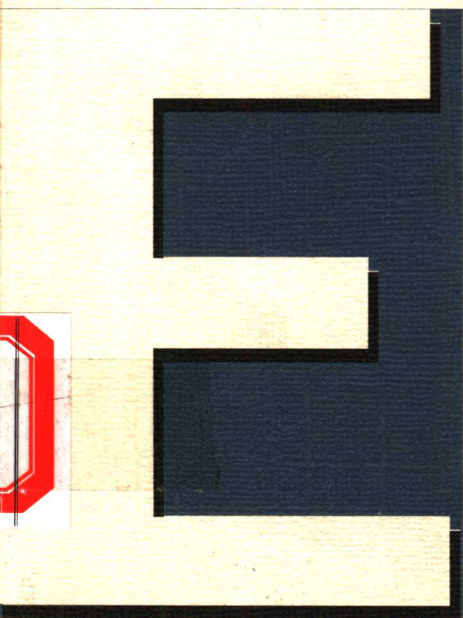


 国家自然科学基金研究专著  
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA



# 中国东南部晚中生代 花岗质火山-侵入杂岩 成因与地壳演化

王德滋 周新民 等著



arth

科学出版社

 国家自然科学基金研究专著  
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA



# 中国东南部晚中生代 花岗质火山—侵入杂岩 成因与地壳演化

王德滋 周新民 等著

科学出版社

## 内 容 简 介

本书从壳幔作用角度剖析了中国东南部晚中生代花岗岩的形成过程,总结了三类花岗质火山-侵入杂岩的时空分布规律及其与伸展构造的关系.从玄武质角砾岩筒中的辉长质麻粒岩包体,获取了玄武岩浆底侵作用的直接证据.在综合研究的基础上,建立了东南沿海晚中生代构造岩浆作用模式.论述了内陆S型花岗岩形成与演化的规律.

本书可供有关高等院校的师生、科研部门的研究人员和研究生阅读.

### 图书在版编目(CIP)数据

中国东南部晚中生代花岗质火山-侵入杂岩成因与地壳演化/王德滋,周新民等著. —北京:科学出版社,2002

ISBN 7-03-009832-3

I. 中… II. ①王…②周… III. ①花岗岩;侵入岩-岩石成因-研究-中国-中生代②花岗岩;火山岩-岩石成因-研究-中国-中生代③地壳运动-研究-中国-中生代 IV. P588.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 077200 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2002年4月第一版 开本:787×1092 1/16

2002年4月第一次印刷 印张:19 插页:1

印数:1—800 字数:437 000

定价:60.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换(杨中))

## 前 言

花岗岩类与火山岩类是组成大陆地壳的主要岩石,探索大陆岩石圈的结构、组成与演化必然涉及对花岗岩类与火山岩类的属性和成因的研究.中国东南部地处太平洋板块与欧亚板块的结合部位,该区广泛分布的晚中生代花岗岩类与火山岩类是强烈的构造活动与岩浆作用耦合的结果.前人对本区花岗岩与火山岩进行过大量研究工作,取得了许多有意义的成果.我们的研究工作大体上始于20世纪80年代初期,曾经较早地注意到花岗岩类与酸性、中酸性火山岩之间的成因联系,提出次火山花岗岩的概念.不久,又提出流纹岩类(火山相)、次火山花岗岩类(次火山相)和花岗岩类(浅成至深成相)构成“时、空、源”密切相关的火山-侵入杂岩,或称花岗质火山-侵入杂岩.尽管人们的认识在不断地深化,但仍然存在一些与花岗岩、火山岩形成有关的重大基础地质问题有待解决.例如,分布于浙闽沿海的晚中生代火山岩主体虽然是流纹岩,但其间普遍夹有面积不足5%的同时代玄武岩.与此相对应的是,这一带的花岗质杂岩,往往亦伴有少量的辉长岩.这些双峰式火山岩以及双峰式花岗质杂岩的起源和形成过程如何?有何地质意义?再如,在中国东南部多处新生代玄武质角砾岩筒中发现辉长质麻粒岩包体,它们形成于何时?是否是玄武岩浆底侵作用的产物?它们与花岗岩的成因有无联系等等.这些都是以往未充分注意的新问题.如能从壳-幔作用的角度去思考这些问题,并采取有针对性的研究方法,相信人们对花岗岩成因的认识必将进入一个新境界,达到一个新高度.

在国家自然科学基金委员会的大力支持下,我们从1997年至2000年重点开展了“中国东南部晚中生代花岗质火山-侵入杂岩成因与地壳演化”专题研究.我们选择浙闽赣诸省有代表性的岩体和岩带,运用地质学、岩石学、地球化学的理论和方法,结合地球物理资料,研究我国东南大陆边缘晚中生代花岗质火山-侵入杂岩的类型、时空分布、物质来源、形成过程和动力学背景.还着重研究了玄武质岩浆底侵作用、壳-幔作用与花岗岩浆形成的关系,岩浆混合作用对岩浆成分多样性的影响,以及花岗质岩浆的运移与侵位动力学等问题.在研究方法上,除了一些常规方法外,根据研究目标和内容的需要,着重采用以下一些方法:①在花岗岩、辉长岩、玄武岩和流纹岩中寻找岩石包体、捕虏体、捕虏晶,寻找“底侵作用”、“壳-幔作用”和“岩浆混合作用”的矿物学、岩石学和地球化学证据;②大量搜集地球物理资料,结合宏观地质观察和深源捕虏体研究结果,了解本区岩石圈壳-幔结构状况;③对花岗岩、火山岩系统进行Nd, Sr同位素研究并制图,寻找花岗岩、火山岩形成与地壳演化的关系;④研究花岗岩、火山岩中锆石的形态、成分等标型特征,提取花岗岩、火山岩的成因信息;⑤利用电子探针和ICP-MS等现代测试手段研究各类花岗岩,特别是其中的副矿物特征.经过课题组同志4年来锲而不舍的努力,我们对中国东南部晚中生代花岗质火山-侵入杂岩成因及其与地壳演化的关系取得了一系列新的认识,比之前人的工作大大地前进了一步.

近30年来,花岗岩研究大体上经历了三个里程碑.1974年,Chappell和White以成岩物质来源为依据,将花岗岩划分为I型和S型,一时间,引发了一股研究花岗岩物质来源

的热潮,这是第一个里程碑。I型和S型均属钙碱系列。铝饱和指数(ASI)是区分I型花岗岩与S型花岗岩的重要参数。ASI大于1.1为强过铝,属S型无疑。ASI小于1.0为准铝,属于I型。ASI介于1.1与1.0之间为弱过铝,属S型还是I型,应视具体情况而定。以江西相山、江西岩背和江西西华山三地的花岗岩、火山岩为例,按其ASI均属弱过铝,但它们均含富铝矿物,且分别与U, Sn, W成矿有关,应属S型花岗岩、火山岩无疑。而有些弱过铝花岗岩,含少量普通角闪石,含有具细粒火成结构的岩石包体,则无疑属I型。由于研究成岩物质来源仍然是研究花岗岩成因的重要内容之一,因此,尽管I型、S型的原始含义有值得推敲之处,但因其已为国际地质界所普遍认可,故我们仍予引用,并通过典型实例的剖析,论证花岗岩、次火山花岗岩与流纹岩在时间、空间和成岩物质来源三方面的一致性,取得了较为满意的结果。

1979年, Pitcher将花岗岩的形成与构造环境联系起来,提出花岗岩的构造环境分类。1993年,他又进一步做了补充,这是花岗岩研究的第二个里程碑。然而在他的分类方案中,对于花岗岩与伸展构造的关系注意不够。我们在研究中发现,中国东南部晚中生代,特别是白垩纪期间,形成一种特殊的构造岩浆组合,即双峰式火山岩(复合岩流)、双峰式花岗质杂岩、A型花岗岩组合。这一组合的构造背景是岩石圈厚度和地壳厚度明显减薄,表明这一时期的中国东南大陆边缘处于不断的伸展之中。中国东南大陆边缘的这一属性与南美安第斯型大陆边缘形成了鲜明对照;后者属强烈挤压型,地壳厚度大,岩石组合以安山岩和英云闪长岩为主,与中国东南部的岩石组合明显不同。我们称中国东南大陆边缘与伸展构造作用有关的岩浆岩组合为陆缘伸展减薄构造岩浆组合,这在一定意义上是对Pitcher分类方案的一个补充。

1990年,美国以Phinney为首的一些固体地球科学家提出了一个跨世纪的大陆动力学计划,列出了八个科学目标,其中关于岩浆系统与火山系统的研究即为其八个科学目标之一,这无疑给花岗岩与火山岩研究注入了新的活力。在大陆动力学计划的启示下,我们意识到研究花岗岩成因决不能脱离岩石圈地幔,除了将目光投向壳-幔边界外,还应注意岩石圈底部与软流圈的界面,研究岩石圈减薄的机制。壳-幔作用包括物质和能量的传输两方面,将壳-幔作用研究引入花岗岩形成机制,可视为花岗岩研究的第三个里程碑的开端。我们在对中国东南部晚中生代花岗质火山-侵入杂岩的研究中,紧紧把握住壳-幔作用这个核心,卓有成效地开展了下列研究工作:①精细研究玄武质角砾岩筒中的辉长质麻粒岩包体,获取玄武岩浆底侵作用的直接物质证据;②研究浙闽沿海典型的岩浆混合现象,提供充分的岩石地球化学证据;③研究早白垩世的复合岩流、岩体、岩墙,充分挖掘其所蕴含的壳-幔作用信息;④在浙、闽、赣三省的花岗岩、火山岩分布区开展系统的Nd同位素地球化学制图,发现Nd模式年龄存在3个低值带和1个低值区;⑤对壳-幔作用相对微弱的过铝质花岗岩,选择有代表性岩体进行剖析,以了解其成岩成矿机制,并有一些新的发现。在综合研究的基础上,以大量地质事实和分析数据为依据,终于在认识上产生一个飞跃:将中国东南部晚中生代花岗质火山-侵入杂岩的成因归结为洋壳俯冲消减、玄武岩浆底侵和中、下地壳深熔三方面综合作用的结果。这一综合构造岩浆模式较为圆满地解释了本区晚中生代花岗岩、火山岩的成因,应该说是立论有据的。然而必须指出,对于赣江断裂以西无火山岩伴生的大面积分布的花岗岩,不能简单地套用这个模式,可能另有其他比较复杂的制约因素,有待今后进一步开展研究。

这本书是集体研究的结晶.全书共分 11 章,各章之间存在有机的联系,形成一个整体.每一章又自成体系,各章分工执笔人如下:前言为王德滋、周新民;第一章为舒良树、徐鸣洁;第二章为王德滋、周金城、邱检生、范洪海;第三章为于津海、舒良树;第四章为周新民、李武显、徐夕生;第五章为刘昌实、王汝成、舒良树、陈小明、黄小龙;第六章为周金城、陈荣、邱检生;第七章为邱检生、沈渭洲、王德滋;第八章为汪相;第九章为徐夕生、周新民、唐红峰;第十章为沈渭洲、凌洪飞;第十一章为周新民、李武显.除上述执笔人外,参加本书相关工作的还有:赵连泽、董传万、赵广涛、张海进、岳焕印、吴梦霜、段云、周旋和周东山.各章初稿完成后,由王德滋、周新民统编.

本书疏漏之处在所难免,竭诚欢迎同行们批评指正.

王德滋 周新民

2000.10

# 目 录

## 前 言

<b>第一章 中国东南部地质背景</b> .....	舒良树 徐鸣洁( 1 )
第一节 中国东南部在东亚地区构造框架中的位置 .....	( 1 )
第二节 区域断裂特征 .....	( 6 )
第三节 晚中生代花岗质火山-侵入杂岩的基底特征 .....	( 9 )
第四节 深部地球物理场特征 .....	( 13 )
第五节 小结 .....	( 17 )
主要参考文献 .....	( 17 )
<b>第二章 花岗质火山-侵入杂岩</b> .....	王德滋 周金城 邱检生 范洪海( 22 )
第一节 引言 .....	( 22 )
第二节 I型花岗质火山-侵入杂岩 .....	( 23 )
第三节 S型花岗质火山-侵入杂岩 .....	( 27 )
第四节 A型花岗岩与A型流纹岩 .....	( 32 )
第五节 讨论与小结 .....	( 37 )
主要参考文献 .....	( 38 )
<b>第三章 福建沿海变质作用、岩浆活动和断裂构造</b> .....	于津海 舒良树( 40 )
第一节 引言 .....	( 40 )
第二节 变质作用 .....	( 41 )
第三节 变质带中岩浆岩的地球化学 .....	( 47 )
第四节 长乐-南澳断裂带构造作用对晚中生代岩浆活动的制约 .....	( 58 )
第五节 结论和讨论 .....	( 63 )
主要参考文献 .....	( 66 )
附表 3.1 长乐-南澳带花岗质岩石和变质岩的同位素年龄 .....	( 69 )
<b>第四章 浙闽沿海晚中生代钙碱性岩浆作用</b> .....	周新民 李武显 徐夕生( 74 )
第一节 地质概况 .....	( 75 )
第二节 岩浆混合作用 .....	( 75 )
第三节 高钾钙碱性岩系 .....	( 78 )
第四节 微量元素地球化学 .....	( 82 )
第五节 成因讨论 .....	( 90 )
主要参考文献 .....	( 91 )
<b>第五章 陆内S型花岗岩的形成与演化</b> ...	刘昌实 王汝成 舒良树 陈小明 黄小龙( 93 )
第一节 引言 .....	( 93 )
第二节 过铝S型花岗岩(以西华山花岗岩为例) .....	( 95 )
第三节 富氟高磷和富氟低磷S型花岗岩 .....	( 102 )
第四节 地壳伸展构造(减压熔融)与S型花岗岩的形成 .....	( 119 )
第五节 主要结论 .....	( 124 )
主要参考文献 .....	( 127 )

<b>第六章 东南沿海晚中生代壳幔作用</b> .....	周金城 陈 荣 邱检生( 131 )
第一节 引言 .....	( 131 )
第二节 晚中生代复合火成岩的地质特征 .....	( 132 )
第三节 晚中生代复合火成岩的岩石地球化学 .....	( 133 )
第四节 复合火成岩与晚中生代壳幔作用 .....	( 145 )
第五节 浙江沿海晚中生代拉斑玄武岩浆侵位深度的讨论 .....	( 152 )
第六节 对浙闽沿海晚中生代复合火成岩的成因的认识 .....	( 155 )
主要参考文献 .....	( 156 )
<b>第七章 浙闽沿海晚中生代 A 型花岗岩</b> .....	邱检生 沈渭洲 王德滋( 160 )
第一节 引言 .....	( 160 )
第二节 I-A 型复合花岗岩.....	( 162 )
第三节 铝质 A 型花岗岩 .....	( 174 )
第四节 A 型花岗岩的热演化特征——以新村岩体为例 .....	( 181 )
第五节 小结 .....	( 185 )
主要参考文献 .....	( 186 )
<b>第八章 花岗质杂岩中锆石研究</b> .....	汪 相( 189 )
第一节 引言 .....	( 189 )
第二节 锆石形态的定量描述方法 .....	( 190 )
第三节 {211}型锆石的发现及其岩石学意义 .....	( 198 )
第四节 福州花岗质复式岩体的成岩机制 .....	( 206 )
第五节 结论 .....	( 215 )
主要参考文献 .....	( 216 )
<b>第九章 玄武岩浆的底侵作用与花岗岩的形成</b> .....	徐夕生 周新民 唐红峰( 219 )
第一节 底侵作用与岩石圈演化概述 .....	( 219 )
第二节 底侵作用在中国东南部的表现——基性麻粒岩捕虏体 .....	( 220 )
第三节 底侵作用与双峰式火山-侵入杂岩 .....	( 225 )
第四节 底侵作用与中国东南大陆岩石圈构造转型 .....	( 226 )
第五节 小结 .....	( 227 )
主要参考文献 .....	( 227 )
<b>第十章 中国东南部基底变质岩、花岗岩和火山岩的同位素研究与地壳演化</b> .....	沈渭洲 凌洪飞( 230 )
第一节 基底变质岩的形成时代及其同位素组成 .....	( 230 )
第二节 花岗岩和火山岩的 Nd-Sr 同位素特征与物质来源 .....	( 238 )
第三节 中国东南部地壳的幕式生长与演化 .....	( 252 )
第四节 小结 .....	( 256 )
主要参考文献 .....	( 256 )
附表 10.1 中国东南部变质沉积岩的 Nd-Sr 同位素组成 .....	( 263 )
附表 10.2 中国东南部花岗岩类和火山岩的 Nd-Sr 同位素组成 .....	( 265 )
<b>第十一章 中国东南部晚中生代花岗质火山-侵入杂岩形成的构造岩浆模式</b> .....	周新民 李武显( 273 )
第一节 基本地质事实 .....	( 273 )
第二节 一种可能的成因模式 .....	( 279 )



第三节 讨论 .....	( 284 )
主要参考文献 .....	( 286 )
附表 11.1 中国东南部晚中生代火成岩同位素年龄 .....	( 290 )

**图版**

# 第一章 中国东南部地质背景

舒良树 徐鸣洁

## 第一节 中国东南部在东亚地区构造框架中的位置

### 一、概 况

中国东南部，位于亚洲东部大陆边缘南段，是晚中生代火山-侵入杂岩大量分布的地区（任纪舜等，1998；王德滋，周金城，1999；周新民，李武显，2000），是濒太平洋地区一个宏伟的构造-岩浆岩带的重要组成部分。

在大地构造上，和中国东南部晚中生代构造-岩浆带有密切成因联系的构造单元有两个：前侏罗纪 EW 向构造域和中、新生代 NE 向东亚陆缘带（黄汲清等，1977；李春

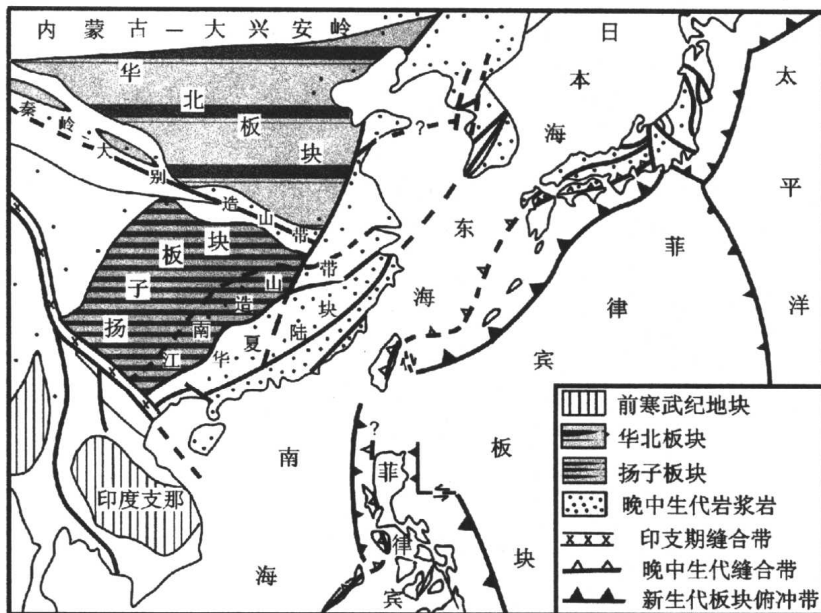


图 1.1 亚洲东部构造框架图

（据舒良树和周新民，2002，略作修改）

新生代俯冲带，据 Grosvenor, et al., 1995；日本中央构造线与晚中生代火成岩，据 Geological Survey of Japan, 1992；台湾纵谷带，据 Ernst, 1983；何春荪, 1994；西菲律宾晚中生代缝合带，据 Faure et al., 1989；印支期缝合带和南海-印度支那，据 Charvet et al., 1999；中国境内地质界线与晚中生代火成岩，据中国地质科学研究所，1973。略作修改。图中的黑点为晚中生代火山-侵入杂岩的大致分布区，黑点的疏密度代表岩浆岩出现的强度

昱等, 1982) (图 1.1). 前者分布地域广, 经历了元古宙、早古生代、晚古生代和中生代等多期构造-岩浆热事件的演化 (Tapponnier et al., 1986; Wang Hongzhen and Mo Xuanxue, 1995). 后者地域相对狭窄, 构造作用主要受中生代以来的太平洋板块活动制约 (Charvet et al., 1999).

EW 向构造域存在两种地球动力学体制: 古生代, 主体受 SN 向应力机制控制, 从晚三叠世开始, 东亚构造域受特提斯洋和古太平洋的联合作用. 如在南岭地区, 既有近东西向延伸的早燕山期花岗岩 (西段居多), 又发育了 NE 向晚燕山期花岗岩 (东段); 沿金沙江-哀牢山断裂带有印支期蛇绿混杂岩和韧性剪切带 (王铠元, 1987; Lu Huafu et al., 1990).

中生代特提斯洋朝北往欧亚大陆俯冲消减时, 中国东南部位于其东侧, 与该大洋之间隔着一个  $>1\ 000\text{ km}$  的扬子大陆, 远离其压应力作用范围. 当东亚陆缘  $J_3-K_1$  发生强烈岩浆活动时, 印、欧大陆尚未接触. 近 NNE 向的郯-庐断裂是连接 EW 向与 NE 向两大构造域的构造单元; 原为 EW 向构造域内部的大断裂. 中生代古太平洋板块强烈活动、EW 向构造域被 NE 向构造域所取代时, 它是 NE 向东亚陆缘带的边界断裂 (Tong et al., 1996; Lapierre et al., 1997). 其延伸的北段称依兰-伊通断裂, 向南可能与赣江断裂相连 (陆志刚等, 1995).

## 二、NE 向东亚陆缘带

### (一) 晚中生代火山岩带形成的动力学原因

从晚侏罗世以来, 在郯-庐断裂以东, 除局部地段 (如华南) 表现出早先的 EW 向构造外, 几乎全部被 NE 向构造所占据, 故 NE 向活动陆缘是从 EW 向构造域基础上发育而成的 (Charvet et al., 1990; Ichikawa et al., 1990; 任纪舜等, 1998; Lapierre et al., 1997; 舒良树和周新民, 2002; 赵越等, 1994). 构造格局发生重大变化的原因是古太平洋板块朝大陆的强烈俯冲作用.

在晚白垩世日本海开始拉伸之前, 东亚陆缘带从北端的锡霍特、库页岛、北海道, 到中段的西南日本、朝鲜岭南、琉球群岛, 再到中国东北松辽盆地两侧, 经燕山、鲁东、大别山、长江中下游、中国东南部乃至西菲律宾的南海基底, 是一条彼此相连、宽度  $>600\text{ km}$ 、延伸近  $5\ 000\text{ km}$  的统一的晚中生代火山-侵入岩带. 如此巨大的岩浆岩带的形成, 显然与古太平洋板块对欧亚板块自  $J_2$  至  $K_2$  期间的消减作用有关. 众所周知, 现代西太平洋俯冲带倾角普遍大于  $50^\circ$  (Uyeda, 1983), 俯冲速率为  $n\text{ cm/a}$  (Shiono et al., 1980). 研究表明 (Shiono et al., 1980), 高角度的俯冲无法形成宽阔的火山岩带, 非常慢速的板块汇聚很难引起大规模的岩浆上涌. 例如, 在西太平洋海沟倾角  $>70^\circ$  的地段, 其新生代火山弧宽度非常狭窄. 如琉球北段俯冲角度约  $70^\circ$ , 俯冲速率  $4.4\sim 5.4\text{ cm/a}$ , 火山弧宽仅  $50\text{ km}\pm$ ; 南段  $45^\circ\sim 50^\circ$ , 俯冲速率  $5.4\sim 6.5\text{ cm/a}$ , 火山弧相对宽些. 显然, 晚中生代洋壳以目前这种倾角或速率向东亚俯冲是无法形成如此宽阔火山岩带的.

研究表明 (Engebretson et al., 1985; Ichikawa et al., 1990; Minato et al., 1985;

Zhou et al., 2001), 中生代大洋板块在俯冲方向、俯冲速率、俯冲角度等动力学要素上随时间是不断变化的. Maruyama 等 (1986) 据地质和古地磁资料, 将亚洲东部距今 250Ma 以来的板块演化分为五个阶段: 250~180Ma 为法拉龙洋壳消减阶段, 180~150Ma 为平移运动阶段; 150~70Ma 为库拉洋壳消减阶段, 70~37Ma 为太平洋板块消减阶段, 37 Ma 开始, 菲律宾板块才与西南日本相连接. Engebretson 等 (1985) 据古地磁数据, 提出太平洋朝东亚陆缘的俯冲, 方向是不断变化的. 如 180~145Ma 是朝 NW 运动, 145~85Ma 变成朝 N-NW 俯冲, 85Ma 后才转朝正西. 据 Engebretson 等 (1985) 测量, 古太平洋在 135~85Ma 期间是低角度的快速俯冲, 速率达到 100~298mm/a. Maruyama 和 Seno (1986) 认为速率 >200mm/a. 这样大的俯冲速率, 可以使大洋岩石圈下插到很远的大陆之下, 从而产生十分宽阔的火山岩带. 由于大陆边缘总体上呈 SN 向, 145~85Ma 洋壳朝 NW 的运动属斜向俯冲, 因此使欧亚陆缘产生强大的剪切应力, 形成与俯冲带平行的左旋走滑断层. 走滑断层多沿强度最弱的火山弧发育, 它能导引岩浆上侵的方向. 历史上, 古太平洋多朝 NW 消减, 故东亚陆缘中的断裂及岩浆岩展布多呈 NE 方向, 由此改变了东亚前中生代 E-W 向的构造格局.

我们认为, 低角度 (<30°)、快速率的俯冲, 是东亚陆缘能形成中生代宽广火山岩带的重要动力学原因.

## (二) 100~90Ma± 碰撞事件与碰撞后地壳伸展作用

这期碰撞事件以日本西南地区、中国东南部—台湾和西菲律宾地区为最显著, 其原因是太平洋洋壳上的古陆块朝东亚陆缘的拼贴增生 (Charvet et al., 1985; Ichikawa et al., 1990). 该事件导致了高压变质带、蛇绿混杂岩带和韧性剪切带的形成, 也导致了花岗岩浆的侵入 (Faure et al., 1989). 在东南沿海, 则形成长乐—南澳大型左旋走滑剪切带. 近 20 多年, 人们对日本和台湾对变质带做了严格的年代学测定, 其年龄值为 100~90Ma (Jahn, 1974; 江博明等, 1977; Uyeda, 1983; Minato et al., 1985; Lo and Yui, 1996).

紧随这期碰撞事件, 东亚陆缘区发生了晚白垩世—早第三纪的伸展减薄活动. 主要地质标志有三: ①日本海和台湾海峡的形成 (日本海拉伸宽度 >1 000km); ②弧区和弧后区 K<sub>2</sub>—E 断陷盆地群的形成; ③部分的碱性花岗岩. 其动力学原因与俯冲带倾角变陡, 弧后区微型扩张、壳幔作用有关. 研究表明 (Minato et al., 1985; 张庆龙等, 1989), J<sub>3</sub>—K<sub>1</sub> 时日本和东亚大陆是相连的. K<sub>2</sub> 时, 日本岛弧后方发生微型扩张, 始新世达到盛期, 遂导致日本脱离东亚陆缘朝大洋运移, 到晚第三纪才定位于现今位置. 东南沿海与台湾火山岩的时代与类型相同, 两者晚古生代基底性质及化石也相似 (曹荣龙等, 1990; 杨泰铭等, 1985), 表明它们当时也是相连的. 分隔中国东南部与台湾岛的台湾海峡就是在这期拉伸事件形成的.

这期事件在东亚陆缘火山岩带形成了一系列 NE—NNE 方向的断陷盆地群. 从 K<sub>2</sub> 开始, 受区域伸展构造事件影响, 原 J<sub>3</sub>—K<sub>1</sub> 弧后盆地大多演变成为断陷盆地 (K<sub>2</sub>—E), 由红色泥砂质岩层所组成, 局部夹碱性玄武岩薄层或 A 型花岗岩侵入体, 俗称红层盆地. 马杏垣等 (1983) 称其为陆内伸展断陷盆地, 是从早先火山弧或弧后盆地背景

上演化而来的。这期事件也形成了从粤闽浙沿海经下扬子、苏鲁到辽东的巨型晚中生代 A 型花岗岩带，时代为 70~100Ma (王德滋等, 1995)。东南沿海一带的福州魁岐、漳州新村、舟山桃花岛和普陀岛等地的 A 型花岗岩、晶洞花岗岩体，应是这期拉伸作用的产物。

### (三) 新生代西太平洋沟弧盆体系及其对中国东南部的影响

晚第三纪以来，太平洋俯冲带已东跃至千岛-西南日本-琉球-马尼拉-菲律宾海沟(内海沟)和日本伊豆-小笠原-马里亚纳海沟(外海沟)。洋壳消减方向主体朝西，倾角陡，沟-弧间隙处于拉张应力状态(Uyeda, 1983)，俯冲速率小( $n$  cm/a)，形成的岛弧宽度不大。同时，弧后区发生强烈扩张，形成了规模宏伟的新生代弧后盆地群，如日本海、南海等。

我们的研究表明，中国东南部中、新生代经历了四期构造演化，它们是：①中侏罗世板块开始俯冲，陆内出现局部岩浆活动；②晚侏罗世—早白垩世岩浆活动高峰，③晚白垩世构造转换、大陆拉张解体；④中新世以来强烈剪切挤压与碰撞。

毫无疑问，中生代太平洋与亚洲大陆的敛合作用是形成中国东南部构造-岩浆带的最直接地球动力学原因，但新生代太平洋构造作用对它的叠加改造也不能忽视。一方面，是  $K_2$ —E 伸展作用对原火山弧区的改造，形成众多断陷盆地与 A 型花岗岩等。另一方面，是从晚第三纪以来出现了弧-弧碰撞及其派生的剪切挤压。此时，菲律宾板块以 70mm/a 的速率朝 NW 运动，导致吕宋弧朝东亚陆缘斜向碰撞，形成台湾纵谷左旋走滑带、日本中央构造线右旋走滑带(Suppe, 1986, 1988)。更新世以来，原  $K_2$ —E 台湾边缘海-冲绳海槽朝东朝琉球群岛-台东岛屿之下消减(许靖华, 1994)，形成利吉蛇绿混杂岩层和一系列朝东倾斜、向西逆冲的断裂系，并使台湾西部沉积物褶皱变形，其缩短率达 65.4% (Suppe, 1986)，导致了台西-澎湖前陆盆地的形成。该事件也影响到了陆内，如郟-庐和赣江断裂带。

## 三、晚中生代俯冲带位置

对中国东南部晚中生代俯冲带的位置，存在不同的认识：台湾海峡靠大陆侧 40m 等深线(郭令智等, 1983)、长乐-南澳带(刘建华等, 1996)、古南海(Hsu et al., 1990)、台湾纵谷带(Ernst, 1983; Faure et al., 1989; 何春荪, 1994; Lapierre et al., 1997)。本书认为日本中央构造线-台湾纵谷带-菲律宾民都洛-巴拉望带是东亚地区晚中生代的俯冲带(图 1.1)。

### (一) 日本中央构造线

走向 NE，从八代经延冈-高知-德岛-静岡到甲府，跨九州、四国、本州三岛，全长 1 000 多公里，宽 40~50km。是一个由超镁铁岩、镁铁岩、硅质岩、枕状熔岩和浊积岩所组成的大型蛇绿混杂岩带，并经历了后期的右旋走滑剪切。在本州和四国，从蛇绿岩

套的硅质岩中获放射虫, 年龄为  $T_3-J_1$ . 超镁铁岩碎块已与侏罗纪沉积岩和火山碎屑岩强烈混杂. 在中央构造线的本州段, 发育高压低温和低压高温对变质带, SE 侧以三波川蓝闪石片岩带为标志, 蓝闪石和红帘石高压矿物的 K-Ar 年龄为 102~82Ma, Rb-Sr 年龄为 110~85Ma (Ichikawa et al., 1990); NW 侧为领家红柱石-夕线石片岩带, 年龄约 90Ma (Ichikawa et al., 1990). 中央构造带倾向 NW, 其上盘为白垩纪中酸性火山岩和侵入岩, 白垩纪花岗岩侵入侏罗系中. 因此, 中央构造线作为古太平洋在中生代俯冲、早白垩世末期碰撞的缝合带是可信的.

## (二) 台湾纵谷带

走向近 S-N, 宽约 10km. 西侧为中央山脉大南澳群变质岩, 其结晶灰岩中产拟纺锤蕨类和瓦根珊瑚, 时代为二叠纪, 东侧为东海岸晚第三纪玄武质火山岩. 大南澳西侧为台澎拗陷带, 已被上第三系沉积层所覆盖. 北港及澎湖钻井已经探明 (何春荪, 1994), 新生代之下存在侏罗纪—白垩纪的酸性凝灰岩夹层, 并发现侏罗纪菊石, 岩石组合和东南沿海相同. 说明台湾海峡、台湾西部与华东南沿海地区曾是相连的地质体, 属统一的晚中生代火山岩带. 纵谷带是一切入上地幔的断裂带, 断面近直立, 目前为一左旋走滑断裂, 也是一个地震活动带. 据地球物理资料, 西侧为重力负值区, 东侧为重力正值区. 纵谷带中有蛇绿混杂岩, 超镁铁岩—镁铁岩呈岩块构造混杂在片岩、片麻岩、结晶灰岩和变质火山碎屑岩中. 该带两侧发育有高压型和高温型变质带. 其东侧为玉里高压蓝闪石片岩带, 江博明等 (1977) 对蓝闪石片岩做 Rb-Sr 法测年, 获  $79 \pm 7\text{Ma}$ ; 近年台湾学者对蓝闪石和绿辉石做  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  测年, 获 110~100Ma 年龄值 (Lo and Yui, 1996); 西侧为太鲁阁片岩、片麻岩夹混合岩, 片麻岩中伟晶花岗岩的白云母 K-Ar 年龄为  $87 \pm 5\text{Ma}$  (Jahn, 1974), 表明其形成于早晚白垩世之交.

## (三) 西菲律宾民都洛—郎布隆—巴拉望带

台湾纵谷俯冲带向南可能与此带相接 (图 1.1). 它是一个沿走向弧形弯曲、弧凸朝东的近 S-N 向蛇绿混杂岩带; 向南去向不明. 从上到下, 由四个单元所组成: ①前始新世泥砾岩层; ②蛇绿混杂岩带, 放射虫时代  $K_1$ ; 多呈巨大的推覆体出现, 动向朝南; ③片状泥砂岩、大理岩、片状基性岩, 灰岩中化石时代为  $K_1$  (Faure et al., 1989); ④片麻岩单元, 代表西菲律宾的陆壳基底. ②, ③, ④之间均为断裂接触. 运动学研究表明 (Faure et al., 1989), 该带经历了  $J_3-K_1$  古太平洋岩石圈从北向南朝亚洲的俯冲阶段、 $K_1$  朝南韧性推覆阶段、以及  $K_1$  晚期开始、古新世 (65 Ma) 结束的巴拉望微大陆与东民都洛陆块碰撞阶段 (伴有 NE 向左旋走滑变形) 等复杂演化过程. 目前为止, 西菲律宾缝合带内尚无高压变质岩的报道.

## 第二节 区域断裂特征

### 一、概 况

中国东南部晚中生代火山-侵入杂岩带，呈 NE 方向展布，南东起自太平洋构造域台湾岛，北西达江南区的怀玉山和莫干山。火山岩集中分布在东南沿海和怀玉-武夷地区，而同期的花岗岩大部分出露在华夏陆块范围内（图 1.2）。在赣江断裂以东常有同源、同时、同空间的花岗质火山岩-侵入杂岩出露。越过这条边界，晚中生代火山岩基本消失。

与晚中生代火山-侵入杂岩带有密切成因联系的区域断裂有如下六条：①台湾纵谷俯冲带，②长乐-南澳带，③政和-大埔带，④绍兴-江山-东乡-萍乡带，⑤德兴-东乡带，⑥赣江火山岩线（图 1.2）。宽阔的晚中生代火山-侵入杂岩区和这些区域断裂构成了中国东南部晚中生代基本构造格架。

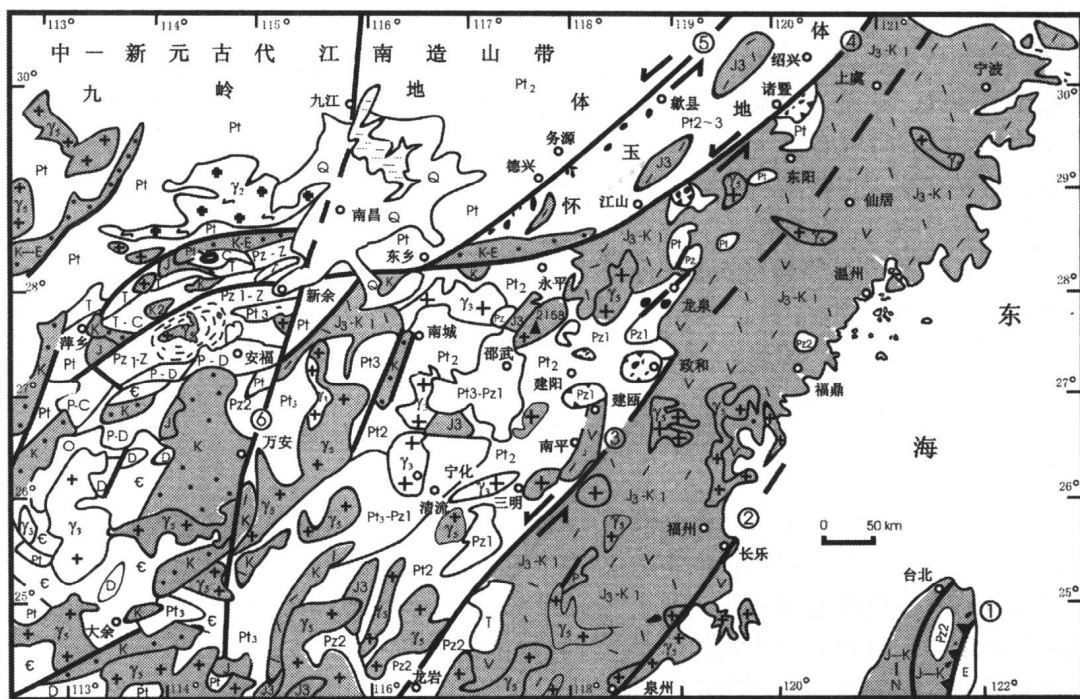


图 1.2 中国东南部地质构造图

(据舒良树和周新民, 2002, 略作修改)

1. 台湾纵谷晚中生代俯冲带；
2. 长乐-南澳  $K_1$  左旋走滑构造-岩浆带；
3. 政和-大埔晚中生代 I 型与 S 型火山-侵入杂岩分界带；
4. 绍兴-江山-萍乡  $K_2$ -E 断陷盆地带；
5. 德兴-东乡  $J_3$ - $K_1$  火山岩北界；
6. 赣江晚中生代火山岩线

## 二、区域断裂主要特征

### (一) 台湾纵谷带

晚中生代古太平洋板块俯冲带详细特征前已叙述, 在此不赘言.

### (二) 长乐—南澳断裂

在沿海地区, 凡强烈变质变形的岩石都只分布在长乐—南澳断裂带附近, 所有岩石均沿  $NE40^{\circ}\sim 50^{\circ}$  方向呈狭带状展布, 都已经历过可达角闪岩相的变质和石英—长石相的韧剪变形. 在莆田和晋江, 有少量超镁铁岩团块, 但未发现与之配套的蛇绿岩套其他单元. 在台湾海峡打开之前, 闽东南与台湾是相连一块的整体, 同为早白垩世高温变质带. 花岗片麻岩和片麻状花岗闪长岩是该带的代表性岩石, 其同位素年龄集中分布在  $100\sim 120\text{Ma}$ , 恰与区域上古太平洋岩石圈朝大陆斜向俯冲时间一致, 属同构造—岩浆期产物.

花岗岩和围岩的透入性组构完全一致: 剪切面理走向 NE, 朝 SE 陡倾斜; 拉伸线理朝 NE 平缓倾伏, 倾伏角  $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ ; 各种非同轴不对称韧剪组构非常发育. 从韧性剪切带中心或岩体向外, 变质程度由角闪岩相逐渐变为绿片岩相; 特征矿物从夕线石变为石榴子石、云母以及绿泥石; 韧性剪切变形作用也从韧性剪切带或岩体中心向外侧不断减弱. 运动学研究确定长乐—南澳带是一左旋走滑韧性剪切带 (舒良树等, 2000; Charvet et al., 1990).

鉴于高温矿物和强烈韧性变形多出现在深成岩附近; 远离走滑断裂及其深成岩, 变质和变形逐渐减弱, 故我们认为至少有一部分变质变形的热源是由断裂和岩浆提供的. 长乐—南澳带中心部位花岗岩中的显微组构记录了一期同岩浆期的走滑变形历史. 据此, 长乐—南澳带内的花岗岩是受走滑剪切热和岩浆热双重制约的, 是在走滑运动过程中实现的. 因此, 这是一个既控制变质变形又控制岩浆活动的断裂带.  $100\sim 120\text{Ma}$  花岗岩浆侵位与变质变形的动力学来源应该与太平洋板块沿 NW 方向朝东亚陆缘的斜向俯冲有关、与长乐—南澳带左旋走滑作用有关. 法国诺曼底的海西期走滑型花岗岩和围岩经历了相同的变质和韧剪变形, 其运动学组构均为走滑型; 长乐—南澳带钙碱性花岗岩的形态和形成机制与它颇为相似.

构造属性: 晚中生代大陆内部左旋走滑型构造—岩浆带.

### (三) 政和—大埔断裂

该断裂呈 NE 向延伸, 原为早古生代末的大型韧性剪切带. 其 NW 侧为前泥盆纪基底隆起区, 时代老, 地壳厚, 高含量的  $Al_2O_3$  会影响岩浆成分, 导致花岗岩高铝或过铝 (Harris et al., 1986). 在断裂 NW 侧武夷山地区和赣江断裂以西地区, 岩浆产物以晚侏罗世弱过铝质花岗岩类为主, 同期火山岩盆地规模小, 数量少. 花岗岩属 S 型, 表明物



质来源为大陆地壳或沉积岩。在岩背、相山等地，花岗岩和流纹岩常构成同源同时空的杂岩体。断裂 SE 侧为东南沿海区，地壳薄，为晚中生代钙碱性火山岩分布区；花岗岩类多属 I 型，表明物质来源以火成物质为主。地球化学特征指示其为活动大陆边缘背景。

构造属性：晚中生代 I 型与 S 型火山-侵入杂岩的分界带。

#### (四) 绍兴-江山-东乡-萍乡断裂

在华夏古陆新元古代末期解体之前，该带是华夏与扬子地块的碰撞缝合带。从震旦纪-泥盆纪，北侧一直是稳定的浅海碳酸盐台地，岩浆活动微弱，无变质。南侧却为强烈活动区，为深水相笔石碎屑岩沉积和火山岩-火山碎屑岩组合，厚度大，普遍遭受了低绿片岩相变质。一直到晚三叠世，南北两侧的沉积环境和构造形态才趋统一。

晚中生代岩浆活动显然已越过此古老边界，纵深到 NW 侧较远的地方，形成若干  $J_3$  陆相火山盆地。从  $K_2$  开始，沿断裂发生拉张作用，有  $K_2$  流纹岩和橄榄玄武岩产出。此断裂控制了一系列陆相断陷盆地，如信江、金华-巨州等盆地，控制着盆地的形态、规模和产状。

构造属性： $K_2$ -E 断陷盆地的控制断裂。

#### (五) 东乡-德兴断裂

该断裂走向 NE，是新元古代蛇绿混杂岩带和左旋走滑韧剪带。断裂以南分布有一系列  $J_3$  酸性火山岩盆地（如德兴、浦江-莫干山等）和  $K_1$  花岗岩（如福泉山、大茅山-怀玉山、黄山等），并有大型金矿、铅锌银矿和超大型斑岩铜矿产出。断裂以北，晚中生代火山岩已基本消失，花岗岩株也极少分布。在元古宙浅变质岩系中，残留几个狭长型  $J_3$  陆相沉积盆地，是与同期火山山弧配套的弧后盆地。深部构造研究表明，该断裂是一个鲜明的布格重力异常带和航磁异常带，SE 侧为重力负值区，NW 侧为正值区；SE 侧为宽几十公里的高磁值区，正负磁异常频繁交替，NW 侧为大面积低值平缓异常区， $\Delta T$  异常值为零到几十纳特所圈定。人工地震测深表明，断裂两侧莫霍面起伏落差 2.1km，为超岩石圈断裂。

构造属性：晚中生代火山山弧的北界。

#### (六) 赣江断裂

赣江断裂展布范围并不限于赣江谷地，而是包括北段湖口、彭泽、南昌，中部清江、吉安、万安，南部赣州、龙南的广阔地带，长度 > 600km，宽 30~50 km，走向  $NE15^\circ \pm$ ，向北可能与郟庐断裂相接，南端过龙南后的地表走势不清。地球物理上是一个显著的重力、航磁异常梯度带，该异常带似乎一直可延伸到广东省四会断裂附近。

该断裂开始于古生代，活跃于侏罗纪-白垩纪，一直持续到新生代。在中段，它切割了途经的早第三纪所有岩层。构造形迹表明该断裂在中、新生代主体属左旋走滑性