

福建沿海中生代变质带的 混合岩化作用特征

李根坤 林文生 李昌泽^①

(福建省地矿局区调队)

提要: 本文从岩石学、矿物学、交代结构、稀土元素地球化学方面阐述了不同混合岩类型的基本特征,并建立了三个混合岩化演变系列、论述了岩化特征。

一、区域地质概况

福建沿海中生代变质带是中国大陆东部最年轻的变质带之一,地层时代属晚三叠世—侏罗纪。该带北起马祖,向西南经平潭、莆田、晋江、东山,进入广东南澳,长400km,宽38~58km,呈北东向狭长带状濒海展布。著名的长乐—南澳深断裂纵贯全带,并将之分为东西两个亚带,西亚带的下部(T_3-J_1)是一套陆源碎屑建造,上部(J_3)为中酸性火山岩建造;变质轻微,仅达低绿片岩相,原岩面貌基本保留;构造形变以发育开阔——中常程度的短轴褶皱为特征,并伴有走向北东的脆性断裂。东亚带的下部为火山复理石建造,上部为中酸性火山—沉积建造;变质作用达高绿片岩相—低角闪岩相,还进一步发展成强烈的混合岩化作用,原岩均变为片岩、变粒岩、浅粒岩以及各种混合岩类;在构造形变方面则形成了地槽区所特有的倒转,同斜褶皱以及反映了深部构造层次的韧性剪切带。总体来看,变质带的活动强度具有自西向东逐渐增强的变化特征。

本带的混合岩,岩类复杂,形态多姿,与变质岩具有密切的渊源关系,它们在空间上彼此有规律地组合成强弱不一的、与褶皱格局相一致的混合岩化强度带。本文主要阐述这些混合岩类的岩石和演变特征,并对它们的成因及与花岗质岩石的关系作一些探讨。

二、混合岩化强度带的划分

依照混合岩的共生组合和空间分布特征,本区可划分四条混合岩化强度带。由强至弱简述如下:

(一) 福清官下一晋江宝盖山—岩雅混合花岗岩带

该带沿东亚带的复背斜核部断续出露达300km,构成混合中心,总体方向北东45°左右。以中段晋江宝盖山地区最宽,约10km,往两端均有变窄之趋势。主要岩性包括:混合花岗岩、混合花岗闪长岩和混合岩。不同岩性常相间分布,反映了变质地层的原始

^① 参加野外和室内工作的尚有郭烈光、陈铭家、宋彩珍等同志。

层状构造。残留体和残影体比较发育,产状与岩性层大致相同。与围岩的关系总是整合的,但在纵向上随着褶皱枢纽的起伏亦有一定的变化:中段晋江宝盖山地区与围岩基本为连续过渡,即从混合中心,向外交代斑晶逐渐减少,由花岗质递变为含斑的混合岩,再变为无斑的混合岩;南段东山岩雅,中心为花岗质岩石,向外变为与变质围岩间层产出,再变为以后者为主;北段福清官下,花岗质岩石已具有一定的侵位特征,变质岩多呈残留顶盖出露于地形较高的部位。产生这种变化可能的原因是:区域变质的后期,随着热流的进一步升高,在东亚带的较下部层位,物质可能已出现重溶甚至重融,达到了再生岩浆的状态,有的基本就地冷凝成为混合花岗岩,有的受到动力影响之后则移动到较上部层位,成为与围岩关系较清楚的交代侵入体。而由于东亚带的褶皱掀起幅度系以晋江、东山、福清为序依次变小,因此我们在现代侵蚀面上才会看到上述的混合花岗岩的产状变化。

(二) 福清沙埔—晋江灵秀山—东山亲营山混合岩带和平潭上楼—晋江金井混合岩带

这两个带分别居于混合花岗岩带二侧,对称分布,层位属上三叠统一下侏罗统,区域变质背景为低角闪岩相,在构造上位于复背斜翼部。因后期岩体破坏及海域分隔,出露较断续,宽5~8km不等。主要岩性有四种,即条带(条纹)状混合岩、似文象揉皱状混合岩、条痕状混合岩、片麻状混合岩,它们分别代表了上三叠统一下侏罗统一定的原岩层位,与相应的变质岩有着密切的渊源关系。此外还有少量角砾状混合岩、肠状混合岩、阴影状混合岩等。有时也有混合花岗岩类分布,但规模一般不大,长数公里,宽数十到数百米,形成小型的混合中心。各种脉状、囊状、团块状的长英质、花岗质、伟晶质脉非常发育,并呈现出非常复杂的交切关系,反映了次数频繁的混合岩化活动特点。混合岩的片麻理、条痕、条纹总体方向系以北东为主,但在局部露头常因揉皱而产状多变。揉皱最为强烈的是晋江灵秀山和金井,在那里,面理构造常被各种走向和倾向都不相同的剪切带所交切而出现褶曲和错断,外貌奇特。在夹有残留体的露头上,面理可随残留体的褶曲而拐弯,状如涡流,表现出较深构造层次上的岩石特征。

(三) 晋江石刀山—东山建宅混合质变质岩带

该带位于福清沙埔—晋江灵秀山—东山亲营山混合岩带西侧,出露零星。层位属上侏罗统,区域变质背景为高绿片岩相。岩石类型包括各种混合质变粒岩、浅粒岩,也有一些原岩面貌比较清楚的变质火山岩和变质硅泥质岩。在单个手标本上,与未受混合岩化的变质岩很难区别。但在露头上则可看到大小不一的长英质、花岗质脉穿插,伟晶岩少见。镜下也可看到一些交代结构,其中以石英活化形成豆荚状或脉状集合体最为常见,偶或出现蠕英石和新生微斜长石。常有花岗岩顺片理贯入,宽度小,延伸长,与变质岩呈间层产出,岩石具片麻理,产状与围岩相同,并见有交代结构发育。这是一种再生溶浆在构造挤压作用下,上升到较浅部形成的同构造岩体。

此外,在平潭上楼—晋江金井混合岩带的东南侧濒海地区,也有一些零星的混合质变质岩出露,由此推测,海域中很可能还存在着一个与晋江石刀山—东山建宅混合质变质岩带对称分布的强度带。

综上所述,福建沿海的混合岩化强度带具有带状分布之特点,以混合花岗岩为中心,构成了一个完整、对称的热背斜,表现出与褶皱构造和区域变质作用密切的成因联系。

三、主要混合岩类型及其特征

依据基体和脉体的量比、变质岩的改造程度及交代作用强度和混合岩的构造形态，本区混合岩（广义的）可分为混合质变质岩类、混合岩（包括长春地质学院划分的注入混合岩和混合片麻岩类）及混合花岗岩等三大类。

（一）岩石学特征

1. 混合质变质岩类：是变质岩受较轻混合岩化作用形成的岩石，主要分布混合质变质岩带，在混合岩带亦有零星出露。脉体约占10~30%，变质岩面貌基本保留。根据基体岩性可进一步分为：

（1）混合质黑云角闪斜长变粒岩类：出露于变质带北段福清高山、莆田东潘一带的上三叠统一下侏罗统中，呈鱼群状作为片麻状混合岩的残留体产出，与混合岩有数厘米宽的过渡带，在残留体的内部则表现为一些无限的眼球状或小团块状脉体的稀疏分布。暗色矿物含量高，达30~40%，使岩石呈深灰的色调，在野外易于辨认。混合岩化后受到改造的程度很弱，仅表现为石英的活化和钾质的注入交代。

（2）混合质黑云斜长（二长）变粒岩类：分布广泛，是上侏罗统的主要岩性，呈巨厚层状产出；在上三叠统一下侏罗统则多为残留体状。矿物成分除参与定名者外，有时也含有少量角闪石、石榴子石。岩石多呈条纹、条痕或细痕状构造。基体基本保留变粒岩的稳定平衡结构，脉体常为微斜长石集合体，部分为原岩组分的活化。

（3）混合质浅粒岩类：产状与前一类岩石相同。暗色矿物含量少于5%，有时只有1~2%；长石含量60~70%，高者80%。视钾长石和斜长石的含量变化情况，可分别进一步定名为混合质二长浅粒岩、钾长浅粒岩，斜长浅粒岩，但后者少见。开始混合岩化时以原岩组分的重新活化为重，特别是石英常呈细豆荚状、蠕虫状集合体，但在宏观形态上与未受混合的浅粒岩很难辨认。如进一步加深则可出现似文象揉皱状构造，最后成为似文象揉皱状混合岩。

2. 混合岩类（狭义的）：变质岩受强烈混合岩化改造后的产物。基体较少，新生脉体占30~90%，二者间界线模糊不清。依其构造形态可分为条带状混合岩、条纹状混合岩、条痕状混合岩、似文象揉皱状混合岩、片麻状混合岩，它们都是上三叠统一下侏罗统的主要岩石类型，在平面和剖面上具有较明显的层状分布特点。在局部露头上也有一些形态特殊但分布不广的岩石如角砾状混合岩、肠状混合岩。从与残留体的关系大致可以确定它们分别是由各种变粒岩、浅粒岩和片岩演变而来的，不同的变质原岩混合岩化后的结构、构造、矿物成分均有很大变化。总的看来，强烈的交代作用是这些混合岩共同特点，脉体物质除外来的钾、钠、硅外，部分为就地取材。

必须特别指出，似文象揉皱状混合岩是本区独特的、也是我们在这次工作中首次命名的一种岩石。它由烟灰色的扁平豆荚状石英集合体和浅色长石相间定向分布，酷似矿物学上的文象构造；加之它往往具有许多因揉皱而引起的奇特外貌，因而得名。这种混合岩是由浅粒岩演变而成的，暗色矿物极少；脉体的形成以原岩矿物的活化、转移、集中为主，交代现象不明显。

3. 混合花岗岩类：是混合岩化作用最高阶段所形成的较为均匀的块状岩石。按岩性分为：（变斑）混合二长花岗岩、白云母（变粒）混合花岗岩、（变斑）混合花岗闪长岩等。

不同成分的混合花岗岩常呈层状相间分布，有时则表现为多斑与少斑或无斑岩石的相间，彼此呈过渡关系。这种现象在晋江宝盖山一带发育最好。在那里，暗色残影也特别发育，呈藕断丝连状、“M”形褶曲状等，其方向与片麻理、变斑晶排列方向一致，走向为北东40~50°。东山岩雅的混合花岗岩，原始层状构造特征也有一定保留，但它与片岩之间多呈交代侵入接触，说明岩体已有一定位移，属于半原地型。

混合花岗岩主要由钾长石、斜长石、石英、黑云母、白云母组成，偏中性岩石中有角闪石出现。含白云母是这类岩石的一大特点，特别是在与片岩类的接触带附近，白云母含量可达5~10%。此外，少数岩石还见有矽线石残余。岩石具变斑状和半自形交代结构。变斑晶为钾长石，晶形完好，大小悬殊，大者可达6 cm，具不规则的格子双晶和整齐的环带构造，沿环带包裹大量斜长石、黑云母、石英包粒。

（二）混合岩的交代特征

各类混合岩的交代现象十分普遍，交代结构极其发育，其顺序可归纳如下：

1. 最早的交代作用表现为原岩浅色组分的活化、迁移、重结晶。活化后的石英和钾长石呈蠕虫状，斜长石则由原来粒度较小的平衡镶嵌的变晶聚合并成为大晶体。

2. 接着发生了一次钠—硅交代，形成蠕英石。这种蠕英石中的蠕状石英较大，多呈不完整的碎屑形态。有些蠕状石英与相邻的石英大颗粒相接触，二者光性方位不一样。

3. 钾长石变斑晶的形成，这是最强烈的一次交代作用。可见钾长石包裹上述蠕英石，还包裹了残余的斜长石和石英变晶，后二者呈稳定的三边平衡结构，有的钾长石沿斜长石(010)方向交代，呈交代残余条纹或交代反条纹结构。

4. 接着是钠交代，主要交代钾长石形成各种形态的交代条纹，少数形成小叶片状钠长石集合体，沿钾长石间隙分布。

5. 又一次蠕英石形成，它也可能是与上述钠交代相伴而发生的。它们多呈舌状、冠状或不完整的环边状附着在主晶斜长石边部生长，并向相邻钾长石一侧交代。少数蠕英石成簇状或脉状分布于钾长石边缘或裂隙中，但未发现斜长石主晶。

6. 最后表现为白云母化。这是又一次钾交代，但较微弱，可见白云母呈二至三组方向交代斜长石。

除上述外，二氧化硅也始终是混合岩化过程中相当活跃的组分，它经常可以从原来组分中活化并迁移出来，与外来组分混和，溶蚀交代其他矿物，形成交代缝合线结构和交代穿孔结构。

总之，本带的混合交代作用是非常频繁的，在野外，也可看到各种脉体复杂的交切关系。毫无疑问，这些都是混合岩化作用长期、多次活动的表现形式。

（三）矿物学特征

钾长石：除变斑混合花岗岩中晶形较完整外，一般形态不规则，格子双晶发育。从光轴角及光学三斜度可以看出，不同地区混合岩和混合花岗岩的三斜度大致相近，但也有一些变化，从北东往南西略有降低。马莫对钾长石有序度的地质意义曾给予高度评价，认为钾

长石的热状态主要由地质体形成的热历史所确定。有些学者认为, 岩浆花岗岩钾长石有序度较低, 多半为正长石, 而交代花岗岩钾长石有序度较高, 为微斜长石。显然, 本区钾长石三斜度反映了该矿物交代成因的特征。

钾长石的化学成分及标准分子计算结果表明, 其Or:Ab相当稳定, Or=82.9~92.7%, Ab=6.8~1.5%。据脱特尔和鲍温的划分, 一般认为Ab<15%者为交代成因, Ab>15%者为岩浆成因。本区钾长石Ab均小于15%, 也反映了其交代成因的特征。

斜长石: 呈短而宽的板柱状, 无双晶或具简单的聚片双晶, 复杂双晶罕见。在混合花岗岩的局部部位, 斜长石复杂双晶增多, 韵律环带明显。

黑云母: 呈细鳞片状及丝缕状, 具深棕—淡棕黄多色性。在混合花岗岩中稍具绿泥石化。混合花岗岩中黑云母的四次配位的Al较混合岩中增多, 这与混合花岗岩形成温度较高可能有关。

角闪石: 具蓝绿色多色性, 基本继承变质岩的光性特征。

石英: 变质岩中石英呈等轴粒状, 活化及外来SiO₂呈不规则豆荚状、条带状结晶集合体, 波状消光明显。

(四) 稀土元素地球化学特征

各类混合岩稀土元素总量较为稳定(表1), 轻稀土高度富集, 重稀土元素强烈亏损, 在配分图上呈向右陡倾的平滑曲线, 基本不出现铈负异常。混合岩和混合花岗岩的这种稀土配分模式表明, 二者都是地壳物质在大致相同深度下混合交代或重溶而成的, 并没有经过岩浆分异结晶阶段; 而二者间相似性则反映了它们在成分上的密切继承关系, 岩性的差别只是交代程度不同而已。

四、不同变质岩在混合岩化过程中的演化规律

众所周知, 混合岩是变质岩经混合岩化作用的产物, 区域性的热流升高和岩汁的加入是混合岩化的条件, 而变质岩则是混合岩化的基础。不同的变质岩在相同的混合岩化强度下可形成性质明显差异的混合岩。根据大量的野外和室内岩矿资料, 我们初步建立了本区分布最广的三种不同变质岩在混合岩化过程中的演变系列。这三个系列分别代表了一定的原岩层位, 因此它们的建立对于确定本区的填图单位具有相当重要的意义。

(一) 黑云角闪斜长变粒岩→混合质黑云角闪斜长变粒岩→(暗色)片麻状混合岩→混合花岗闪长岩

该系列在福清沙埔、莆田东潘等地出露较全。黑云角闪斜长变粒岩呈鱼群状残留于片麻状混合岩中, 构成“鬼影”地层。由此向混合中心, 则逐渐演变为混合花岗闪长岩。各方面资料表明, 这个系列的原岩是一套中性火山岩, 其最直观的特征是暗色矿物含量高, 故岩石均呈深灰—灰白的色调。在混合岩化初始阶段, 主要表现为原岩石英的活化及少量钠质交代(蠕英石形成); 到混合岩阶段, 粒度逐渐变粗, 且暗色矿物减少, 斜长石牌号降低, 并有大量的钾、硅带入及相应的铁、镁、钙带出; 到了混合花岗闪长岩阶段, 物质的迁移已相当微弱, 主要表现为岩石均匀化程度的增高。

(二) 黑云斜长(二长)变粒岩→混合质黑云斜长(二长)变粒岩→条痕状混合岩→

表 1 稀土元素分量
Table 1 REE Contents (ppm)

样号 岩石名称 数值 元素	241- ⁵	248- ²	241- ⁶	258- ²	球 陨 石 (Herrmann, A. G 1970)
	条痕状 混合岩	条痕状 混合岩	混合花岗 闪长岩	变斑混合 二长花岗岩	
La	19.09	26.00	22.16	22.33	0.32
Ce	45.59	63.91	50.07	52.92	0.94
Pr	3.89	5.38	4.14	4.88	0.12
Nd	15.26	18.78	15.60	17.49	0.60
Sm	2.16	2.76	2.41	2.93	0.20
Eu	0.64	0.55	0.63	0.86	0.073
Gd	1.13	1.39	1.13	1.82	0.31
Tb	0.09	0.13	0.14	0.24	0.05
Dy	0.58	0.64	0.67	1.22	0.31
Ho	0.09	0.09	0.10	0.20	0.073
Er	0.25	0.24	0.30	0.60	0.21
Tm	0.04	0.04	0.04	0.08	0.033
Yb	0.58	0.34	0.45	0.83	0.19
Lu	0.09	0.09	0.09	0.09	0.031
Y	3.94	3.54	4.02	6.77	1.96
ΣREE	93.42	123.88	101.95	113.26	
ΣLREE	86.63	117.38	95.01	101.41	
ΣHREE	2.85	2.96	2.92	4.81	
ΣLREE/ΣHREE	30.40	39.66	32.54	21.08	
δEu	1.20	0.80	1.10	1.16	

* 湖北省地质局中心实验室分析。

(变斑) 混合二长花岗岩

本系列自北而南都有出露,主要在晋江尤广。其原岩相当于中酸性火山岩及火山碎屑沉积岩。该系列在混合岩化初级阶段主要表现为石英和钾长石的活化,少量钠-硅溶液活动并附着在斜长石边缘形成蠕英石再生边,部分斜长石聚合并增大;至混合岩阶段,则形成大钾长石变晶,发育交代包含、交代反条纹、交代残余条纹、交代缝合线结构,石英也继续活动并与外来的硅质合并成条带状,透镜状的集合体,有时有少量钠-硅活动,形成细小叶片钠长石集合体及钠质交代条纹,并出现第二次的蠕英石;混合花岗岩阶段,主要表现为矿物组合之间的重新调整、结晶而已,因而交代结构并不显著。上述变化与岩石化学成分的变化颇为一致。

总之,该系列的演变过程大致可归纳为这样的模式:

黑云斜长变粒岩 $\xrightarrow[\text{少许硅、钠溶液活动(首次蠕英石出现)}]{\text{石英、钾长石开始活化}}$

混合质黑云斜长变粒岩 $\xrightarrow[\text{钾长石扩大生长,钾质溶液大量活动,钾长石变斑大量出现}]{\text{斜长聚合并、扩大生长,二次蠕英石出现}}$

条痕状混合岩 $\xrightarrow[\text{钾质溶液活动}]{\text{均匀化}}$ 混合二长花岗岩类。

(三) 浅粒岩→混合质浅粒岩→似文象揉皱状混合岩

这个演变系列在野外产状上常与上一个系列相间产出。原岩相当于酸性火山岩。火山碎屑沉积岩。在这里，石英活动得最早，也是最为活跃的组分。初始阶段，石英就开始活化呈小豆荚状，但颗粒尚未重结晶移动；继之，则呈乳滴状穿孔交代长石（部分有外来硅质的加入），呈较粗大的扁平豆荚状，并具不均匀消光，有些“豆荚”尖灭而渐变为颗粒状石英。到了混合岩阶段，石英多呈相互平行的扁平状长豆荚，与长石构成似文象构造。从长石看，也大多为原来组分的重新调整、聚集重结晶，外来组分的加入不明显，交代结构不发育。所有这些都与岩石化学没有明显变化的特征是一致的。这也是该系列与前两个系列的差别之处，究其原因，可能与其原岩偏于酸性有关。因为混合岩化的实质就是钾、钠、硅的带入和铁、镁、钙的带出，而酸性岩类本身是富钾、钠、硅和贫铁、镁、钙的，故物质的交换便近于平衡。

目前尚无足够的资料可以说明浅粒岩类与混合花岗岩类之间的演变关系，但从晋江方劳山等地变斑混合二长花岗岩中有少量浅粒岩、变粒岩残留体看，这两种岩石都可能最后演变成混合二长花岗岩类。东山的白云母混合花岗岩也可能与浅粒岩有关。

五、混合岩与花岗质岩石的生成联系

变质带中的花岗质岩石分布广泛，时代均属燕山期。参照董申保教授的划分方案^①，可将之划分为带状-边缘混合型、岩浆混染型、岩浆侵入型和火山侵入型等四种成因类型。它们的基本特征归纳如表2。

带状-边缘混合型（亦即前述混合花岗岩带），沿东亚带复背斜核部呈北东向带状展布，与两侧的混合岩呈过渡和交代侵入接触。这种岩石与混合岩的关系密切，是后者发展的高级阶段的产物，在岩石学、岩石化学、地球化学方面都有一脉相承的演变关系，这在前面已有述及。

岩浆混染型呈带状、大岩基状展布于东西两个亚带之间，侵入于上侏罗统南园组和变质岩中，与变质岩常呈间层状产出，其上被下白垩统石帽山群复盖。从表2所列，使我们得出结论：这种岩体是深部变质地层重熔产生的再生岩浆，沿断裂带上侵，交代围岩而形成的，也是混合花岗岩进一步演化的产物，属同构造岩体。

岩浆侵入型花岗岩在西亚带分布较广，侵入于南园组和岩浆混染型花岗岩，在东亚带则侵入于混合岩和混合花岗岩。与前两种类型不同，这种花岗岩缺少片麻状构造，它是在晚侏罗世构造活动顶峰期之后，深部地壳在减压效应下发生重熔，并经一定分异，上侵到地壳浅部而形成的。

火山侵入型主要分布变质带与其西侧的福安—南靖断裂带之间，是一种特殊的花岗岩类，以福州魁岐岩体为代表。岩体侵入的最新地层为下白垩统石帽山群火山岩系，部分与后者共生，受火山构造控制，二者在岩石化学和地球化学方面颇为相似。岩石以发育晶洞构造为特征。这种花岗岩形成之后，本带在燕山旋迴的花岗质岩浆活动已进入尾声阶段。

① 董申保，花岗岩成因类型的划分，《变质地质学的一些基本问题》，长春地质学院前寒武纪地质研究室汇编。

表 2 福建沿海中生代变质带花岗质岩石特征对比表
 Table 2 Comparison of the Characteristics of Granitic Rocks
 in the Mesozoic Metamorphic Zone along the
 Coast of Fujian Province

成因分类 特征	混合花岗岩 (带状—边缘混合型)	岩浆混染型	岩浆侵入型	火山侵入型	
代表性岩体	方劳山、官下	惠安	同安	魁岐	
宏观特征	形状	带状—顺层状	岩基	岩基、岩株 岩盖	
	接触关系	混合交代侵入接触 界线模糊,部分与混 合岩过渡。	接触清楚,有混染 交代,围岩接触变质 不强。	侵入接触,有冷凝 边和接触变质现象。 围岩接触变质弱。	
	包体	变质岩残留体多, 其分布与区域构造线 一致。	火山岩捕虏体多。	捕虏体多, 并见岩浆折离体。	少见
	围岩	低角闪岩相变质岩 及混合岩。	低绿片岩相变质 岩、混合岩及未变质 地层	低绿片岩相变质岩 及未变质地层。	钙碱性火山岩
	构造	片麻状	部分片麻状	均匀块状	晶洞
	相带情况	无结构分带	分带不明显	垂直、水平分带明显	以垂直分带为主
	运动情况	半原地	异地		
岩石特征	岩石类型	混合花岗岩闪长岩、 变斑混合二长花岗 岩、混合花岗岩。	二长花岗岩	黑云母花岗岩 含黑云母花岗岩、 晶洞钾长花岗岩	
	结构	变斑、不等粒花岗 变晶	混染结构	正常岩浆半自形柱粒状结构	
	钾长石 (St)	Mic(0.65~1.00)		Or(0.43)	
	斜长石	复杂双晶3~13%	复杂双晶常见		
		韵律环带不普遍	普遍具韵律环带		
	石英	细粒集合体,不均匀。	他形粒状,分布于其它矿物间		与钾长石文象共生
	黑云母	Mg/Fe = 0.75			
交代现象	以K交代为主,Na、 Si交代次之,交代次 数甚多	以不明显的岩浆,晚期Na交代较常见			
付矿物	不透明矿物	21.77	41.71	73.74	25.46
	稀有、稀土、放 射性矿物	1.67	1.52	0.56	0.83

续表

特 征	成因分类	混合花岗岩 (带状一边缘混合型)	岩浆混染型	岩浆侵入型	火山侵入型
	地球 化学 特征	Na ₂ O/K ₂ O	增加至1.06	0.879	0.756
	碱度率	2.65	3.08	3.95	4.95
	ΣREE	101.95~131.65	170.55		
	δEu	1.10~1.21	0.73		
	ΣLREE/ΣHREE	21.08~32.54	11.28		
	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	0.7046~0.7112		0.7097~0.7153	(0.70546)

$$\text{碱度率} = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$$

总之, 随着地壳的变迁和发展, 本带的花岗质岩石具有以下几方面的演化规律: 物质成分从以壳源为主到壳、幔物质的混熔, 形成深度从深到浅, 形成方式从深熔、交代到结晶分异, 形成环境由动荡到安定。这个花岗岩序列的发生和发展, 与区域变质作用、混合岩化作用有着密切的生成联系, 二者所代表的热事件是在地壳变化中相继产生的两个重要现象。花岗岩序列的发生, 发源于变质作用, 产生混合岩和混合花岗岩, 而其最后阶段, 则可以形成真正的岩浆花岗岩。

六、小结和讨论

综上所述, 福建沿海中生代变质带的混合岩化作用具有如下特征:

(一) 混合岩化作用与构造关系密切, 总体上构成与褶皱格架相一致的带状混合中心, 出现完整、对称的强度分带。但在各个强度带上, 尚可见到不同的岩性呈间层状产出, 表现出原始地层产状的控制作用。

(二) 混合岩化作用的演化, 基本经历了从变质岩→混合质变质岩→混合岩→混合花岗岩的发展历程。混合质变质岩带与高绿片岩相, 混合岩带与低角闪岩相基本分别相对应, 而混合花岗岩带则属于低角闪岩相中心部位。由此表明, 混合岩化作用与变质作用具有密切的渊源关系。深部热流和溶液的上升基本继承了变质作用阶段的热流分布格局。

(三) 从另一角度看, 混合岩化作用的区域变质背景是高绿片岩相—低角闪岩相, 其温度在500~600℃之间。显然这种温度尚不足以使变质地层产生重熔。由此可以推论, 引起混合岩化作用产生的脉体主要不是来自变质岩本身, 而是由地壳深部供给的。

(四) 在混合岩化作用的整个过程中, 始终存在着大量钾、钠、硅等外来组分的带入, 以及铁、镁、钙等原岩组分的带出。伴随这种带入和带出, 交代现象十分普遍, 出现各种交代结构, 尤以钾交代为著。可以认为, 碱质交代是本带混合岩形成的主要因素。但也有一些岩石如似文象揉皱状混合岩, 由于其原岩偏酸性, 因而组分的带入和带出, 以及交代作用并不十分明显。它是区域性热流升高后, 变质原岩产生活化, 随之低熔组分产生部分重熔, 使岩石呈塑变状态时, 在应力作用下形成的。

(五) 混合岩中的脉体形态丰富多彩, 它们呈网脉状、块状、眼球状和脉状交代原有的变质岩层。有些脉体延伸很远, 有的则是“无根的”, 说明它们的来源不可能是粘性很

大的酸性岩浆,而是一些具有很高渗透和交代能力的溶液,正如第3点所指出的,它们系来自地壳深部。

上述特征说明,本带混合岩化作用的发生,并未经过变质原岩的重熔,而是在区域变质作用后期,由于热流的进一步变化,那些来自深部,携带着钾、钠、硅组分的溶液沿着深断裂带上升,对变质原岩进行持续不断的渗透、注入交代而产生的。因而,它应属于再生型混合岩化作用。

目前,越来越多的资料证实,自中生代以来,库拉—太平洋板块向欧亚大陆板块的不断俯冲,是我国东部一系列北东—北北东向构造带的动力因素。这种俯冲作用,使现今的福建沿海地区自晚三叠世开始形成了一个以长乐—南澳深断裂为中心的构造活动带。晚侏罗世时,随着构造活动的增强,热流的上升,使构造活动带上的巨厚火山—沉积物产生区域变质作用。板块的运动时快时慢,当其减慢时,地壳处于相对松弛环境,为深部热能和化学能的上升提供了必不可少的通道,它们对变质岩层产生强烈的交代改造,从而在东亚带形成了规模如此宏大的北东向混合岩带。西亚带,板块俯冲深度增大,热流的进一步升高和岩汁成分的增加导致了岩浆的产生,它们沿着某些构造薄弱地带不断上侵定位,构成了上述不同成因的花岗岩带。因此可以认为,本带的变质作用、混合岩化作用、岩浆作用都是中生代以来库拉—太平洋板块与欧亚大陆板块相对运动过程中不同阶段、不同空间的不同表现形式。

本专题调查工作期间曾获得长春地院、南京大学地质系师生的有力协助,董申保教授、孙籍教授、沈其韩研究员、贺同兴教授曾亲临野外指导工作,在此谨致谢忱。

THE CHARACTERISTICS OF MIGMATIZATION OF THE MESOZOIC METAMORPHIC ZONE ALONG THE COAST OF FUJIAN PROVINCE

Li Genkun, Lin Wensheng and Li Changze

Abstract

The migmatization of the Mesozoic metamorphic zone along the coast of Fujian province is strong and rock types are complex, forming a complete, symmetrical intensity zoning which coincides with the framework of folds. In this paper, the authors deal with the basic characteristics of different types of migmatite with reference to petrology, mineralogy, metasomatic textures

and REE geochemistry. On that basis three evolutionary series of migmatization are established. This paper discusses the features of changes in mineral composition, textures and structures and petrochemistry in the process of migmatization of the rocks of various series. The granitic rocks widespread in the metamorphic zone may be classified into the zonal-marginal mixing type, the magma contamination type, the magma intrusion type, the volcanic intrusion type. These granitic rocks have a close genetic relation to migmatite; they originated in different space and in different stages of the Mesozoic tectono-thermal cycle. It has been preliminarily ascertained that the migmatization of this zone possesses the characteristics of paligenetic migmatization. From a plate tectonic perspective, an attempt has been made to discuss the mechanism of migmatization.

(上接第56页)

the latter being younger than the top of the former. The latter is found to overlie the former in two drill holes in Guanghan and at a section of Longquan, Chengdu. There is a lake basin in the Guanghan-Deyang-Zhongjiang area, while the other areas of Sichuan were denuded areas in the earliest Cretaceous. From the late Early Cretaceous to middle Cretaceous, the sedimentary basin shifted towards the southwest, and a lot of eolian sandstone was deposited in the south but the fluvio-lacustrine deposition occurred in the west. In the Late Cretaceous, the sediments were of fluvio-eolian origin in the south but mainly of lacustrine origin in the west, intercalated with some salt deposits. As the Sichuan basin was affected by the first phase of the Yanshanian subcycle from the Late Jurassic to Early Cretaceous, its southeastern part rose owing to southeast-directed compression and the lake retreated towards the northwest. Owing to the effect of the second phase of the Yanshanian subcycle in the late Early Cretaceous to Late Cretaceous, the southwestern part of the basin sank, while the northeastern part rose. Therefore, a disconformity was formed between the Jiading Group and the ChengQiangyan Group.