

湘东南及湘粤赣边区中生代地质构造 发展框架的厘定

柏道远¹ 黄建中¹ 刘耀荣¹ 伍光英² 马铁球¹ 王先辉¹

(1. 湖南地质调查院, 湖南 湘潭 411100; 2. 宜昌地质矿产研究所, 湖北 宜昌 443003)

提要:湘东南及湘粤赣边区属南岭中段北部,是研究华南中生代构造背景与演化的良好窗口。通过同位素年代学和地质地球化学研究,确定了区内中生代 3 个时代花岗岩的时限与构造环境,并结合对区内中生代不同时代陆相盆地和火山岩的性质与形成机制,构造变形和成矿作用的期次与特征等研究,厘定出研究区中生代地质事件序列的框架。从早至晚分为早三叠世—中三叠世早期前造山阶段(Ⅰ)、中三叠世后期—中侏罗世初陆内造山阶段(Ⅱ)、中侏罗世早期—晚侏罗世后造山阶段(Ⅲ)、白垩纪板内裂谷阶段(Ⅳ)等 4 个大的地质发展阶段,其中陆内造山阶段(Ⅱ)进一步划分为 4 个亚阶段(Ⅱ1~Ⅱ4)。前造山阶段(Ⅰ)为稳定海相沉积阶段。中三叠世后期(Ⅱ1)为陆内俯冲汇聚高峰期,形成大量 NNE 向为主的逆冲断裂与褶皱,并使陆壳增厚。中三叠世末—晚三叠世后期(Ⅱ2)挤压相对松弛,大量壳源花岗岩浆形成并侵位(233~210 Ma)。晚三叠世末—早侏罗世(Ⅱ3)为同造山上隆伸展环境,形成 NNE 向裂陷含煤盆地,高 Na 低 K 的拉斑玄武岩喷发。中侏罗世初期(Ⅱ4)为 NNE 向左旋汇聚走滑造山,发育逆冲断裂且前期裂陷盆地反转成为山前冲断收缩盆地。中侏罗世早期—晚侏罗世后造山阶段(Ⅲ),大量后造山花岗岩侵位(174~135 Ma),同时发生大规模成矿作用;侏罗纪末期发生过短暂的挤压事件。白垩纪板内裂谷阶段(Ⅳ)形成盆—岭构造和变质核杂岩构造、双峰式火山岩和次火山岩、酸性岩脉及具有 AA 型花岗岩特征的上堡小型岩体等组合。文章最后就华南地区燕山早期构造环境和中生代不同阶段构造—岩浆活动特征的形成机制等问题进行了讨论。

关键词:中生代;地质发展;框架;湘东南;湘粤赣边区

中图分类号: P588, P597+.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2005)04-0557-14

包括南岭在内的华南内部中生代岩浆活动强烈,其构造环境是当前备受地质学家关注的热点问题之一,对这一问题的认识目前还存在分歧,归纳起来有两大主流观点,一种认为是与太平洋板块俯冲有关的弧岩浆作用或同碰撞造山挤压环境产物^[1-3],另一种则认为是陆内岩石圈伸展减薄作用的产物^[4-6]。花岗岩类是华南地区中生代岩浆岩的主体,分布面积广,时代包括印支期(三叠纪),燕山早期(侏罗纪)和燕山晚期(白垩纪),因此对中生代花岗岩的时空格架进行精确厘定,并结合区域地质—构造(包括沉积盆地、火山岩、构造变形等)演化过程进行综合研究,成为解决上述问题的关键。

湘东南及湘粤赣边区地处华南南岭中段北部,区内中生代构造—岩浆活动及成矿作用强烈,是研究华南中生代构造背景与演化的重要窗口。近年来,笔者在该地区进行衡阳市幅和郴州市幅 1:25 万区域地质调查,以湘东南及湘粤赣边区中

生代花岗岩时代和构造环境研究为重点,以沉积与成盆及火山活动时代、构造变形时代等为基础,构造环境与地球动力学演化过程为主线,将区内中生代沉积作用、岩浆活动、构造变形、成矿作用等纳入统一的地质时空格架中进行统筹研究,构建起了该地区中生代地质构造发展演化过程的初步框架,为华南中生代地质演化研究提供有益的基础资料。

1 区域地质概况

研究区位于扬子地块与华南地块的接合带,在华南大地构造位置上地位独特。长期的多旋回的构造发展历史造就了测区地层、构造、岩浆岩诸方面复杂面貌(图 1)。

蓟县纪、青白口纪—奥陶纪期间该区为华南地块与扬子地块间的裂陷海槽,沉积物以砂、板岩组成的复理石、类复理石为主,夹少量硅质岩与碳酸盐沉积。志留纪扬子板块与华南板块拼

收稿日期:2005-03-12;改回日期:2005-06-10

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(200213000035)资助。

作者简介:柏道远,男,1967 年生,高级工程师,从事区域地质调查工作;E-mail:daoyuanbai@sina.com。

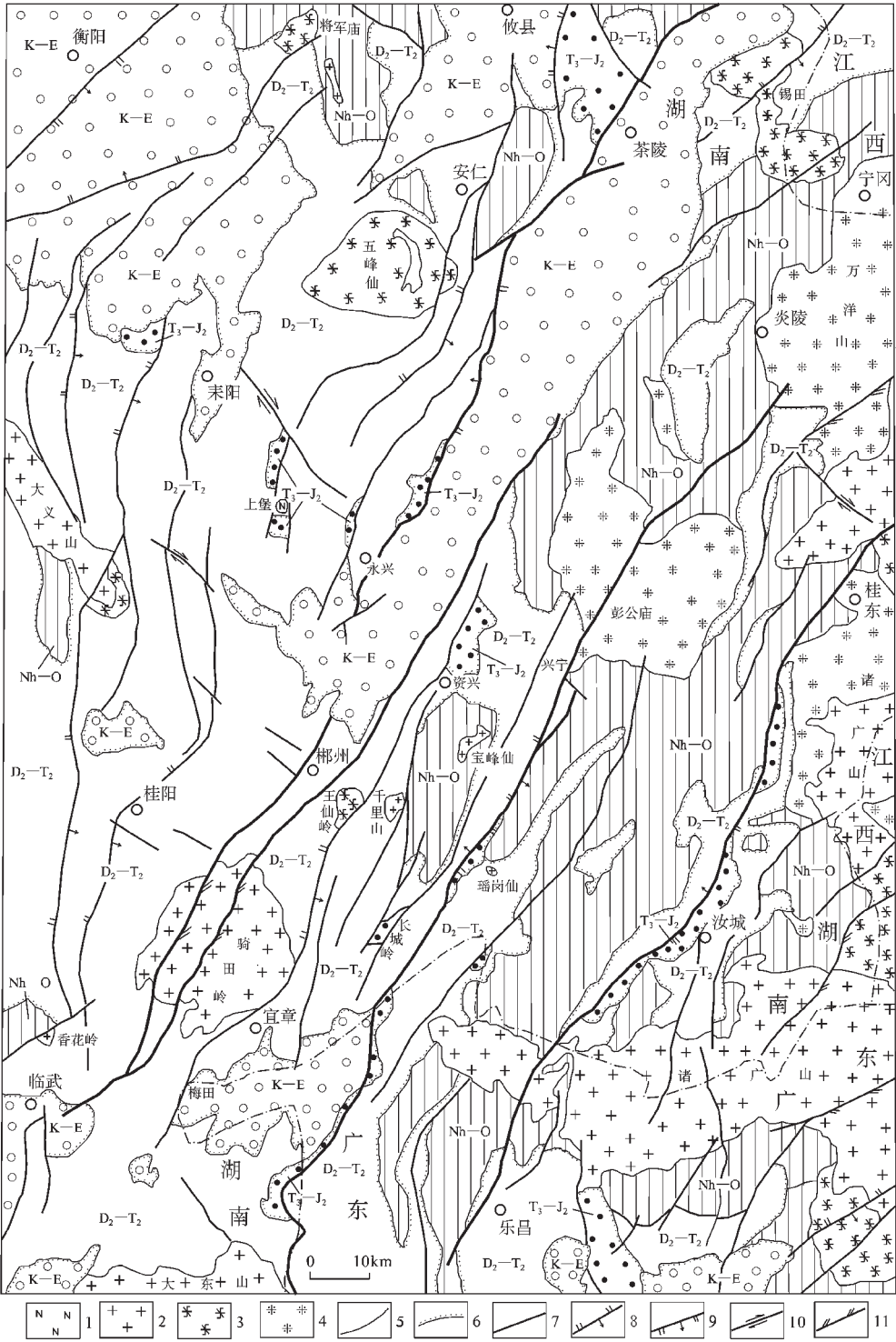


图 1 湘东南及湘粤赣边区地质略图

K-E—白垩系—古近系;T₃-J₂—上三叠统—中侏罗统;D₂-T₂—中泥盆统—中三叠统;
Nh-O—南华系—奥陶系;1—白垩系花岗岩;2—侏罗纪花岗岩;3—印支期花岗岩;4—加里东期花岗岩;5—地质界线;
6—角度不整合地质界线;7—断裂;8—逆断裂;9—正断裂;10—平移断裂;11—压扭性断裂

Fig. 1 Geological sketch map of southeastern Hunan and the Hunan-Guangdong-Jiangxi border area
K-E-Cretaceous-Paleogene; T₃-J₂-Late Triassic-Middle Jurassic; D₂-T₂-Middle Devonian-Middle Triassic; Nh-O-Nanhuaian-Ordovician;
1-Cretaceous granite; 2-Jurassic granite; 3-Indosinian granite; 4-Caledonian granite; 5-Geological boundary; 6-Unconformity; 7-Fault;
8-Thrust fault; 9-Normal fault; 10-Strike-slip fault; 11-Compresso-shear fault

表 1 湘东南及湘粤赣边区中生代花岗岩同位素年龄
Table 1 Isotopic ages of the Mesozoic granites in southeast Hunan and the border region of Hunan, Guangdong and Jiangxi Provinces

序 号	位 置	岩 性 单 元	年 龄/Ma	方 法	资 料 来 源	序 号	位 置	岩 性 单 元	年 龄/Ma	方 法	资 料 来 源
1	上堡	黑云母二长花岗岩	85 ± 3	全岩 Rb-Sr	(1)	49	骑田岭	黑云母二长花岗岩	156.7±1.7	锆石 SHRIMP	本研究
2	上堡	黑云母二长花岗岩	92	全岩 Rb-Sr	(1)	50	宝峰仙	黑云母二长花岗岩	156.8±1.8	黑云母 Ar-Ar	本研究
3	上堡	黑云母二长花岗岩	104	黑云母 K-Ar	(1)	51	骑田岭	花岗岩	156.9±3.1	钾长石 Ar-Ar	[14]
4	骑田岭	花岗斑岩	118	黑云母 K-Ar	(7)	52	坪宝地区	花岗斑岩	157	黑云母 K-Ar	(10)
5	蛇形坪	花岗斑岩	124	全岩 Rb-Sr	(6)	53	骑田岭	黑云母花岗岩	157.5±0.3	黑云母 Ar-Ar	[18]
6	早禾田	花岗斑岩	130	锆石 U-Pb	(4)	54	诸广山南体	二云母花岗岩	158	白云母 K-Ar	(16)
7	千里山	花岗斑岩	131 ± 1	全岩 Rb-Sr	[13]	55	骑田岭	黑云母二长花岗岩	159 ± 2	全岩 Rb-Sr	[19]
8	骑田岭	黑云母正长花岗岩	133 ± 9	全岩 Rb-Sr	(7)	56	骑田岭	黑云母二长花岗岩	160 ± 2	锆石 SHRIMP	[20]
9	诸广山南体	二云母花岗岩	135	黑云母 K-Ar	(14)	57	骑田岭	黑云母二长花岗岩	161 ± 2	锆石 U-Pb	[19]
10	骑田岭	黑云母正长花岗岩	135	独居石 U-Pb	(7)	58	扶溪	黑云母花岗岩	161	黑云母 K-Ar	(15)
11	千里山	二云母花岗岩	136 ± 6	全岩 Rb-Sr	[13]	59	城口	二云母花岗岩	161	黑云母 K-Ar	(9)
12	千里山	黑云母花岗岩	137 ± 7	全岩 Rb-Sr	[13]	60	万洋山	二云母二长花岗岩	162	锆石 U-Pb	(4)
13	千里山	黑云母花岗岩	138 ± 6	全岩 Rb-Sr	(6)	61	城口	黑云母花岗岩	162	全岩 Rb-Sr	(9)
14	骑田岭	花岗岩	139.6±2.8	钾长石 Ar-Ar	[14]	62	宝山	花岗闪长斑岩	162.2±1.6	锆石 SHRIMP	本研究
15	诸广山南体	二云母花岗岩	140	黑云母 K-Ar	(16)	63	大东山	黑云母二长花岗岩	162.3±1.2	黑云母 Ar-Ar	本研究
16	骑田岭	似斑状花岗岩	140	全岩 Rb-Sr	[15]	64	千里山	斑状黑云母花岗岩	163	黑云母 Ar-Ar	[21]
17	大义山	二云母二长花岗岩	143	黑云母 K-Ar	(3)	65	坪宝地区	花岗斑岩	164	黑云母 K-Ar	(10)
18	城口	黑云母二长花岗岩	143	锆石 U-Pb	(16)	66	宝山	花岗闪长斑岩	164.1±1.9	锆石 SHRIMP	本研究
19	大义山	二云母二长花岗岩	144	黑云母 K-Ar	(3)	67	坪宝地区	花岗闪长斑岩	165	黑云母 K-Ar	(10)
20	水口山	黑云母花岗岩闪长岩	144	黑云母 K-Ar	(15)	68	香花岭	铁锂云母二长花岗岩	167	黑云母 K-Ar	(8)
21	骑田岭	黑云母二长花岗岩	144 ± 6	全岩 Rb-Sr	(7)	69	大义山	巨斑状黑云母花岗岩	169	黑云母 K-Ar	(2)
22	城口	黑云母二长花岗岩	145	黑云母 K-Ar	(16)	70	宝山	黑云母花岗闪长斑岩	170	黑云母 K-Ar	[22]
23	骑田岭	似斑状花岗岩	145	锆石 U-Pb	[15]	71	大东山	黑云母二长花岗岩	171	黑云母 K-Ar	(14)
24	大义山	二云母二长花岗岩	146	锆石 U-Pb	(2)	72	宝山	黑云母花岗闪长岩	172.3±1.9	锆石 U-Pb	[23]
25	诸广山北体	二云母二长花岗岩	146	黑云母 K-Ar	(4)	73	水口山	黑云母花岗闪长岩	172.3±1.6	锆石 U-Pb	[23]
26	诸广山南体	黑云母花岗岩	148	白云母 K-Ar	(12)	74	千里山	斑状二云母花岗岩	173	全岩 Rb-Sr	(6)
27	诸广山北体	黑云母二长花岗岩	149	锆石 U-Pb	(4)	75	瑶岗仙	黑云母二长花岗岩	173	白云母 K-Ar	(5)
28	诸广山北体	黑云母二长花岗岩	149	锆石 U-Pb	(4)	76	大义山	黑云母花岗岩	174	锆石 U-Pb	(3)
29	牛形庙	二云母花岗岩	149	黑云母 K-Ar	(9)	77	瑶岗仙	黑云母二长花岗岩	174	黑云母 K-Ar	(5)
30	诸广山北体	黑云母二长花岗岩	151	锆石 U-Pb	(4)	78	香花岭	黑云母花岗岩	183	全岩 Rb-Sr	(8)
31	诸广山北体	黑云母二长花岗岩	151	黑云母 K-Ar	(4)	79	诸广山北体	二云母二长花岗岩	186	锆石 U-Pb	(4)
32	叶家	石英正长岩脉	151	全岩 K-Ar	本研究	80	王仙岭	二云母二长花岗岩	206	白云母 K-Ar	(6)
33	骑田岭	细粒花岗岩	151 ± 5	全岩 Rb-Sr	[16]	81	诸广山南体	黑云母二长花岗岩	208±15	全岩 Rb-Sr	(13)
34	城口	二长花岗岩	151	黑云母 K-Ar	(9)	82	诸广山南体	黑云母二长花岗岩	210	锆石 U-Pb	(16)
35	千里山	二云母花岗岩	152 ± 9	全岩 Rb-Sr	[13]	83	苦蕨岭	花岗闪长岩	210	角闪石 K-Ar	(9)
36	大东山	花岗伟晶岩	152	白云母 K-Ar	(15)	84	王仙岭	黑云母花岗岩	216	白云母 K-Ar	(6)
37	诸广山南体	二云母花岗岩	153	黑云母 K-Ar	(15)	85	诸广山北体	白云母二长花岗岩	220	锆石 U-Pb	(4)
38	香花岭	铁锂云母花岗岩	153	全岩 Rb-Sr	(8)	86	诸广山南体	黑云母二长花岗岩	220	黑云母 K-Ar	(16)
39	万洋山	黑云母二长花岗岩	154	锆石 U-Pb	(4)	87	五峰仙	二云母二长花岗岩	222	黑云母 K-Ar	(14)
40	诸广山南体	二云母花岗岩	154	黑云母 K-Ar	(15)	88	诸广山南体	黑云母二长花岗岩	226	锆石 U-Pb	(16)
41	大东山	黑云母二长花岗岩	154.3±3.7	锆石 U-Pb	[17]	89	王仙岭	黑云母花岗岩	226	白云母 K-Ar	(6)
42	千里山	细粒斑状花岗岩	155	白云母 K-Ar	(6)	90	诸广山南体	黑云母二长花岗岩	228	锆石 U-Pb	(16)
43	香花岭	铁锂云母二长花岗岩	155	黑云母 K-Ar	(8)	91	锡田	二长花岗岩	228.5±2.5	锆石 SHRIMP	本研究
44	锡田	二云母(碱)长花岗岩	155.5±1.7	锆石 SHRIMP	本研究	92	诸广山南体	黑云母二长花岗岩	229	白云母 K-Ar	(16)
45	坪宝地区	花岗闪长斑岩	156	黑云母 K-Ar	(10)	93	诸广山北体	黑云母二长花岗岩	231	锆石 U-Pb	(4)
46	宝峰仙	黑云母二长花岗岩	156	锆石 U-Pb	(5)	94	诸广山北体	二云母二长花岗岩	233	锆石 U-Pb	(4)
47	骑田岭	黑云母二长花岗岩	156	全岩 K-Ar	(7)	95	大义山	花岗闪长岩	233	锆石 U-Pb	(2)
48	大义山	黑云母二长花岗岩	156.2±1.6	黑云母 Ar-Ar	本研究	96	将军庙	黑云母二长花岗岩	237.6	黑云母 K-Ar	[24]

注:资料来源:(1) 湖南地矿局区调所:1:5 万小水铺幅和塘门口幅区调报告,1993;(2) 湖南地矿局区调队:1:5 万白沙镇幅区调报告,1982;(3) 湖南地矿局区调所:1:5 万阳嘉洲幅区调报告,1999;(4) 湖南地矿局区调所:1:5 万桂东县幅和沙田圩幅区调报告,1989;(5) 湖南地矿局区调所:1:5 万潞口幅和瑶岗仙幅区调报告,1990;(6) 湖南地矿局湘南地质队:1:5 万郴县幅区调报告,1983;(7) 湖南地矿局湘南地质队:1:5 万永春幅和宜章幅区调报告,1991;(8) 湖南地矿局区调所:1:5 万香花岭幅和临武幅区调报告,1990;(9) 湖南地矿局区调队:1:5 万汝城幅和大坪幅区调报告,1985;(10) 湖南地矿局区调队:1:5 万鲁塘幅和桂阳幅区调报告,1986;(11) 湖南省地质局区调队:1:20 万攸县幅区调报告,1965;(12) 广东省区调所:1:5 万黄坑幅区调报告,1998;(13) 湖南地质研究所:诸广山专题研究报告,1983;(14) 同位素地质年龄资料集(一),1974;(15) 同位素地质年龄资料集(二),1975;(16) 同位素地质年龄资料集(三),1976。

接[□],造成区内前泥盆纪地层强烈褶皱,形成构造线近东西向的褶皱基底,并造成区内东部志留纪花岗质岩浆的侵入。

中泥盆世开始本区再次发生区域伸展作用形成陆内海盆,沉积了中泥盆世跳马涧组—中三叠世早期石镜组,为一套稳定环境下以碳酸盐岩为主,陆源碎屑岩次之,并有少量硅质岩的陆表海沉积。

中三叠世晚期,研究区进入中生代强烈的构造—岩浆活动阶段,形成印支期、燕山早期、燕山晚期等3个时代花岗岩,晚三叠世—中侏罗世、白垩纪—古近纪等2个时代的陆相盆地及其沉积,以NNE向和NE向为主、其他方向为辅的断裂与褶皱,东部隆起、西部拗陷的构造格架。

2 中生代花岗岩年代学框架及构造环境

2.1 花岗岩年代学框架的确定

华南中生代花岗岩精确年代学框架的建立是探索其形成构造环境及分析区域构造演化的关键[□]。前人对华南中生代花岗岩测定了大量的同位素年龄,并在此基础上划分为印支期、燕山早期和燕山晚期等3个时代^[8-12],但未对湘东南及湘粤赣边区中生代各阶段花岗岩的具体时限进行厘定。鉴于此,本次研究对区内花岗岩类新测试了较多高精度年龄样品,结合前人大量同位素年龄资料,确定了中生代花岗岩的年代学框架。

中生代花岗岩体(包括少量酸性岩脉)同位素年龄(表1)

共96个,包括了科研、生产项目及公开发表的绝大部分年龄数据,只有极少数明显不合理的数据(如个别海西期年龄值)未录入。为便于从整体上看和总结区内中生代花岗岩的时代规律,表中数据从小到大依次排列,而没有以岩体为单位集中录入。

根据有关同位素年龄数据(表1),并综合考虑不同年龄值或年龄区段的频度,以及部分年龄值可能存在一定的误差或不确定性等因素,初步将区内花岗岩分为3个时代(图1):

第一个时代印支期,时限为233~210Ma,即中三叠世末—晚三叠世后期。主要岩体有诸广山岩体南部和中部、桂东、锡田、将军庙、五峰仙、王仙岭、大义山南体等。岩石类型主要有黑云母二长花岗岩、二云母二长花岗岩、黑云母花岗闪长岩等。

第二个时代燕山早期,时限为174~135Ma,即中侏罗世早期—晚侏罗世。该时代花岗岩在研究区内最为发育,主要有诸广山大部分岩体、万洋山岩体南部、川口、大义山北岩体、宝峰仙、千里山、瑶岗仙、骑田岭、香花岭、大东山等岩体。岩石类型主要有黑云母二长花岗岩、二云母二长花岗岩、二云母碱长花岗岩、黑云母正长花岗岩、黑云母花岗闪长岩等。从表1可见,近年来新获得的大量锆石SHRIMP U—Pb法定年、黑云母³⁹Ar—⁴⁰Ar法定年等高精度年龄值主要集中于154~163Ma年龄段内,反映154~163Ma为燕山早期花岗岩浆活动的高峰期。

第三个时代燕山晚期,时限为130~85Ma,即白垩纪。该

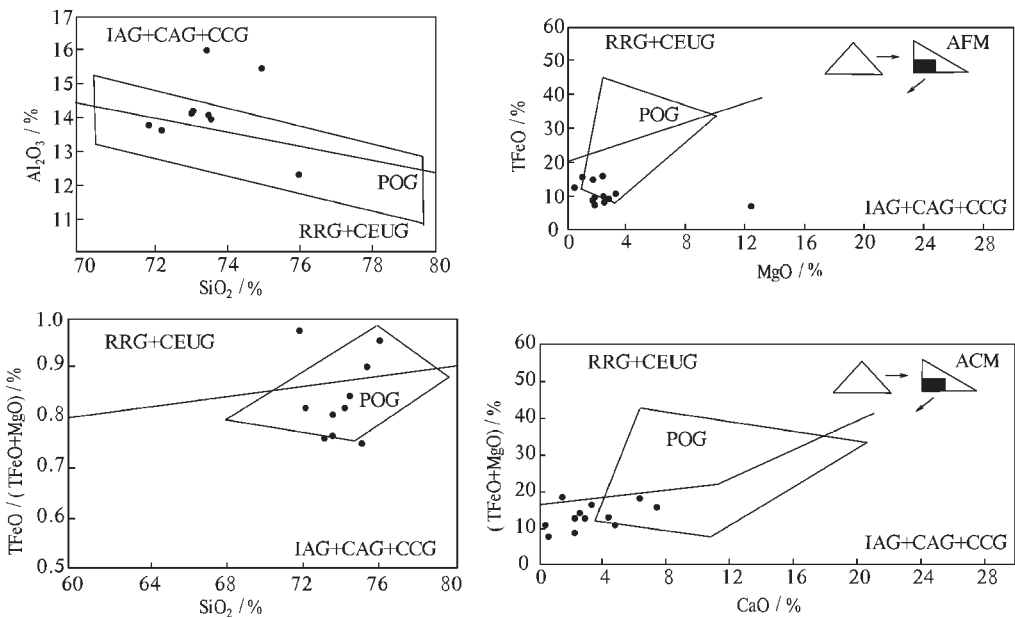


图2 王仙岭岩体形成的构造环境判别图(据 Maniar 等^[25])

IAG—岛弧花岗岩;RRG—与裂谷有关的花岗岩;CAG—大陆弧;CEUG—大陆的造陆抬升花岗岩类;
CCG—大陆碰撞花岗岩类;POG—后造山花岗岩类

Fig. 2 Discrimination diagrams of the tectonic environment of the Wangxianling granite body (after Maniar et al^[25], 1989)
IAG— Island—arc granite; RRG— Rift—related granite; CAG— Continent—arc granite; CEUG— Continental epeirogenic—uplift granite;
CCG— Continent—collision granite; POG— Post—orogenic granite

时代花岗岩类主要为一些花岗斑岩、石英斑岩等一些酸性岩脉,目前能确定的侵入花岗岩体仅永兴北西面的上堡岩体,规模极小,面积仅 2.1km²,为黑云母二长花岗岩。

2.2 不同时代花岗岩形成的构造环境

花岗岩的年代是探索华南中生代构造演化的关键,在此基础上研究不同时代花岗岩形成的构造环境则是解决问题的必要途径。为此,笔者对 3 个不同时代花岗岩的所有岩体或岩石序列均进行了详细的地球化学研究和构造环境判别,并结合沉积作用、火山活动、构造变形等特征研究,对区内中生代不同时代花岗岩构造环境进行了仔细甄别。

2.2.1 印支期花岗岩形成的构造环境

以 Maniar et al^[24]提出的多组主元素构造环境判别图解,及 Pearce et al^[26]微量元素构造环境判别图解对区内各印支期(三叠纪)花岗岩进行了系统的构造环境判别,绝大部分显示为同碰撞环境。以王仙岭岩体为例,该岩体为典型强过铝花岗岩,根据以多数判别结果作出选择的原则,岩体明显为大陆碰撞花岗岩类(图 2)或同碰撞花岗岩(图 3)。

研究表明,包括本区在内的湘赣桂地区在中三叠世中晚期印支运动中遭受了强烈的陆内挤压造山或陆内碰撞汇聚造山作用,强烈的褶皱及逆冲推覆造成陆壳的增厚^[2],并因此而形成印支期过铝花岗岩浆^[28]。因此,区内印支期花岗岩显示为碰撞造山环境与区域背景资料相吻合。

补充指出,印支期花岗岩体中强力就位构造形迹总体上并不明显,因此很可能于主汇聚期之后挤压应力减弱、地壳相对松弛条件下侵位,而花岗质岩浆则相应由加厚的地壳在降压条件下部分熔融所形成。

2.2.2 燕山早期花岗岩形成的构造环境

区内燕山早期花岗岩体一般均无明显的主动侵位定向组构,亦未见同侵位挤压剪切构造形迹;大多位于断裂(带)中,且岩体长轴方向与断裂走向一致,显示出岩体沿张性断裂充填的就位机制。岩体中一般均发育大量的暗色铁镁质微粒包体,如千里山岩体、骑田岭岩体等;花岗岩 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值为 -6.14~-9.8,比典型的华南壳源型花岗岩明显偏高; t_{DM} 多在 1.22~1.76 Ga 之间,比华南中生代花岗岩的背景 TDM 值(1.7~1.8 Ga)明显偏低。上述均暗示燕山早期花岗岩在形成过程中有地幔物质的加入、壳幔相互作用及拉张伸展构造环境。王岳军等^[4]在研究宝山与水口山侏罗纪花岗闪长质小岩体(172~173 Ma)的地球化学特征后,也认为其形成与中生代早期岩石圈的伸展-减薄作用相关。

为了判别伸展构造环境究竟是后造山拉张还是板内裂谷拉张,笔者对区内燕山早期近 20 个花岗岩体分别进行了仔细的构造环境判别,发现在 Maniar et al^[24]提出的多组主元素构造环境判别图解和 Pearce et al^[26]的微量元素构造环境判别图解,大多显示为“后造山”环境而不是“大陆裂谷”环境,与蔡明海等^[29]对桂西北丹池成矿带花岗岩的研究结论相一致。以骑田岭岩体为例,在氧化物图解中较清楚显示为后造山花岗岩类(POG),而不是裂谷花岗岩(图 4);在不同微量元素构造环境判别图解中,样点或位于同碰撞与板内环境分界区(图 3-a),或全部落入板内区(图 3-b)中,暗示为碰撞向板内环境转换的后造山环境。骑田岭岩体为较典型的 A 型花岗岩,且为后造山环境的 PA 型花岗岩。

2.2.3 燕山晚期花岗岩形成的构造环境

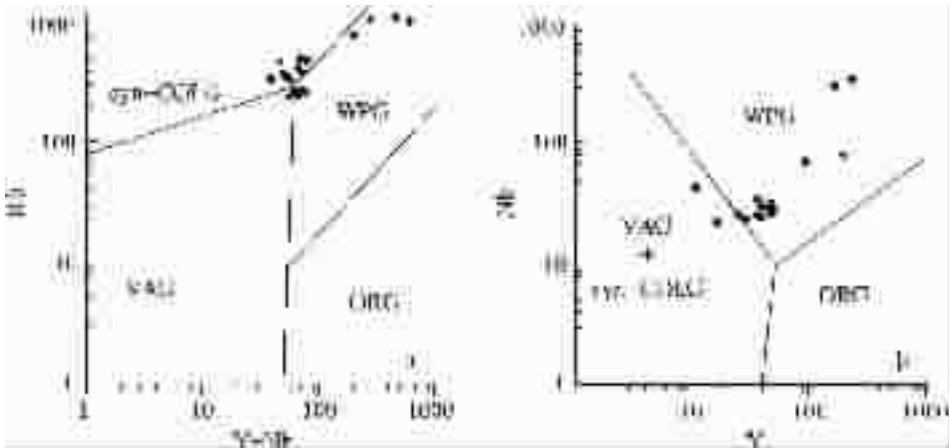


图 3 花岗岩 Y+Nb—Rb 和 Y—Nb 判别图(据 Pearce 等^[26])

VAG—火山弧花岗岩;WPG—板内花岗岩;Syn—COLG—同碰撞花岗岩;ORG—洋中脊花岗岩
■—王仙岭岩体;●—骑田岭岩体;◆—上堡岩体

Fig. 3 Y+Nb-Rb and Y-Nb discrimination diagrams for granites (after Pearce et al^[26])
VAG-Volcanic-arc granite;WPG- Intraplate granite;Syn-COLG- Syncollisional granite;ORG- Ocean-ridge granite
■-Wangxianling granite body;●-Qitianling granite body;◆-Shangbao granite body

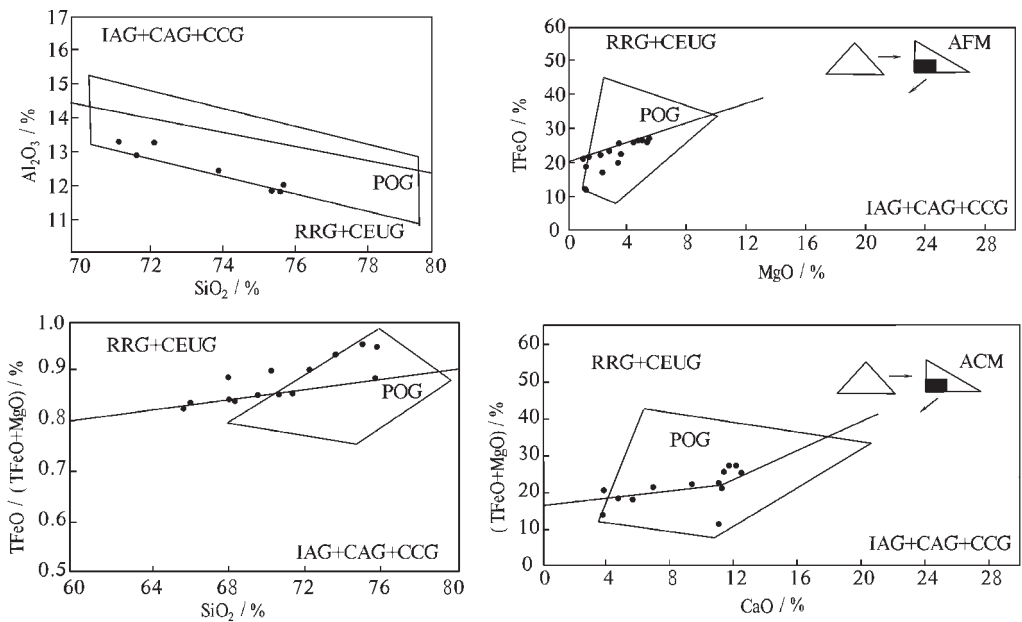


图 4 骑田岭岩体形成的构造环境判别图(据 Maniar 等^[25])

AG—岛弧花岗岩;RRG—与裂谷有关的花岗岩;CAG—大陆弧花岗岩类;CEUG—大陆的造陆抬升花岗岩类;
CCG—大陆碰撞花岗岩类;POG—后造山花岗岩类

Fig.4 Discrimination diagrams of the tectonic environment of the Qitianling granite body (after Maniar et al^[25])

IAG—Island-arc granite; RRG—Rift-related granite; CAG—Continent-arc granite;

CEUG—Continental epeirogenic-uplift granite; CCG—Continental collision granite; POG—Post-orogenic granite

区内燕山晚期(白垩纪)上堡黑云母二长花岗岩体的地球化学特征及在相关图解清楚显示为 A 型花岗岩,且为板内裂谷环境的 AA 型花岗岩。在 Pearce et al^[29]的微量元素构造环境判别图解中落入板内花岗岩区(图 3)。结合区内白垩纪发育双峰式火山岩、陆内裂陷盆地大量发育等因素,白垩纪时应为随燕山早期后造山之后的板内裂谷环境。

3 中生代沉积与成盆及相关岩浆活动的时代

根据盆地中沉积物时代及其延续性,湘东南及湘粤赣边区中生代陆相盆地可分为 2 个时代(图 1)。一是晚三叠世末—中侏罗世初期,其进一步分为晚三叠世末—早侏罗世的同造山上隆伸展裂陷盆地阶段(早阶段)和中侏罗世初期的山前冲断收缩盆地阶段(晚阶段);二是白垩纪(部分延续到古近纪)陆内裂陷盆地。

3.1 晚三叠世末—早侏罗世同造山上隆伸展裂陷盆地

该世代盆地大多呈窄条状分布于 NNE 向断裂旁侧,主要发育于茶陵、永兴、资兴、瑶岗仙、汝城、广东乐昌等地。这些盆地常常是一侧盆缘不整合覆盖在老地层之上,而另一侧盆缘则被后期逆冲断裂压覆,如资兴盆地、瑶岗仙盆地、汝城盆地等。盆内地层自下而上为晚三叠世杨梅垅组(厚 81.9~196.1 m)、唐垅组(厚 71.5~113.5 m)、早侏罗世心田门组(厚 55.0~79.0 m)、高家田组(厚 450~1500 m)等。沉积物总体为一

套灰—灰绿色陆相湖盆砂、页岩夹煤层沉积,各地层单位间多为整合接触,唐垅组以其底部砾岩与杨梅垅组间呈假整合接触,显示出盆地形成过程中构造体制的脉动性。由于陆相盆地的差异性及后期剥蚀等原因,不同盆地间地层发育完整性存在差异,部分盆地缺失下部晚三叠世地层。从沉积物粒度较细等特征来看,盆地总体表现为裂陷性质。

汝城盆地早侏罗世高家田组中夹有较多的玄武岩、玄武质火山角砾岩等^[30,31]。骑田岭东面长城岭等地在侏罗纪盆地边也发育有少量玄武岩,Ar-Ar 年龄为 178 Ma^[32]。这些与盆地同时代火山岩均为起源于地幔的板内拉斑玄武岩,其微量元素地球化学特征均反映出明显的地壳物质的混染作用^[30~32],且具低钾高钠特征,如汝城盆地火山岩 Na₂O/K₂O 比值为 1.60~3.48,据此可以推测玄武岩岩浆在喷发之前于深部经历了较长的封闭或存留时间(排浆时差,可能为数百万年)^[33]。这种封闭作用需要区域收缩挤压应力场,因此可以进一步推断该时期为同造山伸展环境,相关盆地为同造山上隆伸展裂陷盆地^[34]。事实上,这些玄武岩均产于构造相对隆起带与拗陷带的分界位置,在一定程度上反映出其形成和喷发与上隆伸展作用有关。华北燕山造山带中侏罗世早期和晚侏罗世早期均为这种类似的同造山上隆伸展构造环境^[34]。

3.2 中侏罗世初期山前冲断收缩盆地

中侏罗世初期盆地沉积为千佛岩组,与下伏早侏罗世高

家田组为假整合接触关系。千佛岩组总体为一套紫红—灰紫色、杂色中厚层状含砾中粗粒—细中粒长石石英砂岩,夹粉砂岩和粉砂质泥岩等,碎屑粒度明显较高家田组粗,具类磨拉石沉积特征,反映出盆地的构造性质发生了反转,由早侏罗世的上隆伸展裂陷盆地转变为中侏罗世初的挤压收缩盆地。从区域构造特征及演化过程来看,盆地转换的构造背景颇为清楚。中侏罗世初期,区域构造体制为 NNE 向左旋走滑兼挤压^[35~37],茶郴深大断裂成为区内一级走滑主断裂,受其深部汇聚走滑作用控制,于东西两侧陆块内形成大量 NNE 向次级压扭性断裂,近地表具逆冲性质并分别倾向西、东,且分别组成晚三叠世末—侏罗纪沉积盆地的西边界、东边界,从而构成典型的正花状构造。这些表层逆冲断裂直接导致晚三叠世末—早侏罗世裂陷盆地力学性质发生反转,成为山前冲断收缩盆地,从而造成两期不同性质盆地的原地叠加。受边界逆冲断裂的影响,盆地中早期裂陷期与后期收缩期地层一般都呈倾向断裂的单斜构造。以汝城盆地为例,盆地东缘总体呈不整合覆盖在前泥盆纪褶皱基底和晚古生代地层之上,盆地西缘则为倾向 NW,倾角 42°~55°的贝溪—鸡毛岭逆断裂(图 1);盆地中裂陷期沉积地层为早侏罗世心田门组和高家田组,后期收缩期沉积地层为千佛岩组,两期地层均倾向 NW,倾角达 35°~55°,且东侧下部地层产状较陡,而西侧上部地层产状相对较缓,反映出盆地形成过程中基底向 NW 的持续下拗。

顺便指出,区内上述两期不同性质盆地原地叠加、盆缘一侧与老地层接触而另一侧被逆冲断裂压覆等成盆特征,与华北燕山造山带侏罗纪造山幕^[34]可以对比,表明研究区在晚三叠世末至早侏罗世初仍属造山阶段构造环境。

3.3 白垩纪陆内裂陷盆地与双峰式火成岩

和整个华南地区一样,湘东南及湘粤赣边区白垩纪—古近纪时为一种陆内大规模伸展构造环境,形成数量众多,大小不一的陆相断陷盆地,其中规模较大的有衡阳盆地、攸县盆地、茶永(茶陵—永兴)盆地等,其他规模较小的有临武盆地、宜章盆地等。盆地中地层主要为红色砂砾岩、砂岩、泥岩等,局部发育古近纪泥灰岩。控盆断裂为伸展正断裂,主要有 NNE 向和 NW 向 2 组,并以 NNE 向居主导地位。正断裂多为继承前期压(扭)性断裂发展而成。

衡阳盆地冠市街一带发育有玄武岩,夹于白垩纪神皇山组砂—泥岩中,全岩 K—Ar 年龄为 71.8 Ma(本研究,略偏低)。在临武南强盆地白垩纪戴家坪组中发育有流纹岩、流纹质火山角砾岩。区内该时期中性火山岩未见发育,因此上述玄武岩与流纹岩可视为典型的双峰式火山岩组合。此外,区内发育大量白垩纪辉绿岩、煌斑岩等基性岩脉,及花岗岩斑岩与石英斑岩等酸性岩脉,但未见白垩纪中性岩脉。汝城盆地中辉绿岩全岩 K—Ar 年龄为 (112.1±3.2)Ma^[30,31],九峰一带辉绿岩 K—Ar 年龄为 87.3 Ma(本研究),郴州—桂阳一带酸性斑岩脉时代为 118~131 Ma(表 1),表明基性与酸性次火山岩时代

相近,可构成双峰式次火山岩组合。上述双峰式火成岩,与广泛发育的裂陷盆地、上堡 AA 型花岗岩等,一起指示白垩纪陆内裂谷环境。

4 主要构造变形事件

根据研究区内地层角度不整合关系,褶皱与断裂等构造变形所卷入的地层、岩体,陆内构造盆地的发育,以及不同构造形迹间的叠加与改造关系等,确定中生代构造变形事件主要有 5 期,即中三叠世后期陆内俯冲造山、晚三叠世末—早侏罗世的同造山上隆伸展、中侏罗世初期的左旋汇聚走滑、侏罗纪末区域挤压变形、白垩纪离散走滑等。

(1)中三叠世后期陆内俯冲造山:中三叠世后期印支运动造成区内泥盆纪—中三叠世早期地层褶皱回返,海盆地封闭,在 NW—SE 向挤压构造体制下发生的强烈的陆内俯冲、汇聚作用形成大量 NNE 向为主的逆冲断裂与褶皱,构成区内主体构造格架。其中茶陵—郴州大断裂为块体边界主俯冲断裂,断裂北西盘向南东盘下的俯冲作用造就了东部隆起(炎陵—仁化隆起带)西部拗陷(衡阳—桂阳拗陷带)的一级构造面貌。俯冲造山作用不仅造成褶皱基底与结晶基底之间发生大规模拆离,形成厚达 6 km 的韧性流层构造^[38],且伴随褶皱基底的收缩和叠置,上覆中泥盆统—中下三叠统海相稳定沉积盖层形成 NNE 向侏罗山式褶皱,同时伴以向西仰冲的逆断层群,并与其下伏前泥盆纪地层中近 EW 向阿尔卑斯型基底褶皱呈立交桥式横跨叠加。

鉴于本次构造事件形成于中三叠世早期海相沉积之后,并造成晚三叠世末—侏罗纪地层与早期地层的角度不整合,且中三叠世末—晚三叠世后期印支期花岗岩形成于挤压作用减弱和应力相对松弛的条件之下,因此构造变形的主要时代当为中三叠世后期。

(2)晚三叠世末—早侏罗世的同造山上隆伸展:该期伸展构造事件主要由前述晚三叠世末—早侏罗世陆相裂陷盆地沉积和同期拉斑玄武岩等所反映,由于后期反转挤压构造形迹的叠加等原因,伸展断裂形迹已难以确认和甄别。

(3)中侏罗世初期的左旋汇聚走滑:如前述,中侏罗世初构造体制为 NNE 向汇聚走滑,在地壳表层形成大量 NNE 向逆冲断裂,先期裂陷盆地受逆冲断裂控制性质发生反转,成为山前冲断收缩盆地,于盆地中沉积了粒度较粗的类磨拉石建造。逆冲断裂造成其前缘盆地(断裂下盘)中沉积岩层呈倾向断裂的单斜构造。NNE 向左旋走滑断裂派生出大量 NE 向压扭性断裂^[39]及一些 NW 向右旋平移断裂。

(4)侏罗纪末区域挤压变形:侏罗纪末期可能受太平洋板块俯冲挤压应力远程传导^[39]的影响,存在一次短暂的挤压变形事件,形成一些切割侏罗纪花岗岩体的 NNE—NE 向压扭性断裂形迹。以骑田岭岩体为例,岩体中发育有大小不一的 NNE—NE 向压扭性断裂,多为韧脆性,反映其形成于紧随岩体侵入固结之后温度较高的环境。断裂常成为破碎蚀变

带型(断裂热液充填交代型)锡矿的赋矿构造,如白腊水矿区10号矿脉等。王登红等^[15]对10号矿脉矿石(强绿泥石化似斑状花岗岩)测得Rb—Sr等时线年龄为136 Ma,说明本次变形事件应为侏罗纪末期。

(5)白垩纪离散走滑与盆岭构造:白垩纪时研究区总体为裂谷构造环境,并由此发育大量陆相红色断陷盆地。主要盆地如衡阳、攸县、茶永、宜章、乐昌等盆地之间或盆地旁侧均为由前泥盆纪褶皱基底和花岗岩基的抬升与剥露所表现的相对隆起的山岭,从而组成典型的盆岭构造。部分与山岭相关的变质褶皱基底和花岗岩基在正向滑脱断裂控制下呈断块急剧抬升而演变为变质核杂岩构造,如香花岭、诸广山等^[35]。

裂谷环境及相关盆岭构造主要是受深部地幔上隆和岩石圈减薄作用控制,如根据地球物理资料推断的湖南莫霍面等深图,衡阳盆地深部对应有一明显的莫霍面隆起区,31~31.5 km等深线卷闭清楚反映出莫霍面或上地幔隆起的基本轮廓;茶永盆地在莫霍面等深线图上对应于衡阳隆起与诸广山坳陷间的斜坡地带,在剩余异常图上,盆地呈低缓正重力异常,暗示地幔上隆在盆地形成中起到一定控制作用等。

此外,区域构造应力场与区域走滑构造体制在盆岭构造形成中也起到重要作用。一是白垩纪开始华南区域构造应力场转变为SW—NE方向挤压,形成的NW—SE向伸展作用无疑有利于NNE向断陷盆地的形成^[39]。二是从更大区域看,湘赣边区白垩纪盆地主要有桃林盆地、长平盆地、醴攸盆地、茶永盆地、宜章盆地等,自北而南表现出较清楚斜列样式,反映受NNE向正平移或离散走滑断裂控制作用明显^[35]。离散走滑断裂与太平洋板块向北移动有关,因此具左旋性质^[35]。

5 地质事件序列的初步框架

在上述研究基础上结合区内中生代成矿作用等,厘定出中生代地质事件序列的初步框架(表2)为,从早至晚分为前造山(Ⅰ)、陆内造山(Ⅱ)、后造山(Ⅲ)、板内裂谷(Ⅳ)4个大的发展阶段,其中陆内造山阶段进一步划分为4个亚阶段(Ⅱ₁~Ⅱ₄)。

5.1 早三叠世—中三叠世早期前造山阶段(Ⅰ)

早三叠世—中三叠世早期研究区为继承晚古生代盆地性质的克拉通盆地^[40],弱伸展环境下沉积了早三叠世大冶组和张家坪组(同期异相)、管子山组,中三叠世早期的三宝坳组、石镜组。大冶组为滨浅海灰岩,张家坪组为台盆泥质灰岩夹陆棚边缘盆地砂页岩,管子山组为浅海陆棚相砂页岩,三宝坳组为浅海陆棚相灰岩、泥质灰岩夹砂页岩,石镜组自下而上为滨浅海相灰岩夹泥岩、台缘斜坡相粉砂质钙质泥岩、滨海相灰岩夹砂页岩。

5.2 中三叠世后期—中侏罗世初陆内造山阶段(Ⅱ)

根据构造变形、岩浆活动以及沉积盆地的发育特征等,陆内造山阶段可进一步分为4个亚阶段,从早至晚依次为:

(1)中三叠世后期(Ⅱ₁):为印支运动陆内俯冲造山作用的主要时期,造成区内泥盆纪—中三叠世早期地层褶皱回返,海洋盆地封闭,从此研究区进入陆地发展阶段。在区域NNW—SEE向挤压构造体制下发生强烈的陆内俯冲汇聚,形成大量NNE向为主的逆冲断裂与褶皱,造就了区内主体构造格架,以及以茶陵—郴州大断裂为界的东部隆起(炎陵—仁化隆起带)、西部坳陷(衡阳—桂阳坳陷带)的一级构造面貌。

(2)中三叠世末—晚三叠世后期(Ⅱ₂):具体时限为233~

表 2 湘东南及湘粤赣边区中生代地质事件序列的初步框架
Table 2 The preliminary framework of the Mesozoic geological events in southeast Hunan and the border region of Hunan, Guangdong and Jiangxi provinces

年代/Ma	阶段	构造体制	火山与沉积建造	侵入岩组合	构造变形与变质作用	成矿作用
K	板内裂谷(Ⅳ)	伸展	红色碎屑岩建造,玄武岩-流纹岩	辉绿岩-煌斑岩	盆-岭构造,正断裂,变质核杂岩	Sn,Nb,Ta,Be
135	J ₃	后造山(Ⅲ)	伸展,末期短暂挤压	二长花岗岩-花岗闪长岩-正长花岗岩	切割侏罗纪花岗岩的压扭性断裂	大规模有色金属成矿
157—174	J ₂					
178	J ₁	陆内造山(Ⅱ)	Ⅱ ₄	汇聚走滑	类磨拉石	
205	T ₃		Ⅱ ₃	伸展	含煤建造,玄武岩	正断裂与断陷盆地
210—227	T ₂		Ⅱ ₂	挤压松弛	二长花岗岩-花岗闪长岩	
233	T ₁		Ⅱ ₁	NWW-SEE向挤压	NNE向褶皱与冲断构造,NE向压扭性断裂等	
241	T ₁	前造山(Ⅰ)	弱伸展	海相碳酸盐岩-碎屑岩		

210 Ma,继中三叠世后期强烈的陆内汇聚造山之后,挤压应力在该时期减弱,相对松弛的降压环境下形成 S 型花岗岩浆并侵位,从而形成了诸广山岩体南部和中部、桂东、锡田、将军庙、五峰仙、王仙岭、大义山岩体等花岗岩体。花岗岩岩石类型主要有黑云母二长花岗岩、二云母二长花岗岩、黑云母花岗岩闪长岩等。

研究区西面的道县辉长岩包体(224±24 Ma)为软流圈地幔部分熔融产物^[41],表明该时期已存在岩石圈上隆及玄武岩浆的形成与底侵,为下一阶段玄武岩的喷发准备了物源。

(3)晚三叠世末—早侏罗世(Ⅱ3):继Ⅱ2 阶段挤压松弛环境之后,由于受对山根的均衡补偿产生的隆升和陡的地形梯度诱发的应力所驱动,形成伸展的造山崩塌——同造山上隆伸展^[34],区域构造体制进一步转为拉张,从而形成 NNE 向的裂陷盆地,于盆地中充填一套灰—灰绿色陆相湖盆砂、页岩夹煤层沉积。岩石圈随着伸展程度的加大于局部薄弱带破裂,软流圈物质的上涌驱动拉斑玄武质岩浆的分离并喷出地表。

(4)中侏罗世初期(Ⅱ4):该时期构造体制发生反转,变为 NNE 向左旋汇聚走滑造山。在地壳表层形成大量 NNE 向逆冲断裂,先期裂陷盆地受逆冲断裂控制性质发生反转,成为山前冲断收缩盆地,于盆地中充填了粒度较粗的千佛岩组类磨拉石建造。逆冲断裂造成其前缘盆地(断裂下盘)中沉积岩层呈倾向断裂的单斜构造。茶郴深大断裂为主走滑(兼挤压)断裂,与其两侧派生的逆冲断裂组成正花状构造。

5.3 中侏罗世早期—晚侏罗世后造山阶段(Ⅲ)

继中三叠世后期—中侏罗世初陆内造山阶段之后,中侏罗世早期—晚侏罗世(174~135 Ma)研究区发生岩石圈—软流圈系统大灾变^[42],构造环境与构造格局发生了根本性的大转变,进入全新的后造山伸展地质构造发展阶段,主要表现为大量后造山花岗岩体的侵位及相关的大规模有色金属成矿作用。岩石圈的伸展减薄与拆沉,软流圈地幔的上涌与加热等,造就研究区后造山拉张环境,造成巨量花岗岩浆形成与大量花岗岩体的侵位。壳幔相互作用、深部能量和物质及大量深源或幔源流体向浅部传输,与地壳表层大量的张性构造(断裂与裂隙)和流体配套^[43],组成巨大的岩浆—流体—成矿系统^[42],形成了水口山铅锌金多金属矿、黄沙坪铅锌矿、柿竹园钨锡多金属矿、骑田岭锡矿、瑶岗仙钨矿等一批大型—超大型矿床,使研究区成为巨大的有色金属矿集区。

侏罗纪末期可能受太平洋板块俯冲挤压应力远程传导^[38]的影响,区域构造体制发生短暂反转,在挤压条件下形成一些切割侏罗纪花岗岩体的 NNE—NE 向压扭性断裂形迹。

5.4 白垩纪板内裂谷阶段(Ⅳ)

白垩纪开始,研究区构造环境及构造—岩浆活动特征再次发生根本性的大转变。深部地幔上隆和岩石圈伸展减薄作用进一步加强,构造环境由先期后造山伸展转变为板内裂谷强拉张。大规模后造山花岗岩浆活动结束,代之以花岗斑岩、石英斑岩等一些酸性岩脉,花岗质侵入岩体仅有面积 2.1 km²,具有 AA 型花岗岩特征的上堡黑云母二长花岗岩岩体。大量陆

相红色断陷盆地发育,同时形成双峰式火山岩、双峰式次火山岩等裂谷火成岩组合。断陷盆地与盆地间相对隆起的山岭组成典型的盆—岭构造;部分与山岭相关的变质褶皱基底和花岗岩基在正向滑脱断裂控制下呈断块急剧抬升而演变为变质核杂岩构造。华南 SW—NE 方向区域挤压构造应力场以及湘赣边区 NNE 向左旋正平移或离散走滑断裂,亦在盆—岭构造形成中起到一定控制作用。成矿作用总体不太强烈,主要有上堡岩体中 Nb、Ta、Sn 矿,香花岭与界牌岭(含)黄玉花岗斑岩中的 Nb、Ta、Be 矿等。

位于研究区东南面的南雄盆地岩层中多处发育橄榄玄武岩层(自形锆石的 SHRIMP U—Pb 法测年数据为 96 Ma)^[44],研究区西面的宁远—道县一带发育大量白垩纪玄武岩^[45-48],反映出白垩纪时邻区与湘东南地区一样,具板内裂谷环境。

6 讨论

6.1 燕山早期构造环境

燕山早期是华南印支期陆内造山阶段与白垩纪强烈拉张阶段间的过渡时期,因此正确认识其区域构造环境具有重要意义。

长期以来,大多数研究者认为晚中生代时华南地区在晚白垩世之前的地球动力学背景为与 Kula 或 Izanagi 板块的俯冲作用有关的安第斯型大陆边缘^[1-3,52-54],华南地区岩石圈直到晚白垩世俯冲作用终止时才开始伸展^[55]。但江西赣江一线的“火山岩线”代表了华南地区受太平洋板块影响的西界^[56],已有研究表明 180 Ma 以来湘东南或华南地区已属陆内造山阶段无疑,因此燕山早期显然不宜作为与太平洋板块向欧亚板块俯冲有关的岛弧或弧后背景^[4]。近些年来的大量研究^[4-6,19,23,30-32,48-51]已表明华南地区在燕山早期岩石圈便发生了伸展作用,且一般认为其深层机制与岩石圈拆沉、地幔上涌、壳幔作用等有关,即直接受制于陆内造山期之后的地球动力学过程。但这种伸展环境究竟是“后造山”环境^[12,49,50]还是“大陆裂谷”环境^[5,51],尚存在疑问。笔者研究认为燕山早期湘东南及华南地区应为后造山环境。

首先,华南南岭地区分布面积极大、发育最为广泛的燕山早期花岗岩类主要为(高钾)钙碱性岩类^[17],这种花岗岩常作为同碰撞岩石圈加厚之后伸展垮塌、向非造山板内环境过渡时期的岩浆作用产物^[57],而板内裂谷环境中则以发育数量很少的正长岩、二长岩等为主。燕山早期花岗岩的构造环境判别也表明其形成于后造山环境。尽管赣南全南、塔背等地的正长岩^[5,51]及局部的双峰式火山岩^[58,59]的发育等,在一定程度上显示出裂谷环境特征,但这毕竟不是华南地区燕山早期的主要岩浆作用,将其作为局部强拉张作用的产物可能更为合适。

其次,前人通常将玄武岩浆的喷发作为整个燕山早期具强拉张环境的主要依据之一。研究表明,该地区燕山早期玄武岩喷发与大规模花岗岩浆侵位并不同时,前者明显早于后者,且是一种同造山上隆伸展;而后期花岗岩侵位阶段并无

玄武岩喷发。这一事实或许可以作为燕山早期为后造山环境而不是大陆裂谷环境的最具说服力的证据之一;如果燕山早期为裂谷环境,则随拉张过程的发展与加强,晚阶段花岗岩浆侵位时应有比早阶段更强烈的玄武岩浆喷发作用,可事实却与之正好相反。

再次,总体清楚的是,华南地区印支晚期为陆内俯冲汇聚与后继造山,而燕山晚期(白垩纪)则具强拉张陆内裂谷环境特征。按造山带构造演化的一般规律,位于中间时期的燕山早期(晚阶段)具后造山环境的可能性应大大高于裂谷环境。顺便指出,部分研究者^[9]认为华南不存在印支期的陆-陆碰撞造山带和(或)蛇绿混杂岩带,因而也不可能存在燕山早期“造山后”阶段。笔者认为,湘东南及华南地区印支运动作为一种陆内后继造山^[60]已是不争事实,其构造运动和构造样式与经典的陆-陆碰撞造山的后碰撞环境(主要表现为陆内的剪切与推覆)无本质区别。而陆-陆碰撞造山之后通常是后造山构造环境,因此,湘东南及华南地区燕山早期紧随印支期陆内后继造山后完全可以,而且更加可能形成后造山环境。

6.2 不同阶段构造-岩浆活动特征的形成机制

由上述可知,湘东南及湘粤赣边区中生代不同地质发展阶段,盆地与沉积、火山岩、侵入岩、构造变形、成矿作用等构成的结构要素组合^[61]迥然不同。

(1)印支期花岗岩形成于陆内碰撞或造山环境,但在中三叠世后期—中侏罗世初的整个陆内造山阶段的4个亚阶段(Ⅱ1、Ⅱ2、Ⅱ3、Ⅱ4)中,只有中三叠世末—晚三叠世后期(Ⅱ2)有花岗岩发育。花岗岩浆在中三叠世后期(Ⅱ1)为陆内俯冲汇聚作用的高峰期,剪切生热可能会形成一定量的壳源花岗岩浆^[62],但此时强挤压封闭环境使岩浆难以向地壳浅部上侵和成岩。至中三叠世末—晚三叠世后期(Ⅱ2)挤压应力松弛,深部压力降低使地壳发生部分熔融^[63],重熔岩浆在挤压封闭作用减弱的条件下得以向上侵位成岩。至晚三叠世末—早侏罗世(Ⅱ3)同造山上隆伸展阶段,前期压力基本释放完毕而难以继续产生岩浆,因此无花岗岩体发育。

(2)中侏罗世早期—晚侏罗世阶段,在后造山伸展背景下发生大规模花岗岩质岩浆活动与成矿作用,而在其后的燕山晚期(白垩纪)尽管拉张作用更强,花岗质岩浆活动与成矿作用则大大减弱。这一差异可能与壳幔相互作用的过程直接相关。中侏罗世早期—晚侏罗世为后造山环境,岩石圈大规模拆沉与软流圈地幔强烈上涌和对地壳物质的加热等,造成巨量花岗岩浆形成与大量花岗岩体的侵位,并提供深部物质及大量深源或幔源流体。深部成矿物质及幔源流体等随花岗岩侵位的同时向浅部传输,并在花岗岩体结晶与冷却的热演化过程中与地壳表层大量的张性构造(断裂与裂隙)和流体配套,从而构成巨大的岩浆-流体-成矿系统而形成大规模成矿。白垩纪时进入稳定的板内裂谷发展时期,尽管地幔上隆导致地壳的强烈伸展与裂陷盆地的发育,但无岩石圈拆沉引发强烈的热扰动,壳-幔物质也不能得到充分的交换,因而缺乏大规模热液成矿所必需的能量、物源与流体,成矿作用自

然严重减弱。

邓晋福教授和肖庆辉研究员在项目后期野外调查和室内综合研究过程中,对笔者进行悉心指导与热情帮助,并对文章初稿进行了认真审阅,提出宝贵意见,在此表示衷心感谢。

参考文献(References):

- [1] 郭令智,施央申,马瑞士. 西太平洋中生代活动大陆边缘和岛弧构造的形成及演化[J]. 地质学报,1983,(1):11~21.
Guo Lingzhi, Shi Yangshen, Ma Ruishi. The formation and evolution of the West-Pacific Mesozoic active continental margin and island arc [J]. Acta Geologica Sinica, 1983, (1):11~21 (in Chinese with English abstract).
- [2] 殷鸿福,吴顺宝,杜远生,等. 华南是特提斯多岛洋体系的一部分[J]. 地球科学,1999,24(1):1~12.
Yin Hongfu, Wu Shunbao, Du Yuansheng, et al. South China defined as part of Tethyan archipelagic ocean system [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1999, 24(1): 1~12 (in Chinese with English abstract).
- [3] 王鸿祯,杨森楠,李思田. 中国东部及邻区中、新生代盆地发育及大陆边缘区的构造发展[J]. 地质学报,1983,(3):213~223.
Wang Hongzhen, Yang Sennan, Li Sitian. The basins and tectonic evolution of the cotinental magin in East China and its surrounding areas from Mesozoic to Cenozoic [J]. Acta Geologica Sinica, 1983, (3):213~223 (in Chinese with English abstract).
- [4] 王岳军,范蔚茗,郭锋等. 湘东南中生代花岗岩冈长质小岩体的岩石地球化学特征[J]. 岩石学报,2000, 17(1):169~175.
Wang Yuejun, Fan Weiming, Guo Feng, et al. Petrological and geochemical characteristics of Mesozoic granodioritic intrusions in southeast Hunan province, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17 (1):169~175 (in Chinese with English abstract).
- [5] 陈志刚,李献华,李武显,等. 赣南全南正长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其对华南燕山早期构造背景的制约[J]. 地球化学,2003, 32(3):223~229.
Chen Zhigang, Li Xianhua, Li Wuxian, et al. SHRIMP U-Pb zircon age of the Quannan syenite, southern Jiangxi: Constraints on the early Yanshanian tectonic setting of SE China [J]. Geochimica, 2003, 32 (3):223~229 (in Chinese with English abstract).
- [6] 李献华,周汉文,刘颖,等. 桂东南钾玄质侵入岩带及其岩石学和地球化学特征[J]. 科学通报,1999,44(18):1992~1998.
Li Xianhua, Zhou Hanwen, Liu Ying, et al. Shoshonitic intrusive suite in SE Guangxi: petrology and geochronology [J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(18): 1992~1998 (in Chinese).
- [7] 肖庆辉,邓晋福,马大铨,等. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京:地质出版社,2002. 277~280.
Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Ma Daquan, et al. The Ways of Investigation on Granitoids [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002. 277~280 (in Chinese).
- [8] 贵阳地球化学研究所. 华南花岗岩类的地球化学[M]. 北京:科学出版社,1979.
Guiyang Institute of Geochemistry. Geochemistry of Granitoids in

- South China[M].Beijing:Science Press,1979 (in Chinese).
- [9] 南京大学地质系.华南不同时代花岗岩类及其与成矿的关系[M].北京:科学出版社,1981.
- Geology Department of Nanjing University.Granitoids of Different Ages in South China and their Metallogenetic Relations[M].Beijing: Science Press,1981 (in Chinese).
- [10] 莫柱孙,叶伯丹,潘维祖.南岭花岗岩地质学[M].北京:地质出版社,1987.
- Mo Zhusun, Ye Bodan, Pan Weizu. Geology of Granite in Nanling Range[M]. Beijing:Geological Publishing House,1980 (in Chinese).
- [11] 地质矿产部南岭项目花岗岩专题组.南岭花岗岩地质及其成因和成矿关系[M].北京:地质出版社,1989.
- Granitoid Research Group of Nanling Project.Geology of Granitoids of Nanling Range and Their Petrogenesis and Mineralization [M]. Beijing:Geological Publishing House.1989 (in Chinese).
- [12] 陈培荣,华仁民,章邦桐,等.南岭燕山早期后造山花岗岩类:岩石学制约和地球化学动力学背景[J].中国科学(D 辑),2002,32(4): 279~289.
- Chen Peirong, Hua Renmin, Zhang Bangtong,et al. Early Yanshanian post-orogenic granitoids in the Nanling region: Petrological constraints on and geodynamic settings[J]. Science in China(Series D), 2002,45(8):755~768(in Chinese).
- [13] 毛景文,李红艳,裴荣富.湖南千里山花岗岩体的 Nd-Sr 同位素及岩石成因研究[J].矿床地质,1995,14(3):235~242.
- Mao Jingwen, Li Hongyan, Pei Rongfu.Nd-Sr isotopic and petrogenetic studies of the Qianlishan granite stock,Hunan Province [J]. Mineral Deposits, 1995,14 (3):235~242 (in Chinese with English abstract).
- [14] 刘义茂,许继峰,戴樟漠.骑田岭花岗岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄及其地质意义[J].中国科学(D 辑),2002,32(增刊):41~48.
- Liu Yimao,Xu Jifeng, Dai Tongmo. Isotopic date of $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ and its geological significance [J]. Science in China (Series D),2002,32 (supple):41~48 (in Chinese).
- [15] 王登红,陈毓川,李华芹,等.湖南芙蓉锡矿的地质地球化学特征及找矿意义[J].地质通报,2003,22(1):50~56.
- Wang Denghong,Chen Yuchuan,Li Huaqin, et al.Geological and geochemical features of the Furong tin deposit in Hunan and their significance for mineral prospecting[J].Geological Bulletin of China, 2003,22(1):50~56 (in Chinese with English abstract).
- [16] 罗郢,蔡锦辉.湖南芙蓉矿田成岩成矿时代[J].地球学报,2004,25 (2):239~242.
- Luo Yun, Cai Jinhui. The rock-forming and ore-forming age of the Furong orefield,Hunan Province [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2004,25(2):239~242 (in Chinese with English abstract).
- [17] 张敏,陈培荣,张文兰,等.南岭中段大东山花岗岩体的地球化学特征和成因[J].地球化学,2003,32(6):530~539.
- Zhang Min,Chen Peirong, Zhang Wenlan,et al. Geochemical characteristics and petrogenesis of Dadongshan granite pluton in mid Nanling range [J]. Geochimica, 2003,32 (6):530~539 (in Chinese with English abstract).
- [18] 毛景文,李晓峰,Bernd Lehmann,等.湖南芙蓉锡矿床锡矿石和有关花岗岩的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地球动力学意义 [J]. 矿床地质, 2004,23(2):164~174.
- Mao Jingwen, Li Xiaofeng,Bernd Lehmann, et al. $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ dating of tin ores and related granite in Furong tin orefield,Hunan Province,and its geodynamic significance [J]. Mineral Deposits, 2004,23(2):164~174 (in Chinese with English abstract).
- [19] 朱金初,黄革非,张佩华,等.湖南骑田岭岩体菜岭超单元花岗岩侵位年龄和物质来源研究[J].地质论评,2003,49(3):245~252.
- Zhu Jinchu,Huang Gefei, Zhang Peihua, et al. On the emplacement age and material sources for the granites of Cailing superunit, Qitianling Pluton,south Hunan Province [J].Geological Review, 2003,49(3):245~252 (in Chinese with English abstract).
- [20] 付建明,马昌前,谢才富,等.湖南骑田岭岩体东缘菜岭岩体的锆石 SHRIMP 定年及其意义[J].中国地质,2004,31(1):96~100.
- Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Caifu,et al. Zircon SHRIMP dating of the Cailing granite on the eastern margin of the Qitianling granite,Hunan,south China,and its significance [J]. Geology in China, 2004,31 (1):96~100 (in Chinese with English abstract).
- [21] 刘义茂,戴樟漠,卢焕章,等.千里山花岗岩成岩成矿的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 和 Sm-Nd 同位素年龄[J].中国科学(D 辑),1997,27(5):425~430.
- Liu Yimao, Dai Tongmo, Lu Huanzhang, et al. Isotopic date of $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ and Sm-Nd for diagenesis-metallogenesis of the Qianlishan granite[J]. Science in China(Series D), 1997,27(5):425~430 (in Chinese).
- [22] 湖南省地质矿产局.湖南省区域地质志[M].北京:地质出版社, 1988,180~330.
- Hunan Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional Geology of Hunan Province [M].Beijing:Geological Publishing House,1988;180~330 (in Chinese).
- [23] 王岳军,范蔚茗,郭锋,等.湘东南中生代花岗闪长岩锆石 U-Pb 法定年及其成因指示[J].中国科学(D 辑),2001,31(9):745~751.
- Wang Yuejun, Fan Weiming, Guo Feng, et al. U-Pb dating of early Mesozoic granodioritic intrusions in southeastern Hunan Province,South China and its petrogenetic implications[J]. Science in China(Series D), 2001,31(9):745~751 (in Chinese).
- [24] 童潜明.湖南主要有色金属贵金属矿床成矿系列与成矿模式[J].湖南地质(增刊第 9 号),1997,25.
- Tong Qianming. The main metallogenic series and metallogenic models of nonferrous and precious metallic mineral deposits in Hunan [J]. Hunan Geology (supp.9), 1997, 25 (in Chinese with English abstract).
- [25] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. Geol Soc Am Bull, 1989,101:635~643.
- [26] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G.Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. J Petrol, 1984,25(4):956~983.
- [27] 庄锦良,刘钟伟,谭必祥,等.湘南地区小岩体与成矿关系及隐伏矿床预测[J].湖南地质(增刊第 4 号),1988,1~98.

- Zhuang Jinliang, Liu Zhongwei, Tan Bixiang, et al. Relation of the small rock bodies in southern Hunan to the formation of ore deposits and prognosis of concealed deposits [J]. Hunan Geology (suppl.4), 1988,1~98 (in Chinese with English abstract).
- [28] 王岳军,Y.H.Zhang,范蔚茗,等.湖南印支期过铝质花岗岩的形成:岩浆底侵与地壳加厚热效应的数值模拟 [J]. 中国科学 (D 辑) 2002,32(6):491~499.
- Wang Yuejun, Zhang Y H, Fan Weiming, Numerical modeling of the formation of Indo-Sinian peraluminous granitoids in Hunan Province: Basaltic underplating versus tectonic thickening [J]. Science in China (Series D), 2002, 45(11): 1042~1056 (in Chinese).
- [29] 蔡明海, 梁婷, 吴德成, 等. 桂西北丹池成矿带花岗岩地球化学特征及其构造环境 [J]. 大地构造与成矿学, 2004,28(3): 306~313.
- Cai Minghai, Liang Ting, Wu Decheng, et al. Geochemical characteristics of granites and its structural genetic environment in the Nandan-Hechi metallogenetic belt, northwest Guangxi [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2004,28 (3): 306~313 (in Chinese with English abstract).
- [30] 贾大成,胡瑞忠,卢焱,等. 湘南汝城盆地火山岩岩石地球化学及其成因意义 [J]. 矿物岩石, 2003,23(2):49~54.
- Jia Dacheng, Hu Ruizhong, Lu Yan, et al. The geochemistry of the volcanic rocks and its origin significance in Rucheng basin, Southeastern Hunan [J]. J Mineral Petrol, 2003,23 (2):49~54 (in Chinese with English abstract).
- [31] 贾大成,胡瑞忠,卢焱. 湘东南汝城盆地火山岩的元素地球化学及源区性质讨论 [J]. 现代地质, 2003,17(2):131~136.
- Jia Dacheng, Hu Ruizhong, Lu Yan. The element geochemistry and nature of magma source of the volcanic rocks in Rucheng basin, Southern Hunan [J]. Geoscience, 2003, 17(2):131~136 (in Chinese with English abstract).
- [32] 赵振华,包志伟,张伯友.湘南中生代玄武岩类地球化学特征 [J]. 中国科学(D 辑),1998,28(增刊):7~14.
- Zhao Zhenhua, Bao Zhiwei, Zhang Boyou. Geochemistry characteristics of Mesozoic basalts in South Hunan Province [J]. Science in China(Series D),1998,28(Supp.):7~14 (in Chinese).
- [33] 杜乐天. 地幔流体与玄武岩及碱性岩岩浆成因 [J]. 地学前缘, 1998, 5(3):145~156.
- Du Letian. Mantle fluid and genesis of basaltic and alkali magma [J]. Earth Science Frontiers, 1998, 5 (3):145~156 (in Chinese with English abstract).
- [34] 邓晋福,苏尚国,赵国春,等.华北燕山造山带结构要素组合 [J]. 高校地质学报,2004,10(3):315~323.
- Deng Jinfu, Su Shangguo, Zhao Guochun, et al. Structural elements association of Yanshan orogenic belt, North China [J]. Geological Journal of China Universities, 2004,10 (3):315~323 (in Chinese with English abstract).
- [35] 傅昭仁,李紫金,郑大瑜.湘赣边区 NNE 向走滑造山带构造发展样式 [J]. 地学前缘,1999,6(4):263~272.
- Fu Zhaoren, Li Zijin, Zheng Dayu. Structural pattern and tectonic evolution of NNE-trending strike-slip orogenic belt in the border region of Hunan and Jiangxi Provinces [J]. Earth Science Frontiers, 1999,6(4):263~272 (in Chinese with English abstract).
- [36] 李建威,李先福,李紫金,等.走滑变形过程中的流体包裹体研究—以湘东地区为例 [J]. 大地构造与成矿,1999,23(3):240~247.
- Li Jianwei, Li Xianfu, Li Zijin, et al. Fluid inclusions study in the process of strike slip faulting—a case study in eastern Hunan province [J]. Geotectonica et Metallogenia, 1999,23(3):240~247 (in Chinese with English abstract).
- [37] 李先福,晏同珍,傅昭仁.湘东—赣西 NNE 向走滑断裂与地震、地热的关系 [J]. 地质力学学报,2000,6(4):73~78.
- Li Xianfu, Yan Tongzhen, Fu Zhaoren. Relationship between NEN-trending active strike-slip faults and earthquake hot spring distribution in eastern Hunan and western Jiangxi, China [J]. Journal of Geomechanics, 2000,6 (4):73~78 (in Chinese with English abstract).
- [38] 万天丰,赵维明.论中国大陆的板内变形机制 [J]. 地学前缘,2002,9(2):451~463.
- Wan Tianfeng, Zhao Weiming. On the mechanism of intraplate deformation in Chinese continent [J]. Earth Science Frontiers, 2002,9(2):451~463 (in Chinese with English abstract).
- [39] 万天丰,朱鸿.中国大陆及邻区中生代—新生代大地构造与环境变迁 [J]. 现代地质,2002,16(2):107~118.
- Wan Tianfeng, Zhu Hong. Tectonics and environment change of Meso-Cenozoic in China continent and its adjacent areas [J]. Geoscience, 2002,16 (2):107~118 (in Chinese with English abstract).
- [40] 陈洪德,侯明才,刘文均,等.海西—印支期中国南方的盆地演化与层序格架 [J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2004, 31(6):629~635.
- Chen Hongde, Hou Mingcai, Liu Wenjun, et al. Basin evolution and sequence stratigraphic framework of south of China during Hercynian cycle to Indo-Chinese epoch [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology edition), 2004, 31(6):629~635 (in Chinese with English abstract).
- [41] 郭锋,范蔚茗,林舸,等.湖南道县辉长岩包体的年代学研究及成因探讨 [J]. 科学通报,1997,42(15):1661~1663.
- Guo Feng, Fan Weiming, Lin Ge, et al. Chronology and petrogenesis of gabbro inclusion in Daoxian County, Hunan Province [J]. Chinese Science Bulletin, 1997,42(15):1661~1663 (in Chinese).
- [42] 邓晋福,莫宣学,赵海玲,等.中国东部燕山期岩石圈—软流圈系统大灾变与成矿环境 [J]. 矿床地质,1999,18(4):309~314.
- Deng Jinfu, Mo Xuanxue, Zhao Hailing, et al. The Yanshanian lithosphere—asthenosphere catastrophe and metallogenic environment in east China [J]. Mineral Deposits, 1999,18(4):309~314 (in Chinese with English abstract).
- [43] 华仁民,毛景文.试论中国东部中生代成矿大爆发 [J]. 矿床地质, 1999,18(4):300~308.
- Hua Renmin, Mao Jingwen. A preliminary discussion on the Mesozoic metallogenic explosion in East China [J]. Mineral Deposits, 1999,18(4):300~308 (in Chinese with English abstract).

- [44] 舒良树,邓平,王彬,等.南雄—诸广地区晚中生代盆山演化的岩石化学、运动学与年代学制约[J].中国科学(D辑),2004,34(1):1~13.
Shu Liangshu, Deng Ping, Wang bin, et al. The petrochemical, kinematic and chronological constraints on the basin—mountain evolution in Nanxing—Zhuguangshan area [J]. Science in China (Series D), 2004,34(1):1~13 (in Chinese).
- [45] 王京彬.道县虎子岩体及包体的地球化学特征和构造意义.湖南地质,1991,11(1):52~58.
Wang Jingbin. Geochemistry of Fuzi rock body and its xenoliths in Daoxian and its tectonic significance[J]. Hunan Geology, 1991,11(1):52~58 (in Chinese with English abstract).
- [46] 郭锋,吴有林,范蔚茗,等.湖南省宁远—道县中生代玄武岩中辉长岩包体的岩石学初步研究[J].大地构造与成矿学,1996,20(1):38~45.
Guo Feng,Wu Youlin,Fan Weiming,et al. A petrological study on the gabbro xenoliths from Mesozoic basalts in Ningyuan—Daoxian, Hunan [J].Geotectonica et Metallogenia, 1996,20 (1):38~45 (in Chinese with English abstract).
- [47] 朱勤文,王方正,路凤香.湘南中新生代玄武岩岩石学特征[J].现代地质,1996,10(4):461~469.
Zhu Qinwen,Wang Fangzheng, Lu Fengxiang. Petrology of Mesozoic—Cenozoic basalts in South Hunan Province [J]. Geoscience, 1996,10(4):461~469 (in Chinese with English abstract).
- [48] 郭锋,范蔚茗,林舸.湘南中生代玄武岩浆成因与岩石圈—软流圈相互作用.矿物岩石地球化学通报,1998,17(1):1~4.
Guo Feng, Fan Weiming, Lin Ge. Mesozoic basaltic magmatism and lithosphere—asthenosphere interaction in South Hunan Province [J]. Bulletin of Mineralogy,Petrology and Geochemistry, 1998,17(1):1~4 (in Chinese with English abstract).
- [49] 陈培荣,章邦桐,孔兴功,等.赣南寨背 A 型花岗岩体的地球化学特征及其构造地质意义[J].岩石学报,1998,14(3):289~298.
Chen Peirong,Zhang Bangtong,Kong Xinggong,et al. Geochemical characteristics and tectonic implication of Zhaibei A—type Granitic intrusives in south Jiangxi Province[J]. Acta Petrologica Sinica,1998, 14(3):289~298 (in Chinese with English abstract).
- [50] 范春方,陈培荣.赣南陂头 A 型花岗岩的地质地球化学特征及其形成的构造背景[J].地球化学,2001,29(4):358~366.
Fan Chunfang, Chen Peirong. Geochemical characteristics and tectonic implication of Beitou A—type granitic intrusive in south Jiangxi Province[J]. Geochimica, 2001, 29(4): 358~366 (in Chinese with English abstract).
- [51] 陈培荣,周新民,张文兰,等.南岭东段燕山早期正长岩—花岗岩杂岩的成因和意义[J].中国科学(D辑),2004,34(6):493~503.
Chen Peirong, Zhou Xinmin, Zhang Wenlan, et al. Origin of Early Yanshanian syenite—granitic complexes in eastern Nanling region and its implications [J]. Science in China(Series D), 2004,34(6): 493~503 (in Chinese).
- [52] Hide D. The evolution of Western Pacific plate and its margin [J]. Tectonophysics,1977,38:115~165.
- [53] Jahn B M, Zhou X H, Li J L. Formation and tectonic evolution of southeastern China and Taiwan: Isotopic and geochemical constraints[J]. Tectonophysics, 1990,183:145~160.
- [54] Lapierrere H, Jahn B M, Charvet J, et al. Mesozoic felsic arc magmatism and continental olivine tholeiites in Zhejiang Province and their relationship with the tectonic activity in southeastern China[J]. Tectonophysics,1997,274:321~338.
- [55] 俞云文,周泰喜,陈江峰.浙江玄坛地早白垩世晚期双峰式火山岩特征及其成因[J].南京大学学报(地球科学),1993,5(4):420~429.
Yu Yunwen, Zhou Taixi, Chen Jiangfeng.Characteristics and genesis of the late Early Cretaceous bimodal volcanic rocks in the Xu-antandi area, Zhejiang [J]. Journal of Nanjing University(Natural Sciences), 1993,5(4):420~429 (in Chinese with English abstract).
- [56] 王德滋,沈渭洲.中国东南部花岗岩成因与地壳演化[J].地质前缘,2003,10(3):209~220.
Wang Dezi,Shen Weizhou.Genesis of granitoids and crustal evolution in southeast China[J].Earth Science Frontiers, 2003,10(3): 209~220 (in Chinese with English abstract).
- [57] Liegeois J P, Navez J, Hertogen J, et al. Contrasting origin of post—collisional high—alkaline and shoshonitic versus alkaline and peralkaline granitoids;The use of sliding normalization [J]. Lithos, 1998,45(com):1~28.
- [58] 陈培荣,孔兴功,倪琦生,等.赣南燕山早期双峰式火山—侵入杂岩厘定和意义[J].地质论评,1999,45(增刊):734~741.
Chen Peirong, Kong Xinggong, Ni Qisheng, et al. Ascertainment and implication of the early Yanshanian bimodal volcanic associations from south Jiangxi Province [J]. Geological Review, 1999,45(Supp.):734~741 (in Chinese with English abstract).
- [59] 陈培荣,孔兴功,王银喜,等.赣南燕山早期双峰式火山—侵入杂岩的 Rb—Sr 同位素定年及意义 [J]. 高校地质学报,1999,5(4):378~383.
Chen Peirong, Kong Xinggong, Wang Yinxi, et al. Rb—Sr isotopic dating and significance of early Yanshanian bimodal volcanic—intrusive complex from south Jiangxi Province [J]. Geological Journal of China Universities, 1999,5(4):378~383 (in Chinese with English abstract).
- [60] 邓晋福,莫宣学,罗照华,等.火成岩构造组合与壳—幔成矿系统[J].地质前缘,1999,6(2):259~270.
Deng Jinfu, Mo Xuanxue, Luo Zhaohua, et al. Igneous petrochemical assemblage and crust—mantle metallogenic system [J]. Earth Science Frontiers, 1999,6 (2):259~270 (in Chinese with English abstract).

Framework of Mesozoic tectonic evolution in southeastern Hunan and the Hunan–Guangdong–Jiangxi border area

BAI Dao-yuan¹, HUANG Jian-zhong¹, LIU Yao-rong¹,
WU Guang-ying², MA Tie-qiu¹, WANG Xian-hui¹

(1. *Hunan Institute of Geological Survey, Xiangtan 411100, Hunan, China*;

2. *Yichang Institute of Geology and Minerals, Yichang 443003, Hubei, China*)

Abstract: Southeastern Hunan and the Hunan–Guangdong–Jiangxi border area belong to the northern part of the central segment of the Nanling Range. This region is a favorable window for studying Mesozoic tectonic setting and evolution in South China. According to isotopic chronological, geological and geochemical studies, the time ranges and tectonic settings of granites of three Mesozoic ages are determined, and on that basis, combined with the characteristics and genetic mechanism of continental basins of different Mesozoic ages and volcanic rocks, stages and characteristics of tectonic deformations and ore-forming processes, a preliminary sequence framework of the Mesozoic geological events is defined. Four major stages of Mesozoic tectonic evolution in the region may be distinguished; from early to late times they are the Early Triassic–early Middle Triassic pre-orogenic stage (I), the late Middle Triassic – early Middle Jurassic intracontinental orogenic stage (II), the early Middle Jurassic – Late Jurassic post-orogenic stage (III), and the Cretaceous intraplate rift stage (IV). of these, stage II may be further divided into four substages (II₁ – II₄). The pre-orogenic stage (I) was a stable marine sedimentary stage. The late Middle Triassic (II₁) was an intracomtinenta subduction–converge peak stage, when a great deal of mainly NNE-directed thrusts and folds formed, resulting in crustal thickening. In the terminal Middle Triassic – latest Triassic (II₂), compression was relatively relax and a great deal of crustal–derived granitic magma formed and was emplaced (233 – 210 Ma). There was a syn-orogenic uplift–extensional tectonic setting in the terminal Late Triassic – Early Jurassic (II₃), when the NNE-directed rift coal-bearing basins formed and high-Na and low-K tholeiitic magma was erupted. The initial Middle Jurassic (II₄) witnessed NNE-directed sinistral convergence–strike–slip orogeny, when thrusts formed and early–formed rift basins underwent inversion to transform to piedmont thrust–contractive basins. In the early Middle Jurassic–Late Jurassic post-orogenic stage (III), voluminous post-orogenic granite was emplaced (at 174–135 Ma), accompanied by extensive mineralization. At the end of the Jurassic there occurred a transient compression event. In the Cretaceous intraplate–rift stage (IV), there occurred such tectonic associations as basin–range tectonics and metamorphic core complexes, bimodal volcanic rocks and subvolcanic rocks, acid dikes and Shangbao small intrusions with the characteristics of AA-type granite. Finally, the paper discusses the early Yanshanian tectonic environment and the formation mechanism of tectono–magmatic characteristics of different stages in the Mesozoic in South China.

Key words: Mesozoic; geological evolution; framework; southeastern Hunan–Hunan, Guangdong–Jiangxi–provinces border area

About the first author: BAI Dao-yuan, male, born in 1967, senior engineer, undertakes regional geological survey; E-mail: daoyuanbai@sina.com.