



岩浆作用与地球动力学刍议

—以中国东南沿海为例

王德滋 周全城

(南京大学地球科学系, 京南 210008)

主题词: 岩浆作用; 地球动力学环境; 中国东南沿海

提 要: 岩浆活动是地球动力学事件的一个重要方面, 本文从这点出发, 讨论了中国东南沿海中、新生代时期地球动力学环境的演变对岩浆活动的制约作用。

“地球动力学”把地球视为一个演化中的行星, 研究其深部的各种“力”和有关过程, 研究地壳及地球内部的物质和能量的迁移。岩浆活动是地球动力学事件的一个很重要的方面, 而各种岩浆的成分是岩浆赖以生成的地球动力学环境的重要特征参数。

在现代的洋中脊这种特定的地球动力学环境内形成了成分不同的玄武岩, 这些玄武岩的地球化学特征为洋中脊断裂系统断开的速度所制约。在“中大西洋洋脊”及“红海裂谷”, 断开的速度较慢, 形成的玄武岩含斑晶达38%, Ti、P的丰度较低。在“东太平洋隆起”及其他一些大洋断裂系统中, 断开的速度较快, 形成的玄武岩多是无斑隐晶质岩石, 且Ti和P的丰度较高, 说明这种玄武质岩浆在岩浆房中还未来得及进行结晶分异就从快速断开的断裂系统中喷溢到海底。又如, 众所周知, 在会聚板块的边界上, 两个板块间的会聚速度大小会导致所形成岩浆成分的变化。在会聚速度 $>7\text{cm}/\text{年}$, 且地壳厚度小于 20km 时, 所形成的火山岩中拉斑玄武岩 $>80\%$ (如汤加、伊豆), 这种拉斑玄武岩的K、Ti低, Fe富集, REE配分曲线平缓, 且贫LREE。在会聚速度 $>7\text{cm}/\text{年}$, 地壳厚度为 $30-40\text{km}$ 时, 所形成的拉斑玄武质火山岩占 $33-70\%$ (如日本东部、堪察加等), 且成分变化大, K含量低, Fe的富集程度低。在会聚速度 $<7\text{cm}/\text{年}$, 地壳厚度大于 40km 时, 所形成的拉斑玄武岩 $<50\%$, 甚至缺失, 主要形成含K中等的钙碱性岩系^[1]。故而两个板块的会聚速度会影响上覆板块和下伏地幔楔的热状态, 影响俯冲板块的去水速度, 从而影响造山火山岩的成分。

以上的例子说明, 岩石圈的岩浆作用完全为地球动力学过程所制约, 岩浆的生成和演化涉及地幔、地壳的物质组成及其间的相互作用, 涉及地幔、地壳的结构、热状态及在其中进行的各种化学的、物理的动力学过程。从板块构造的角度来看, 岩浆活动主要发生在岩石圈板块的边缘, 其次在板块的内部, 因而地球动力学环境的变化与板块的迁移和活动有关。Коваленко等(1987)^[2]从全球构造入手对现代地球动力学环境(图1)进行如下的划分: ①大洋裂谷; ②大陆裂谷; ③洋内岛弧; ④具岛弧的活动大陆边缘以及不具岛弧的安第斯活动大陆边缘; ⑤大陆碰撞带; ⑥板内海洋及板内大陆。并总结了各个地球动力学环境中岩石组合的特征。这样的划分方案很容易产生一种印象: “地球动力学环境”就是“构造环境”, 并会产生一个问题: “这两者有什么区别?”, 笔者认为, 只有把每一种构造环境中产生岩浆

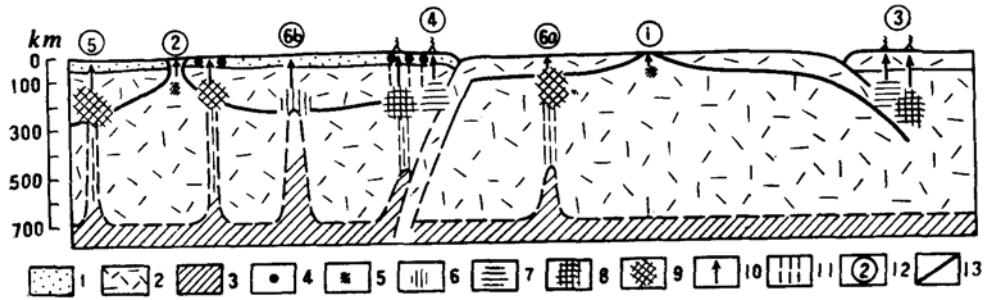


图 1 岩浆作用与地球动力学环境的关系示意图

Fig. 1 Sketch map of relationship between magmatism and geodynamic

1—3—岩浆源；1—大陆地壳；2—上地幔；3—下地幔；4—9—岩浆类型；4—再生硅铝质（大陆型）；5—拉斑玄武质（裂谷型）；6—大陆内的拉斑玄武质（暗色岩型）；7—碱度正常的钙碱性（安山质）；8—碱性高的钙碱性（橄榄玄粗质）；9—碱性岩、金伯利岩和碳酸岩；10—岩浆移动方向；11—地幔交代带（富集地幔）；12—地球动力学环境（①—大洋裂谷；②—大陆裂谷；③—洋内岛弧；④—具岛弧的活动大陆边缘，不发育岛弧的安第斯型活动大陆边缘；⑤—大陆碰撞带；6a—板内海洋；6b—板内大陆）；13—岩石圈板块的下部边界

(仿Коваленко. В. И., 1987)

的所有物理的、化学的动力学过程弄清楚才能深刻理解地球动力学环境对岩浆活动的制约作用，只有这时，“地球动力学环境”才比“构造环境”更能反映地质事件的本质。

中国东南沿海中生代时处于欧亚板块、库拉—太平洋板块、印度洋—澳大利亚板块的交接部位，这个地区在中—新生代时期地球动力学环境的演变明显制约了这一时期的岩浆活动。

印支运动以后，库拉—太平洋板块对欧亚板块的俯冲作用，使中国东南沿海逐步从稳定大陆边缘转变为活动大陆边缘，地球动力学环境发生了明显的变化。导致这种变化的一个重要原因是不同板块间相对迁移的方向和速度在不同的时间内发生了变化。例如，库拉板块与太平洋板块之间的洋脊在不同的地质时期内扩张的速度是不同的，Larson等（1972）^[3]早就进行过计算。这个洋脊正常的扩张速度为4cm/年，Uyeda和Miyashiro（1974）认为^[4]，在扩张高峰期间，扩张速度为8cm/年，Morgan（1972）^[5]认为，太平洋板块向欧亚板块移动的速度为8cm/年。这样，在该洋脊扩张高峰来到前，库拉板块向欧亚板块下面俯冲的速度是4 + 4 + 8 = 16cm/年；洋脊扩张高峰期间，库拉板块的俯冲速度是8 + 8 + 8 = 24cm/年。在库拉板块连同库拉—太平洋板块之间的洋脊倾没于欧亚板块下以后，太平洋板块向欧亚板块俯冲的速度只有8cm/年^[4]。后来又有很多研究者对板块间的相对运动的速度进行了测量和计算，各自获得不尽相同的数据^[6]。在这里，除了板块俯冲速度变化这一因素外，库拉—太平洋板块之间的洋脊在俯冲中倾没于欧亚板块之下也是引起中国东南沿海地球动力学环境改变的另一个重要原因。亚洲东部与北美西部的对比表明，在海洋板块俯冲期间，洋脊潜没前所形成的火山岩多为安山质，在洋脊潜入大陆板块以后，所形成的火山岩为玄武质的，或为玄武质—流纹质的双模式火山岩^[4]。太平洋两岸在洋脊潜没前后火山岩浆成分的相似变化趋势

充分说明这一事件对地球动力学环境的制约作用。下面以时间为序,进行简要的讨论。

1. 190—170Ma的晚三叠世—早侏罗世(T_3-J_1)期间,我国东南沿海处于燕山运动的前夕。当时“法拉隆板块”处于亚洲大陆东北缘,以10.7cm/年的速度向NE方向迁移^[6],因而,这时中国东南沿海火山活动较弱。以福建为例,在 T_3-J_1 期间形成的火山岩有安山岩,与之伴生的拉斑玄武岩及其他火山岩,其化学成分在有关图解上多位于“稳定构造区”,少数位于接近稳定区的“造山区”^[7],说明在这区间,福建沿海属“稳定大陆边缘”的一部分,但已向“活动大陆边缘”方向转变。

2. 165—120Ma期间,燕山运动历经第一幕、第二幕、第三幕,在其中的145—135Ma期间,库拉板块以5.3/cm年的速度向NW方向俯冲,速度并不快,但到135—127Ma期间,进入库拉—太平洋板块洋脊扩张的高峰期,库拉板块向NWW方向俯冲,方向稍有变化,俯冲速度达30.3cm/年^[6],这样快的俯冲速度使大陆地壳受挤压而隆起,相应的断块运动,使印支期形成的断裂进一步活化,并产生新的断裂。120Ma前后,库拉—太平洋板块间的洋脊俯冲到欧亚板块之下^[8],使大陆地壳进一步上隆,并带来大量的热能。这是因为除了靠近洋脊的年轻洋壳较热外,更重要的是地幔物质通过倾没的洋脊上涌,促使了热对流。Worgan(1972)^[9],对世界上20个地幔柱的“热效应”进行了统计,其中14个地幔柱靠近海洋中的扩张轴。当时他假定:从这些地幔柱上涌的物质(ϕ)达500km³/年,地幔柱与周围地幔的温度差(ΔT)为300℃,地幔柱比热 $C_p=0.25\text{Cal/g}^\circ\text{C}$,密度为 ρ ,那么上涌地幔柱携带的热量 $Q=\rho\cdot C_p\cdot\Delta T\cdot\phi=1.5\times 10^{20}$ 尔格/秒,这差不多相当于整个地球总热流量的一半。从这种统计也可以看出倾没到大陆下的洋中脊可能产生的“热效应”。这种“热”的板块相对较轻,在俯冲时,板块倾角较小,使俯冲带范围较宽。这种板块沿海沟下插时,所受到的拉力(F)^[10]为:

$$F=g\cdot\Delta\rho\cdot l\cdot D_s \quad (1)$$

这里 g 为重力加速度; $\Delta\rho$ 为下插板块与上覆地幔之间的密度差; l 为下插板块的厚度; D_s 为下插板前缘的深度。这种驱动力可使下插的洋壳一直向大陆板块下的软流圈俯冲,这种快速并以低角度俯冲的洋脊,使上覆大陆板块的地温梯度上升。福建沿海长乐—南澳深断裂带内晚侏罗世末形成的高温低压变质带是地温上升直接引起区域变质产生的结果。随着地温进一步上升,俯冲的含水板块在较浅的部位就能脱水,并使上覆地幔楔和大陆地壳在较浅的部位就能形成岩浆。这种俯冲的洋脊是导致中国东南沿海(及亚洲东部)在晚侏罗—早白垩世期间出现范围宽、强度大的火成活动的基本因素,但因为地壳断裂发育,使俯冲洋壳带来的、为安山岩浆形成所必须的水不易保存,同时断裂导致压力释放,加上高的地热梯度,以至在地壳中容易形成岩浆。所以这时中国东南沿海多形成酸性和中酸性火山岩,以福建为例这一时期内的主要火山作用产物是流纹岩、英安岩及相应的凝灰岩,熔结凝灰岩,少量为安山岩,属高钾钙碱性岩系。它们的化学成分在有关图解上的标绘点位于造山带及岛弧火山岩区内日本岛弧火山岩平均成分线的右侧^[7]。这种岩浆作用产物验证了这种快速俯冲机制,说明中国东南沿海属于与日本岛弧有区别的活动大陆边缘。另外,与安第斯型活动大陆边缘比较,因为这里海洋板块俯冲的速度较快、俯冲的角度较缓,地壳较薄,形成岩浆的深度较浅,所以形成的岩石组合及相似岩石的化学成分不同(表2),笔者等曾建议命名为“浙闽型”大陆边缘^[11]。

3. 120—70Ma期间,晚燕山运动历经第IV、第V幕,中国东南沿海地球动力学环境发

表 1 不同类型活动大陆边缘火山岩石化学成分^{*(11)}

Table 1 Chemical compositions of volcanic rocks from various active continent margin

SiO ₂ 间隔	48—52		52—56		56—60		60—63	
类 型	I	II	I	II	I	II	I	II
SiO ₂	49.79	50.31	52.91	53.99	58.13	58.17	61.70	61.70
Al ₂ O ₃	18.13	16.56	16.73	16.92	16.53	17.05	16.61	16.82
Fe ₂ O ₃ + FeO + MnO	9.40	10.33	9.64	8.73	6.28	7.19	5.93	5.73
MgO	4.79	6.87	4.46	5.18	2.99	3.53	1.89	2.75
CaO	7.83	8.91	6.74	7.53	5.61	6.05	3.72	5.29
K ₂ O + Na ₂ O	4.97	4.84	5.61	5.87	6.72	6.52	7.37	6.57
K ₂ O/Na ₂ O	0.62	0.40	0.52	0.62	0.80	0.71	0.90	0.69
A. R.	1.47	1.47	1.56	1.63	1.87	1.79	2.14	1.85
样品数	5	165	3	239	6	236	7	187
SiO ₂ 间隔	63—66		66—69		69—73		>73	
类 型	I	II	I	II	I	II	I	II
SiO ₂	64.17	64.55	67.94	67.52	71.23	71.05	75.55	75.80
Al ₂ O ₃	15.91	16.52	15.37	16.14	14.54	15.26	12.75	13.13
Fe ₂ O ₃ + FeO + MnO	3.49	4.72	3.40	3.79	2.46	2.64	1.87	1.49
MgO	1.31	1.90	0.92	1.20	0.49	0.65	0.25	0.27
CaO	2.67	4.13	1.63	3.16	0.82	2.08	0.38	0.87
K ₂ O + Na ₂ O	8.32	7.22	9.03	7.46	8.67	7.81	7.99	8.23
K ₂ O/Na ₂ O	0.97	0.81	1.05	0.91	1.44	1.10	2.47	1.29
A. R.	2.62	2.08	3.27	2.26	3.59	2.50	4.11	3.11
样品数	10	201	28	157	29	95	50	252

* 据杜扬松、王德滋 (1989)⁽¹¹⁾资料修改。I 为渐闻型, II 为安第斯型。

生了一次明显的变化, 库拉—太平洋板块间的洋脊倾没后, 欧亚大陆东部强烈伸张⁽¹¹⁾, 地壳的进一步上隆, 使这里处拉张应力的控制之下, 大陆边缘解体, 在晚白垩世—早第三世期间形成了日本海。有的学者认为⁽¹²⁾, 这时的中国东南沿海属“类裂谷大陆边缘”。粤北、赣南的上侏罗统、浙、闽东部的下白垩统中出现同时代的玄武岩、流纹岩及少量玄武安山质和英安质岩石, 它们或作为多组分复合岩流出现, 或作为双模式火山岩出现。这时火山岩浆的成分趋于多元化。

4. 70Ma—现代 (新生代时期), 中国东南沿海象中国东部的其他地区一样, 随着上地幔的上隆, 进一步裂谷化。邓晋福、刘若新等⁽¹²⁾认为, 这时中国东部的上地幔与美国夏威夷及盆岭省大陆裂谷区有近似的热状态。新生代时期主要的岩浆活动是玄武岩的喷发。据王慧芬、朱炳泉等⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾研究, 在古新世、始新世喷发的是拉斑玄武岩系列的石英拉斑玄武岩, 中新世和上新世时期, 拉斑系列与碱性系列玄武岩共生, 第四纪则是以喷发碱性系列玄武岩为主。新生代不同时期内, 所喷出的玄武岩成分的不断变化也与地球动力学环境的变迁密切相关。在40—50Ma的始新世期间, 印度板块与欧亚板块碰撞, 太平洋板块向欧亚大陆的俯冲方向和速度都发生了变化。在48—43Ma期间, 太平洋板块以7.1cm/年的速度向NNW方向俯冲, 在3.7Ma左右, 改以10.6cm/年的速度向NNW方向俯冲⁽⁶⁾。青藏高原及太平洋沿岸岛

弧的“屏障”作用,使弧后构成引张的环境,从而导致始新世拉斑玄武岩的喷发。又如在15Ma左右,古地磁研究表明,日本岛弧北部反时针旋转 50° ,南部顺时针旋转 54° ,日本海继续沿NW-SE向扩张,中国东部原来的引张环境短时期内为剪切应力控制,因而在中新世的15Ma期间,在拉斑玄武岩喷发后,继之为碱性玄武岩的喷发。

中生代时期,中国东南沿海地幔的上隆使浙、闽、粤沿海存在一个向西倾斜的地幔缓坡带,在这地幔缓坡带上存在一个长而窄的重力梯度带,在福建沿海东西方向的60—90km范围内,布格重力异常值从0.42毫伽/公里增加到0.48毫伽/公里。与此相应的存在一个地壳厚度递变带,在这递变带内,莫霍面埋藏深度以西边的38.2km减少到东边的36.2km。东南沿海这个地幔缓坡带也是近代地震带,地温异常带^[7],因而也是温泉分布区。在长乐—南澳深断裂带内,在人类历史的1600年以来,一般破坏性地震发生了12次,温泉有20多处^[7]。漳州热田钻孔内水温最高达 121.5°C ^[15]。地球物理工作者新近研究了地幔缓坡区内福州—泉州—汕头地区的地壳结构^[16]。地震法研究将该地区的地壳分上、中、下三层。“上地壳”厚度1.5—4.0km(平均3km),主要由燕山期喷发或侵入的花岗岩火山岩构成,局部地区有沉积岩。“中地壳”厚度稳定,平均厚15km,在“中地壳”下方有一低速层。低速层分布区也存在重力、地磁等的异常现象,尤其是低速层分布区往往是温泉出露区,低速层埋藏越浅,温泉出露点越多,泉水温度也越高。上述漳州地区,低速层埋深仅11km,据那里的高温蒸汽泉推测,低速层中可能存在熔融和半熔融物质。“下地壳”平均厚12km。在下地壳的下方存在数km厚的高速致密物质,据认为是由上地幔物质上涌、迁移到下地壳,形成了壳幔混合物,从而构成了地震波的高速层。上述多学科研究结果表明,东南沿海现在的地壳结构明显地记录了中、新生代时期地球动力学过程不断演化的结果。在这一地区虽然火山活动在现在并不多见,但台湾现代的活火山、台湾与大陆距离的不断变化及其他地质现象和记录都表明,地幔与地壳间能量、物质的转移、交换还在不断地进行着,地球动力学过程还在不断继续着。

在讨论某种岩浆成因,对比不同构造环境中岩石组合的异同时,使我们不得不在“地球动力学”因素上思考问题,这篇短文是这方面不成熟的尝试。

参 考 文 献

- [1] Gill, J. B., 1981, *Orogenic andesites and plate tectonics*, Berlin, N.Y.: Springer.
- [2] Коваленко, В. И., 1987, *Магматические Горные Породы*. Москва, “Наука”.
- [3] Larson, R. J. and Chase, C. G., 1972, Late mesozoic evolution of the Western Pacific. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, Vol. 83, 3627-3644.
- [4] Uyeda, S., Miyashiro, A., 1974, Plate tectonics and the Japanese islands: a synthesis. *Geol. Soc. Am. Bull.* Vol. 85, 1159-1170.
- [5] Morgan, W. J., 1972, Plate motions and deep mantle convection, in Shagam, R., ed *Studies in earth and space*. *Geol. Soc. Amer. Mem.*, 123, 1-22.
- [6] 丸山茂德, 漱野彻山, 1987, 日本列岛周围的板块相对运动和造山运动. *国外地质*, 第3期, 1-9.
- [7] 福建省地质矿产局, 1985, *福建省区域地质志*, 地质出版社.
- [8] Hilde, D., 1977, The evolution of Western Pacific plate and its margin. *Tectonophysics*, Vol. 38, 115-165.
- [9] Worgan, W. J., 1972, Deep mantle convection planes and plate motions. *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, Vol. 56, No. 2, 203-213.

- [10] Sekiguchi, S. 等, 1987, 板块运动驱动力的大小。地球物理学进展, 第2卷, 第1期。
[11] 杜扬松、王德滋、陈克荣, 1989, 浙东沿海中生代火山侵入杂岩。地质出版社。
[12] 郑济林, 1989, 括苍山中生代火山岩的构造环境及地壳热状态。中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊, 第10卷, 第2期, 40—51。
[13] 王慧芬等, 1988, 中国东部新生代火山岩Ar-K年代学及其演化。地球化学, 第1期, 1—12。
[14] 朱炳泉、王慧芬、杨学昌, 1988, 中国东部新生代火山作用时代与构造环境变迁。地球化学, 第3期, 209—215。
[15] 熊亮萍等, 1990, 漳州热田的对流热流和传导热流的研究。地球物理学报, 第33卷, 第6期, 702—711。
[16] 廖其林等, 1988, 福州—泉州—汕头地区地壳结构的爆炸地震研究。地球物理学报, 第31卷, 第3期, 270—280。

A humble Opinion about Magmatism and Geodynamic Cited the Coastal Area of Southeastern China as Instance

Wang Dezi Zhou Jincheng

(Department of Geosciences, Nanjing University, Nanjing)

Key words: magmatism; environment of geodynamic; coastal area of
Southeastern China

Abstract

Magmatic activity is a important aspect of geodynamic events. This paper, based on this, dealt with the effect of evolution of geodynamic environment during Mesozoic-Cenozoic era on the magmatic activities in the Coastal area of Southeastern China.