动		
古元古代			1800	吕梁期	吕梁运动	超基性、中酸性岩(Pt ₁)	拉斑玄武岩,中、酸性钙碱性火山岩
新古太代			2500	五台期	五台运动?		拉斑玄武岩

表 2 福建省表壳微量元素丰度表(10^{-6} , $Au 10^{-9}$)

	Li	Be	Rb	Sr	Ba	Zr	Nb	Mo	W	Sn	Bi	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	V	Cr	Co	Ni	U	Th
Kz	6.7	0.25	25	3	379	67	36.9	1.09	0.28	0.9	0.09	50.0	6.5	43	0.9	0.059	165	179.2	41.7	110.4	0.74	3.2
K	15.4	3.51	167	131	479	177	20.1	1.61	0.95	1.7	0.26	8.8	25.7	56	0.2	0.056	31	5.1	3.9	8.0	4.12	19.7
J ₃	23.0	3.38	198	152	638	149	19.6	0.90	3.02	2.5	0.30	5.1	31.2	61	0.4	0.061	28	5.9	3.1	10.0	5.31	20.4
T ₃ -J ₂	23.1	2.81	134	82	445	175	15.5	0.57	1.34	1.7	0.19	7.7	31.6	38	0.8	0.049	46	35.1	4.5	15.5	3.19	18.6
D ₃ -T ₂	28.2	2.54	129	125	489	169	15.6	1.22	1.73	2.5	0.28	16.7	25.2	54	1.3	0.043	71	65.9	6.3	30.0	2.97	13.2
Z-O	38.2	2.83	185	134	807	190	18.1	0.87	2.66	3.5	0.61	18.7	34.0	79	2.3	0.045	64	48.2	9.3	23.5	4.27	20.1
Pt ₂ -Pt ₃	43.2	2.38	123	138	757	216	16.7	0.59	2.22	2.8	0.26	19.8	28.6	107	2.9	0.077	77	72.6	12.9	37.5	2.43	12.9
Ar ₃ -Pt ₁	61.3	2.12	147	165	648	232	17.1	0.68	2.06	7.0	0.24	30.1	47.8	149	0.6	0.042	108	99.2	17.1	36.0	2.27	12.1
钾长花岗岩	32	5.3	247	127	516	160	25.7	1.26	1.1	2.8	0.27	4.8	34	49	/	0.053	21	3.1	2.8	7.9	6.2	26.5
二长花岗岩	20	2.9	191	205	630	148	18.7	1.21	0.8	1.9	0.20	7.1	28	44	/	0.061	24	8.1	3.1	9.7	5.1	23.2
花岗闪长岩	28	1.0	160	335	825	195	19.1	1.55	1.6	2.6	0.34	16.7	23	77	0.2	0.070	60	11.4	8.3	12.4	3.8	17.5
石英闪长岩	26.4	0.45	166	386	804	216	14.8	1.81	1.28	1.8	0.246	25.2	25.8	86	0.45	0.057	76	70.7	13.3	26.2	5.47	23.5
闪长岩	15.9	0.54	81	332	363	293	20.3	1.00	0.62	1.6	0.546	26.8	16.1	99	0.23	0.057	119	24.0	21.4	21.2	2.47	10.8
福建省总地壳	32.2	1.61	123	273	692	205	19.3	0.98	2.55	2.7	0.29	28.7	30.7	144	1.0	0.068	101	137.8	19.1	90.1	2.88	13.8
地壳元素丰度	32	3.8	150	340	650	170	20	1.1	1.3	2.5	0.009	47	16	83	4.3	0.07	90	83	18	58	2.5	13.0
酸性岩	40	5.5	200	300	830	200	20	1.0	1.5	3	0.01	20	20	60	4.5	0.05	0	25	5	8	3.5	1.8
中性岩	20	1.8	100	800	650	260	20	0.6	1.0	/	0.01	35	15	260	/	0.07	100	50	10	55	1.8	7.0
基性岩	15	0.4	45	440	300	100	20	1.4	1.0	1.5	0.007	100	8	130	4.0	0.1	200	200	45	160	0.5	3.0

资料来源:①福建省地质调查技术院,《福建省表壳元素丰度研究》,1996 ②维诺格拉多夫,1962



具带状分布特点。万全群黄潭组大多数锆石组合 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄在 1 050~1 300 Ma 间, 马面山群角闪石 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 样年龄 $(1\,129.4 \pm 169) \text{ Ma}$ 。① 构造变形以受强烈的弹—塑性变形, 发育紧闭同斜、平卧、顶厚等褶皱及发育流劈理、韧性剪切带为特征, 韧性剪切具逆冲、剥离滑脱等性质。构造层 Ba、W、Pb、Zn 较维氏地壳丰度值高, Li、Be、Ba、Zr、Sn、Au、Ag 等元素较福建表壳元素丰度高(见表 2)。

中元古代中期(长城期末)的四堡运动, 华夏古陆裂解, 马面山群、万全群中发育的双峰式细碧—石英角斑岩, 可能是该裂解期间沿陆间裂陷槽岩浆活动产物, 缺乏可靠的侵入活动证据, 王母山单元超基性岩可能与该期细碧岩等活动有关。

新元古代青白口纪末期的晋宁运动表现为万全群与上覆震旦纪盖洋群的角度不整合接触。梅坝单元和茶地单元酸性侵入体, 属于晋宁运动产物, 里特曼—戈蒂里图解投在 B 区(见图 1a), R_1-R_2 多阳子图解投在同碰撞区(见图 2a), 各岩体长轴呈北东向展布, 发育与

① 福建省地质矿产勘查开发局, 1:50 万地质图说明书, 1996。

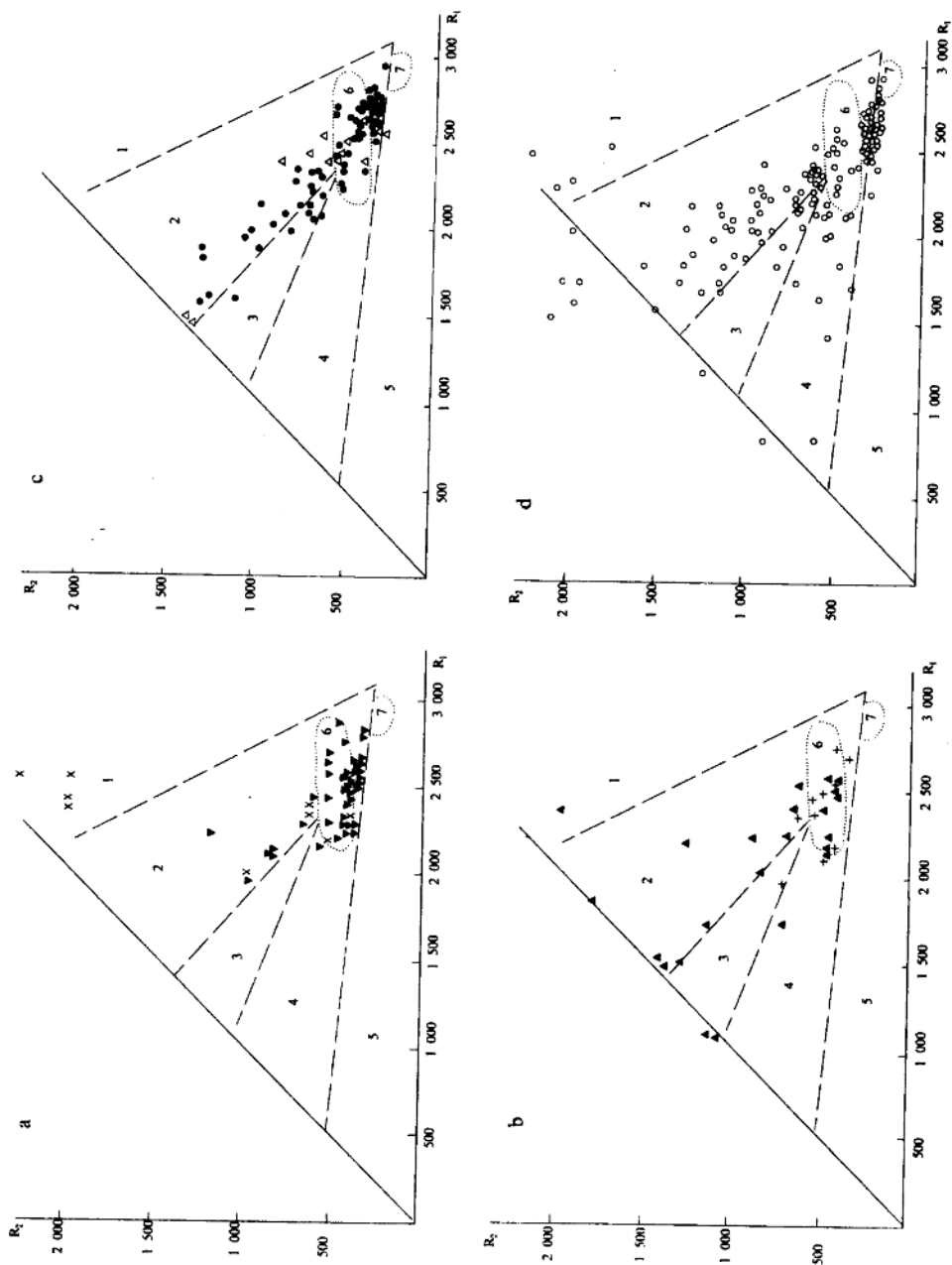


图2 福建省侵入岩 R_1 - R_2 图解(据 R. A. Bachelor 等, 1985)

1 地槽分离区 2 板块碰撞前 3 碰撞后抬升阶段 4 造山晚期 5 非造山的 6 同碰撞的 7 造山期后

a 元古代, 志留纪侵入岩: X 元古代侵入岩, Y 志留纪侵入岩, b 二叠纪, 中三叠世侵入岩: △ 二叠纪侵入岩, + 中三叠世侵入岩, c 侏罗纪侵入岩: △ 早侏罗世侵入岩, ● 晚侏罗世侵入岩, d 早白垩世侵入岩

围岩片麻理产状相一致的片麻状叶理,反映出陆间裂陷槽闭合阶段同构造期沿韧性剪切带侵位的性质。

三、加里东期

该期是福建省地壳发展最重要的时期,省境大部地区一度沉陷为陆间槽或陆缘海。闽西和闽西南地区,自震旦纪—奥陶纪,为一套连续的火山—复理石沉积。中部政和、尤溪等地,目前仅发育划属震旦纪稻香组的砂泥质、火山碎屑夹钙、硅质沉积。沿海划入前泥盆纪的澳角群,可能是奥陶纪、寒武纪,甚至更老时代地质体的拼合体,属砂泥质、钙碱性基性—酸性火山岩及同质火山碎屑岩建造。变质作用具代表性的是西部地区,该构造层岩石均匀发育低绿片岩相变质作用。变形以上部地壳在弹弯机制下的挠曲变形为特色,形成一系列北东—北东东向紧密同斜褶皱、等厚宽缓褶皱等。构造层微量元素丰度表现出与五台—吕梁、四堡—晋宁期构造层有着继承性特征,反映在高含量微量元素基本相同,而与后加里东构造层有较大区别,与维氏地壳丰度值相比较, Li、Rb、Ba、W、Sn、Bi、Zr、Pb、Zn(见表2)各元素含量较高,与福建省表壳丰度相较, Li、Be、Rb、Ba、W、Sn、Bi、U、Th 等元素含量较高。

早震旦世末的澄江运动,主要表现为沿南平—宁化和政和—大埔等断裂带的火山喷发,主要为中酸性、中基性钙碱性火山岩。盖洋群楼前组、龙头组锆石 U—Pb 年龄 665~643 Ma^①,反映构造运动可能延续至晚震旦世。构造活动形式表现为断块拗陷、隆升,是否缺乏同期岩浆侵入,目前尚不得而知。

加里东运动在省境表现强烈,造成晚泥盆世安砂群、天瓦崙组与下伏奥陶纪罗峰溪组及其他老地层的广泛角度不整合接触,并缺失志留纪及早、中泥盆世地层,反映运动主期发生在志留纪末—泥盆纪初,相当于丁文江所创立的广西运动(1926),震旦纪—奥陶纪地层的变形、变质主要是该期构造运动作用的结果。沿海莆田忠门、晋江半岛部分变质沉积—火山岩系 Sm—Nd 等时线年龄(463±15)~(509±20) Ma^②,发育基性—酸性钙碱性火山岩,可能反映了该构造期的火山活动,中酸性、酸性侵入体也较发育,但时间较晚。内地缺乏同期火山岩,广泛发育中性—酸性侵入体,以酸性岩类为主。该时期侵入体呈北东向带状分布特征及西部、中部两岩带各深成岩体的热汽球膨胀侵位机制甚为突出,反映了基底构造对岩浆侵入的控制作用。从夏茂超单元—岭兜超单元(含金寨单元),里特曼—戈蒂里图解均投入 B 区(见图 1a), R₁—R₂ 多阳离子图解中(见图 2a),夏茂超单元、蒲洋格序列、光坑单元中,中酸性岩多投在板块碰撞前区,西溪超单元二长花岗岩投入同碰撞区,岭兜超单元和金寨单元钾长花岗岩投在造山晚期区,反映了活动陆缘环境岩浆侵入活动随构造运动的发展而发生有序的变化。

四、华力西—印支期

该时期闽西北、闽东地区基本处于隆起、剥蚀状态,于闽西南拗陷带中发育了一套晚泥盆世—中三叠世海陆交互—滨海—浅海粗碎屑岩、火山碎屑岩、碳酸盐岩、细碎屑岩、含煤细碎屑岩、钙—硅泥岩等沉积。岩石一般遭受低绿片岩相变质作用。发育弹弯机制作用下的挠曲变形,形成一系列北北东向紧闭—宽缓型褶皱,断裂活动较显著。构造层地球化学场(见表2)与前期构造层不同的是只有 W、Mo、Bi、Pb、U、Th 等元素丰度较维氏地球丰度值高,与福

① 福建省地质矿产勘查开发局, 1:50 万地质图说明书, 1996。

② 福建省区调队, 地科院南京地质研究所, 《长乐—东山断裂带性质及意义的研究》, 1988。

建表壳丰度值相比较,高含量的元素也只有 Be、Rb、Mo、Au、U 等几种,反映出与前华力西构造层存在着较大差别。

发生于晚古生代的华力西运动可分为三个构造幕,分别由早石炭世林地组与晚泥盆世桃子坑组、晚石炭世经畚组与早石炭世林地组及晚二叠世翠屏山组与早二叠世童子岩组之间的假整合,其中第三幕(东吴运动,李四光,1931)表现较为强烈。发育于经畚组中具双峰式特征的碱性玄武岩、钙碱性中酸性、酸性火山岩,是华力西运动Ⅲ幕的产物。袁奎荣等肯定了华南华力西期花岗岩的存在,并进行了较系统的研究^[3]。石头坂序列一蛟洋超单元基性—酸性侵入体。其中石头坂序列基性、中性岩在岩石化学方面表现出与经畚组火山岩具一定亲缘关系,同位素年代也相近,可能属华力西Ⅲ幕火山岩同期异相产物,其他中酸性、酸性侵入体应归属于华力西运动Ⅲ幕。各侵入体在里特曼—戈蒂里图解(见图 1a)中投在 B 区,反映属活动陆缘构造环境。 R_1-R_2 多阳子图解(见图 2b),除泮地单元投在板块碰撞后、安村单元投在造山晚期区外,其他从石头坂序列到蛟洋超单元,依次投在地幔分离区、板块碰撞前区、同碰撞区,结合省境华力西期属于加里东运动之后向环太平洋构造活动带演变的过渡时期,断裂构造活动控制的地壳不均匀拗陷、隆升和沿断裂构造带及其复合部位的火山活动、岩浆侵入显示出他独具的构造特点,溪坪序列到贡川序列中酸性—酸性岩类,也主要发育在南平—宁化与政和—大埔断裂带复合部位的南平—明溪—大田这一三角地区。

中三叠世末发生的印支运动,是省境具划时代意义的构造变动。该运动不仅使本省结束了大规模海浸的历史,而且从此进入环太平洋构造活动带的演化时期,晚三叠世文宾山组、焦坑组不整合于中三叠世安仁组及不同时代老地层之上,是印支运动的结果,并促使晚泥盆世—中三叠世地层变形、变质。早三叠世新祠角岩段角岩,可能与运动初期水下火山活动有关。吴东山序列—山阳序列中一酸性侵入体,是该运动的产物,岩体分布特征显示出与断裂构造带的活动关系密切,同位素年龄资料表明岩浆侵入活动可能延续到整个三叠纪。各岩类里特曼—戈蒂里图解均投在 B 区(见图 1a), R_1-R_2 多阳离子图解(见图 2b)投在同碰撞区及边缘,综合区域地质构造发展概貌,反映了一种比较单一的挤压隆升构造环境中沿断裂构造带及其复合部位壳源物质部分熔融并侵位的岩浆活动特性,呈北东向长条状展布的芹溪—廖武坪岩体,边缘多被断层围限,部分地段与早石炭世林地组石英砂岩间具边缘花岗岩化过渡带,内部发育与岩体长轴方向一致的片麻状叶理,可能正是这种侵位机制的典型代表。

五、燕山期

晚三叠世至晚白垩世,是省境进入滨太平洋构造活动带地壳演化最为激烈的时期,在滨太平洋断裂体系^[4]的作用下,大规模的断陷,强烈的火山喷发及其广泛的与火山活动同时、同源频繁的岩浆侵入,是这一时期地壳演化的特色,分为早、中、晚三个阶段。

(一)燕山早期

晚三叠世至中侏罗世,主要于北东向断陷带之断陷盆地中发育含煤碎屑岩和火山—沉积建造。晚侏罗世长林组与下伏前晚侏罗世地层的角度不整合接触,是燕山运动 I 幕的标志,构造应力场最大主压应力轴方向 $NW308^\circ-SE128^\circ$,近水平挤压^①。变形以形成北东向宽缓的褶皱为主,推覆及滑脱构造也较发育。变质作用典型的是形成沿海平潭—东山动力热

① 万天丰等,《福建省中生代构造应力场、活动断裂研究及热田远景评价》,1986。

变质带。构造层地球化学场 Zr、W、Bi、Pb、U、Th 等元素(见表 2)较维氏地壳丰度值高,Be、Pb、U、Th 元素较福建省表壳丰度值高,其他元素含量均较低。

燕山早期的岩浆活动主要发生在晚三叠世—早侏罗世。晚三叠世文宾山组、焦坑组和早侏罗世藩坑组火山岩,属于具双峰式特征的玄武岩(安山岩)—流纹岩组合,闽西南一带中侏罗世尚有小规模火山活动,侵入岩发育于北东向或北东向与北西向断裂带的复合部位,以后者为主。自太拔序列始,至永定超单元,为一套基性—酸性钙碱性岩系,里特曼—戈蒂里图解中投在 B 区(见图 1b), R_1-R_2 多阳离子图解中(见图 2c),基性、中酸性岩投入板块碰撞前区,酸性岩中,峰市超单元二长花岗岩投在同碰撞区,永定超单元钾长花岗岩投在造山晚期区,可能反映了沿断裂带及其复合部位裂陷至热隆过程的岩浆侵入活动。藩坑组流纹岩全岩 Rb—Sr 等时线年龄 179 ± 3 Ma,太拔序列太拔岩体和永定超单元洪沙岩体锆石 U—Pb 同位素年龄分别为 177.4 ± 0.6 Ma、181 Ma,而全岩 Rb—Sr 等时线年龄在 204~173 Ma 间,反映了岩浆侵入活动基本和火山活动同时,酸性岩浆侵入尚延续至中侏罗世。

(二)燕山中期

晚侏罗世到早白垩世早期,晚侏罗世兜岭群、南园群及晚侏罗世—早白垩世坂头组、吉山组,为一套火山碎屑沉积—中、酸性火山岩建造。白垩纪石帽山群与吉山组、南园群的不整合,是燕山运动Ⅲ幕的标志,区域构造应力场主压应力轴方向与燕山早期相同^①。构造变形以断裂、韧性剪切为主,伴随宽缓的褶皱和断裂带中的紧闭褶皱。构造层 Rb、W、Bi、Pb、U、Th 等元素(见表 2)较维氏地壳丰度值高,Be、Rb、Nb、W、Bi、Pb、U、Th 等元素较福建表壳丰度值高。

该幕构造运动以强烈的、大规模的岩浆活动为特征,火山岩基本覆盖了闽东火山断拗带,以中酸性、酸性火山岩为主,具单峰式特点。岩浆侵入规模巨大,呈大面积北东向带状分布于政和—大埔断裂带西部及闽东南地区断隆带或火山喷发带边缘,闽东地区较少,自虹垂超单元至古竹超单元,为一套中—酸性钙碱性岩系,以酸性岩类为主。各类岩石里特曼—戈蒂里图解投在 B 区(见图 1b), R_1-R_2 多阳离子图解(见图 2c)中,中—中酸性岩多投在板块碰撞前区;酸性岩类中,永兴超单元二长花岗岩投在同碰撞区,古竹超单元钾长花岗岩投在造山晚期区,反映了该期构造演化的有序性。该期火山岩、侵入岩两者从同位素年龄、锶初始比值及地域分布关系等各方面具有同时、同源、规模相当等特点。

(三)燕山晚期(闽浙期)

该构造期指的是福建省白垩纪至老第三纪的地质构造发展时期,以前都习惯性沿用燕山晚期名称,白垩纪末的构造运动称燕山运动Ⅲ幕(黄汲清,1959)^[5]。根据中国地质大学万天丰教授等人的研究^②,该期古构造应力场与晚三叠世—侏罗纪不同,也与燕山运动创名地燕山地区有着根本区别,主压应力轴方向是 NE—SW 向,晚侏罗世活动的 NE、NW、NNE 向压性、张性、压剪性断裂带,其性质分别转化为压剪性、张剪性,并建议采用李四光先生创名的“闽浙运动”(1939)。该期岩浆活动与成矿作用与燕山中期也有较大差别。本书仍沿用“燕山晚期”习惯性名称,白垩纪末的构造运动仍称“燕山运动Ⅲ幕”。

该期省境西部地区赤石群为隆升过程中由断裂控制的断陷盆地红色碎屑岩建造,东部地区石帽山群分别由北西向张剪性断裂带和北东偏东向压剪性断裂带控制的基性—酸性

①② 万天丰等,《福建省中生代构造应力场、活动断裂研究及热田远景评价》,1986。

(夹少量碱性火山岩)火山岩建造,为一套具双峰式特点的钙碱性玄武岩—流纹岩组合,缺失老第三纪沉积。该构造层地球化学场高含量微量元素(见表2)除了与晚侏罗世构造层大部分相同外,Mo元素含量增高,W、Sn元素含量降低,与该期钼矿床(点)较发育相应。早白垩世长基单元—岱前超单元—钟腾超单元—福岭超单元—邑坂超单元—玛坑超单元—洪山超单元—魁岐超单元,为一套有序演化的超基性—基性—中酸性—酸性—碱性岩系,里特曼—戈蒂里图解主要投入B区(见图1c),福岭超单元部分岩体投入C区(见图1c),可能属B区派生的偏碱性岩,个别(洋坊岩体)属碱性岩。 R_1-R_2 多阳离子图解(见图2d)中,长基单元和岱前超单元的东岳山岩体投入地幔分离区,岱前超单元的大部分岩体和钟腾超单元各岩体投入板块碰撞前区,邑坂超单元二长花岗岩投入同碰撞区或边缘,玛坑超单元钾长花岗岩、洪山超单元晶洞碱长花岗岩多投入造山晚期区,魁岐超单元晶洞碱性花岗岩和洪山超单元的太姥山、居安、方壶山、长林、金刚山等岩体投入非造山区,基本上反映了该期构造运动发展的主体趋势。醒目是福建东部自太姥山向东南经青芝寺、魁岐、何岭、新村、金刚山至乌山,形成一条具北北东向线状展布的晶洞花岗岩带。

晚白垩世侵入岩主要为一些具一定方向性展布的中性、中酸性、酸性、偏碱性的岩瘤、岩墙状侵入体。虽然该时期构造应力场表现出与早白垩世时期一致的特征,并延续到老第三纪^①,但地壳全面隆升的现象比较突出,该期岩浆侵入活动规模虽然小,但表现出该时期大规模隆升过程沿断裂构造岩浆活动特性,与成矿关系也较密切,如闽清井后多金属矿床等,值得重视对该期侵入岩的研究。

六、喜马拉雅期

该期仅有新第三纪佛昙组的碎屑岩—玄武岩建造及更新世—全新世的松散堆积物,更新世砂土、砂砾层与佛昙群石英粗砂岩间的假整合接触、全新世底部普遍发育的砾石层假整合覆盖于更新世顶部古风化面上,分别是喜马拉雅运动I幕、II幕的标志,运动性质综合内地古夷平面以及第四纪盆地等资料,反映为断块差异隆升活动。

岩浆活动微弱,西部明溪—林畚和沿海漳浦—龙海一带有玄武岩喷溢,前者属碱性系列,后者属钙碱性系列,漳下西—铺头单元橄榄辉长岩、辉长岩、辉绿(玢)岩等小岩瘤呈星散状沿构造活跃部位侵入。

^① 万天丰等,《福建省中生代构造应力场、活动断裂研究及热田远景评价》,1986。

第二章 侵入岩成因类型划分

侵入岩的成因,是岩石谱系单位划分及等级体制建立的基础。徐克勤教授^[2]等自 60 年代以来对华南不同时代花岗岩进行过系统、深入的研究,80 年代全面阐述了华南存在陆壳改造型、同熔型、幔源型和碱性四个成因系列^[6],指出花岗岩成因系列是指一定地质条件下形成的在成因上有内在联系的一套花岗岩类岩石,包含着岩区、岩带的含义。花岗岩成因系列的划分和识别,主要根据:①形成花岗岩的物质来源;②花岗岩形成的主要方式;③产出的构造位置,岩石学特征和成矿特征。

徐克勤教授等所划分的花岗岩类四种成因类型的主要涵义是:

1. 陆壳改造系列,系由地槽沉积物经混合岩化、花岗岩化和有关的再生—重熔作用最终形成的花岗岩类。

2. 同熔系列,形成于构造活动带,由上地幔衍生的安山质岩浆上升引起硅铝层地壳部分重熔,形成同熔岩浆,经混染作用,结果导致中性至酸性侵入岩以及对应火山岩的形成。

3. 幔源系列,通常与超镁铁质岩及海相火山岩有成因联系。

4. 碱性系列,一般发育在大陆裂谷带或板块边缘环境,时间上表现在岩浆活动发展的最晚阶段,往往与深源的基性、超基性和偏碱性的侵入岩和火山岩共生。

边效曾、刘金全^[7]将福建东部沿海一套偏碱性晶洞花岗岩划分为“幔源岩浆分异型花岗岩”,认为是“上地幔(部分洋壳)深熔的基性岩浆经分异而形成的偏碱性花岗岩”。周珣若、吴克隆^[8]也认为福建晶洞花岗岩是张性环境,受超壳深断裂控制,由地幔玄武岩浆演化的深源浅成侵入体,具世界 A 型花岗岩的一般特征。洪大卫等认为福建省碱性花岗岩系地幔楔部分熔融,在侵入过程中发生大规模分异并与地壳物质发生不同程度的混合形成^[9]。林民瑶则认为下地壳残留的麻粒岩相物质和一部分地幔物质发生熔融,沿断裂急骤上升在地壳浅部冷凝定位的 A 型花岗岩^[10]。

基于上述花岗岩类成因类型的划分是徐克勤等许多教授、学者对华南,包括省境花岗岩类长期研究的成果,对找矿也有着深刻影响,含有区域性对比特色,因而本课题仍将福建花岗岩划分为幔源型、同熔型、改造型和分异型碱性花岗岩四种成因类型,各种成因类型花岗岩类的特征简述如下(表 3)。

一、幔源型

主要有古元古代包处单元、新元古代王母山单元、早白垩世长基单元的超基性岩和早白垩世岱前超单元的辉长岩等少数侵入体。包处单元发育于华夏古陆东缘岛弧或陆缘海断裂带中,王母山单元发育于四堡期裂陷带东北段,长基单元和岱前超单元组成的超基性—基性岩带发育于沿海北东向超壳断裂带。超基性岩类造岩矿物以橄榄石、辉石为主。化学成份中铬、镍等元素氧化物均有一定含量,顺昌黄源岩体尚含 Pt、Pd。建阳北圻岩体和莆田长基岩体均发现有浸染状铬铁矿。铁族和铂族元素的高含量,是地幔岩的佐证。岱前超单元各岩体一般以岩瘤状产出,造岩矿物为普通角闪石、辉石,富含磁铁矿。福州官山岩体黑云母属金云母。岱前岩体、桃花山岩体具钽钛磁铁矿化,幔源成因特征较显著。两类岩石在 A—C—F 图(图 3)都落在 AN—Bi 线之下的 AN—Bi—Ho 区或 AN—Ho—DI 区。该类型相当于皮切尔

所划分的“M”型花岗岩^[11]。成矿类型主要为蛇纹石、滑石、黄金、铬铁矿、钒钛磁铁矿等。

二、同熔型

同熔型花岗岩主要包括古元古代上坪超单元、志留纪夏茂超单元、蒲洋格序列、光坑单元、二叠纪石头坂序列、溪坪序列、安村单元、泮地单元、早侏罗世太拔序列、新街序列、峰市超单元、永定超单元、晚侏罗世虹垂超单元、双峰单元、上都超单元以及早白垩世钟腾、福岭、邑坂、玛坑超单元的基性、中性、中酸性、酸性岩石。形成自基性至酸性完整演化序列的只有早侏罗世和早白垩世两个时期侵入体,其中早白垩世岱前超单元基性岩归属于幔源型。其他时期只有各构造期较早阶段的侵入体属于同熔型花岗岩,同构造期和构造期后的酸性岩类,可能由于熔融层上升到地壳较浅部位,以改造型花岗岩类为主。

同熔型花岗岩类源岩主要为上地幔和下地壳的部分熔融,大部分含较多同源闪长质包体,少数含少量或不含闪长质包体。基性、中性岩类造岩矿物主要有辉石、普通角闪石,中酸性、酸性岩类主要有普通角闪石、黑云母。早白垩世各岩石谱系单位除福岭超单元黑云母属铁质黑云母外,其他多属镁质黑云母。该类型岩石副矿物铁、钛矿物中以磁铁矿为主,次为榍石,锆石标型属壳幔混合型。标准矿物刚玉百分含量小于1%,含铝指数一般小于1.05, A—C—F 图(图4)中一般投在 AN—Bi 线下方的 AN—Bi—Ho 区。过渡族元素 Cr、Ni、Co、V 一般较维氏值高。⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 一般小于0.706。虹垂超单元虹垂岩体较特殊,岩石化学成分表现为过铝性岩石,标准矿物刚玉含量高达4.6%~18.2%,但全岩 $\delta^{18}\text{O} < 10\%$ (5.46‰), 仍具同熔型特征。此种成因类型,相当于皮切尔的加里东 I 型花岗岩和科迪勒拉 I 型花岗岩^[11]。成矿类型主要为钨、钼(钨)、铁、硫、铜、铅锌、多金属、黄金、金银等。

三、改造型

省境改造型花岗岩包括晚元古代梅坝单元、茶地单元,志留纪西溪、岭兜超单元、金寨单元,二叠纪贡川序列,中三叠世宣和序列、山阳序列等二长花岗岩、钾长花岗岩,属于比较典型的主要由上地壳物质部分含有下地壳物质部分熔融的侵入体,造岩矿物常见黑云母,部分见白云母,黑云母属铁质黑云母。一般不含闪长质包体或含有较多变质岩捕虏体,副矿物铁、钛矿物中以钛铁矿为主,较富含独居石、刚玉,锆石标型属壳源型。标准矿物刚玉含量一般大于1%,含铝指数较高,大于1.1, A—C—F 图(图5a、b、c)中投在 AN—Bi 线上方。Rb、Nb、Sn 等微量元素普遍含量较高。⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 大于0.710,相当于皮切尔的 S 型花岗岩。成矿主要为伟晶岩型钨锡、铌钽为主。

重要的是省境存在着大量的介于皮切爾 I 型和 S 型花岗岩之间的过渡型岩石,其源岩可能来源于下地壳部分熔融,可能混有少量幔源物质。这类岩石包括中三叠世吴东山序列的中性、中酸性岩类以及二叠纪蛟洋超单元、晚侏罗世永兴超单元、古竹超单元酸性岩类。造岩矿物主要为普通角闪石、黑云母。永兴和古竹超单元各深成岩体黑云母多属铁质黑云母,个别或少数属铁叶黑云母或镁质黑云母。一般不含闪长质包体,或兼含变质岩捕虏体和少量闪长质包体。副矿物磁铁矿含量一般高于钛铁矿,锆石标型属壳幔混合型。标准矿物刚玉,岩石含铝指数及锆初始比值介于同熔型和典型的改造型花岗岩之间, A—C—F 图(图5c、d)中多投在 AN—Bi 线附近及其上方,微量元素 Cr、Ni、Co、V 及 Rb、Nb、W、Sn 等含量均较高。成矿与钨、锡、铌、钼、铁、硫铁矿等关系密切。这类岩石本课题也暂归属于改造型花岗岩。

四、分异型

该种成因类型岩石主要见早白垩世洪山超单元晶洞碱长花岗岩和魁岐超单元晶洞碱性

表3 福建省侵入岩

成因类型	源岩	构造环境	共生火山岩	岩石谱系单位		主要矿物	包体
				时代	岩石类型		
幔源型	上地幔	滨太平洋构造活动带	玄武岩	K ₁	岱前超单元辉长岩	普通角闪石、辉石	
					长基单元斜辉橄辉岩		
		陆间裂隙或断裂带	细碧岩等	Pt ₃	王母山单元方辉橄辉岩、辉石岩	橄辉石、辉石	
					包处单元橄辉岩、辉石橄辉岩		
同熔型	下地壳和上地幔	滨太平洋构造活动带中 断陷(区)带或断裂带	流纹岩、英安流纹岩、英安岩、安山岩等	K ₁	玛坑超单元钾长花岗岩	黑云母	不含或少含 闪长质包体
					邑坂超单元二长花岗岩		
					福岭超单元石英二长岩、(石英)正长岩		
					钟腾超单元闪长岩、石英闪长岩、石英二长闪长岩、花岗闪长岩		
			英安岩、安山岩等	J ₃	上都超单元石英二长岩	普通角闪石、黑云母、辉石	较多同源闪长质包体
					双峰单元花岗闪长岩		
					虹垂超单元(石英)闪长岩、石英二长闪长岩		
		后加里东拗陷边缘裂陷带	流纹岩、玄武(安山)岩等	J ₁	永定超单元钾长花岗岩	黑云母	
					峰市超单元二长花岗岩		
					新街序列花岗闪长岩		
					太拔序列辉石闪长岩、辉石二长闪长岩		
				P	洋地单元角闪正长岩	普通角闪石、黑云母、辉石	不含或少含 闪长质包体
					安村单元石英二长岩		
					溪坪序列石英二长闪长岩、花岗闪长岩		
					石头坂序列角闪石岩、(石英)闪长岩		
		陆缘断裂带或岛弧	缺	S	光坑单元花岗闪长岩	普通角闪石、黑云母	含变质岩和 闪长质包体
					蒲洋格序列石英二长闪长岩、石英二长岩		
					夏茂超单元石英闪长岩		
			中酸性火山岩	Pt ₁	上坪超单元石英闪长岩、英云闪长岩		
改造型	上地壳(J ₃ 含有深源物质)	滨太平洋构造活动带中 断隆(区)带和断裂带	流纹岩、英安流纹岩等	J ₃	古竹超单元钾长花岗岩	黑云母	一般不含闪长质包体
					永兴超单元二长花岗岩		
				T ₂	山阳序列钾长花岗岩	黑云母、白云母	
					宣和序列二长花岗岩		
		后加里东断陷隆起	缺	P	吴东山序列石英闪长岩、石英二长闪长岩、花岗闪长岩	普通角闪石、黑云母	
					蛟洋超单元钾长花岗岩	黑云母	
			缺	S	贡川序列二长花岗岩		
					金寨单元钾长花岗岩	黑云母、白云母	
		加里东褶皱隆起	缺		岭兜超单元钾长花岗岩		含较多变质岩捕虏体
					西溪超单元二长花岗岩		
分异型	上地幔和下地壳	韧性剪切带	缺	Pt ₃	茶地单元钾长花岗岩	黑云母	
					梅坝单元二长花岗岩		
分异型	上地幔和下地壳	超壳断裂带	碱长流纹岩等	K ₁	魁岐超单元晶洞碱性花岗岩	钠铁闪石、霓石等	一般不含闪长质包体
					洪山超单元晶洞碱长花岗岩	不含或少含碱性矿物	

成因类型划分表

副矿物	锆石类型	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	AN/C	A-C-F 图中位置	δEu	特征微量元素	主要矿产	皮切爾等 成因分类 相比较
磁铁矿	幔源型	0.705 8	0.52~0.91	AN-Ho 线上	0.69~1.44		蛇纹石、滑石、 铬铁矿、黄金 等	M
磁铁矿 铬尖晶石			0.14~3.58		AN-Bi-DI 区			
磁铁矿、榍石	壳幔混合型	0.703 9~0.707 6	0.66~1.10 (多小于 1.05)	多在 AN-Bi 线下方,玛 坑等超单元 少量投在 AN-Bi- CORD 区	0.37~0.66	一般 Cr、Ni、 Co、V、Ba、 Cu、Au 等微 量元素含量 较维氏值 (1962)高	钼、铅锌、铜、 铁、黄铁矿、黄 金、(钨)等	I
					0.69~0.95			
					0.72~1.35			
					0.27~0.82			
					0.75~1.13			
					缺			
					0.99			
磁铁矿 钛铁矿					0.83~1.11			
					0.68~1.09			
磁铁矿								
磁铁矿、钛铁 矿、独居石		0.705 7~0.712 6	0.95~1.22		0.28~0.57	一般 Rb、Nb、 W、Sn 等微量 元素含量较维 氏值(1962)高		I+S
					0.40~0.55			S
钛铁矿、磁铁矿、 独居石、刚玉	壳源型	0.708 4~0.721 3	1.02~1.27 (多大于 1.05)	多投在 AN-Bi 线及 其上方,少 部分投在 AN-Bi-Ho 区	0.61~1.23	Cr、Ni、Co、Cu、 W、Sn 较高	钨、锡、铌、钽、 稀土等	I+S
	壳幔混合型				0.54~0.87			
	壳源型				0.51	一般 Rb、Nb、 Sn 等元素含 量较维氏值 (1962)高		S
					0.24~0.83			
磁铁矿、稀土 矿物	幔源型	0.704 1~0.713 1	0.87~1.02	不固定	0.12~0.76	Cu、Nb、Sn 等 含量较高	钽、铌等	A
	壳幔混合型							