

编者按 花岗岩的成因特别是其形成空间的问题争论已久。陈国能教授在“大陆地质学研究的若干问题思考”一文中提出了一个引人注目的“花岗岩成因原地重熔说”,阐述了自己的观点。为了集思广益,本刊欢迎有兴趣的同志,就这个问题展开讨论,各抒己见,以促进对花岗岩成因更加深刻的认识。

342-347 大陆地质学研究的若干问题思考*

陈国能

(中山大学地球科学系)

摘要 板块说阐明了洋壳的物质循环,而地槽说则阐明了地壳表层的物质循环,两者之间显然尚欠缺一个关于大陆内部的物质演化模型。因此,要建立大陆地质学的系统理论,首先应该查明大陆内部的物质过程;而建立大陆内部物质演化模型的关键,是阐明组成大陆地壳重要部分的花岗岩的成因。传统的岩浆侵入说无法容纳与花岗岩有关的各种资料。在地温场状态上的将今论古是花岗岩成因研究中的思维误区。

关键词 大陆动力学, 物质循环, 花岗岩成因, 思维误区

分类号 P588.121

板块学说令人信服地解释了大洋的演化,但事实证明它不适用于大陆过程^[1]。为此,在 Hess-Dietz 的假说提出近三十年之际,美国的地球科学家们又率先提出“大陆动力学”研究计划^[2]。然而,大陆地质研究的关键科学问题是什么?目前实施的大陆动力学计划以及各种造山带动力学研究项目,有可能取得思维上的突破,从而建立适合大陆过程的系统理论吗?

相信不少学者也正在思考着上述问题^[3,4],故作者下述认识虽尚嫌粗浅,但仍匆匆刊出,以期抛砖引玉。

1 关于大陆动力学研究问题的思考

也许与地球物理学家们对板块说的贡献有关,人们通常把板块学说看成是描述球面岩石圈块体运动的动力学框架。事实上,板块理论的核心不是其动力学模型,而是其物质演化模型:地幔物质从洋中脊涌出,向两侧扩散,最后在俯冲带回到地幔。这一过程导致洋壳的增生与消亡,构成了一个完整的地幔层次物质旋回。岩石圈板块的运动,以及大陆的离裂与碰撞

* 国家教委基金资助项目

作者简介:陈国能,男,45岁,教授。主要研究方向为:1)大地构造与成矿学,2)新构造与第四纪地质学。通讯地址:广州新港西路,中山大学地球科学系,邮编:510275。

等,只是上述物质过程所引起的几何学和动力学效应。换言之,没有洋壳物质的新生与消亡,就没有岩石圈板块的运动。从理论形成的角度说,没有描述洋壳物质演化过程的海底扩张模型,板块的框架不可能成立。

地槽说是板块说问世之前,地质学中流行最广和影响最大的另一大地构造学说。这一假说认为,山脉的前缘一些狭长的沉降盆地,即地槽。随着地槽的发展,其内的沉积物不断增厚。当地槽下降到一定程度时,由于造山作用而褶皱回返,形成大陆的褶皱山脉。

与板块说一样,地槽说的成功之处是它建立了与地表形态变化相适应的物质演化模型:沉积区的物质来自隆起区岩石的风化剥蚀;松散沉积物深埋之后,经成岩作用形成新的岩石;新的岩石经造山作用又回到地表,构成了大陆山脉的主体,从而又再次受到风化剥蚀,成为沉积物的新源区。上述过程构成了一个完整的地表层次(或沉积圈层次)的物质旋回。

从上可见,地质科学史上两个最成功的、关于地壳或岩石圈演化的学说,都是以物质演化模型作为其理论核心;板块说阐明了地幔层次物质循环,地槽说则阐明了沉积圈层次物质循环。但两者之间,显然尚缺一个关于大陆内部物质演化的理论模型。这意味着,要建立大陆演化的系统理论,首先应该阐明大陆内部的物质过程。换言之,目前实施的各种大陆动力学研究计划,如果其目标是建立与大陆演化相适应的新的理论体系,那么,首先要做的不是造山带力学机制的研究,不是盆地演化的动力学模拟,也不是大陆地壳与地幔、或大陆地壳与板块系统相互作用的“野外实验室”观察,而是建立与大陆各种观察资料相适应的壳内物质演化模型。

模型是研究的结果,问题才是研究的开始,建立壳内的物质演化模型,要解决的关键科学问题是什么?

大家知道,洋壳和陆壳的最大区别是后者具有花岗质层圈,这一层圈既没有加入洋壳的物质循环,也不是地表物质过程的直接结果。那么,作为大陆独有的、而且是组成大陆地壳重要部分的花岗岩,是否主要为大陆内部过程的产物?显而易见,不管这一问题答案如何,大陆地质研究的关键科学问题应该就是:组成大陆地壳重要部分的花岗岩是怎样形成的?

2 关于花岗岩成因研究问题的思考

花岗岩成因可以说是地质学最古老、而且是争论最多的问题。现代花岗岩成因争论的焦点在于岩浆花岗岩^[5]。对岩浆花岗岩成因的流行认识是:岩浆源于深部源区,然后通过某种通道向上入侵,最后在地壳浅部定位,经凝固结后形成岩体。这就是传统的“岩浆说”,其核心是“侵入”,故亦称“岩浆入侵说”。这一假说事实上将花岗岩的形成分为岩浆形成、岩浆侵入和岩体形成三个阶段。三个阶段分别发生于地表以下的不同深度。

事实上,历史的和现在地表以下的地质过程都是无法直接观察的,它们只能够通过逻辑思维逐渐逼近。假说就是逻辑思维的结果。假说建立的依据是过程的遗迹,而过程遗迹的直接观察场所是野外,实验室观察只是野外观察的延伸和补充。

在前述岩浆花岗岩形成的三个阶段中,唯有最后一个阶段的遗迹可以在野外观察到。因此,任何一个有关岩浆花岗岩成因的假说,首先必须合理解释与岩基有关的各种野外地质现象。不可能设想,一个假说在对直接观察到的过程的结果都无法解释的情况下,可以对整个过程作出正确的判断。

花岗岩是侵入体的认识最早是由郝顿(J. Hutton, 1726 ~ 1797)据苏格兰 Grampian 山脉的研究提出的。这一认识的主要依据是花岗岩与围岩的穿插切割关系。但是,对岩浆花岗岩

的野外观察,同时见到的基本地质事实有两个:

- (1) 结晶质的花岗岩从下而上穿插切割了先存的岩石地层;
- (2) 花岗岩体在地壳中占有巨大的空间。

“岩浆侵入说”合理地解释了第一个基本事实,但却无法解释第二个基本事实所蕴含的问题:岩基占据的巨大空间的原始岩石去了何方?这就是花岗岩的“空间问题”。Keilhau 可能是最早提出这一问题的学者^[6]。

如果岩基是外来体,原始岩石的去向只有两种可能:

- (1) 被上升的岩浆溶化;
- (2) 被上升的岩浆挤走。

戴里(Daly)提出的“顶蚀说”主张岩浆在上升过程中蚕蚀围岩而取得空间,但根据热力学原理对岩浆上升熔化岩石的可能性进行计算,即使温度高达 1000℃ 以上的地幔岩浆,也只能熔化相当其自身体积 5% 左右的冷岩石。这种计算可能过分保守,若将其打上 10 倍的折扣,即假设岩浆能够熔化相当其自身体积 50% 的岩石。然而,岩浆的空间仍然无法解决。因为岩石熔化只是物质形态的改变而不是物质体积的改变。就如一杯水,结了冰之后仍然是一杯。不管杯里的是水还是冰,要在杯中再加入相同体积的水显然是不可能的。

主张第二种可能性的主要有“底辟说”、“气球膨胀说”和“岩墙扩张说”。

底辟说主张岩浆在上升过程中将上覆岩石托起而获取空间,其机理与岩盐的底辟相似。但岩浆底辟和岩盐底辟的区别是,岩浆体顶部不是厚度不大的软岩层,而是厚达十几公里甚至几十公里的地壳。底辟说强调了岩浆与岩石的密度差但却与两者粘度差的研究结果不相容^[7,8]。

Ramsay(1981)在研究赞比亚 Chindmore 岩体时完善了 Cloos(1925)的气球膨胀说,主张岩浆在水平方向上推开或压缩先存岩石而获得空间^[8]。该假说认为,岩浆遇到阻挡层时停止向上运动。由于岩浆的不断注入,岩浆房原地膨胀,将四周的岩石向外推开或压扁(图 1)。

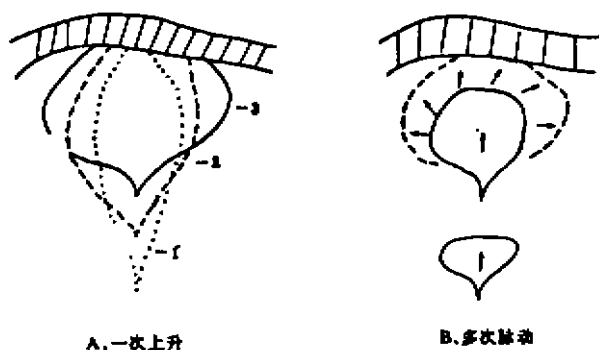


图 1 气球膨胀模型

Fig.1 The "ballooning" model

按照气球膨胀模式,岩体与其围岩应有如下关系(图 2):

- (1) 岩体顶部的地层应近于水平或向上拱曲并与岩体呈整合接触;
- (2) 岩体四周的围岩强烈压缩,岩体越大、挤压越强,而且围岩中的压性构造在平面上应环

绕岩体分布或与岩体的长轴平行;

(3)岩体顶部的地层与岩体四周的地层之间应存在滑脱面。

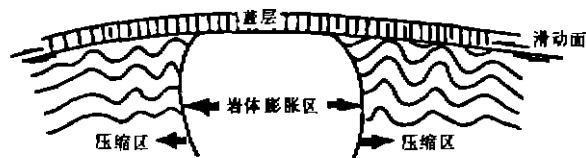


图2 气球膨胀作用可能造成的围岩变形

Fig.2 Possible deformation of country rock-strata resulted from ballooning

事实上,气球膨胀模式所预示的种种围岩变形特征,对绝大部分岩体而言是不存在的,以华南的大东山岩基为例,该岩基出露面积约 2200km²,侵入到晚古生代—早中生代地层中。岩基周围的地层及其内的褶皱和冲断层,并没有像气球膨胀模式所预示的那样平行于岩基走向,而是几乎与岩基的长轴垂直(图 3)。

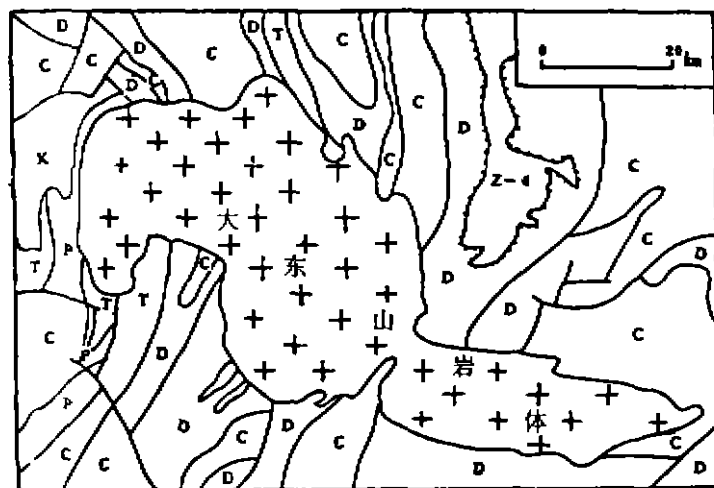


图3 华南大东山岩基地质简图

Fig.3 Simplified geologic map of Dadongshan batholith, south China

1980 年,美国学者 H.Show 把有效应力与 Griffith 的破裂理论结合起来,提出了岩墙扩张说。他认为夏威夷冒纳罗亚火山之下的许多小地震是由于岩浆的注入而导致裂隙的不断生长所致,这一模式被认为适用于花岗岩浆^[9]。

岩墙扩张说强调的只是前述花岗岩形成过程三个阶段中的第二阶段,这与过去的岩浆沿断裂入侵的说法并无本质上的区别,如果将其作为岩基定位的全称命题,则就无法解释为什么许多规模巨大的断裂,如中国东部的郯庐断裂,没有相应规模的岩体产出;而许多规模巨大的岩基,如前述的大东山岩基,又不见相应规模断裂的事实。

从上可见,岩浆侵入说的提出虽然已经有两个多世纪,科学界也进行了不懈的努力,但是,至今仍然无法解释该假说必须解释的两个基本观察事实之一所包含的花岗岩空间问题。是观察资料不正确吗?显然不是,因为现有的地质填图技术和遥感技术,足以保证对岩体范围和形

态的观察精度;是现代科技不具备解决这一问题的能力吗?应该也不是,因为这一问题纯属逻辑思维的范畴而不是观察的范畴;是资料的积累还不足以解释这一问题吗?应该更不是,因为假说的建立首先就要对原有资料进行合理解释。

似乎只有一种可能:有关岩浆花岗岩成因的侵入说不真!

3 关于将今论古方法应用问题的思考

如果侵入说属假,不妨换个角度考虑问题:若岩基的物质来自原地,就如花岗岩化论者主张的那样,而岩基的形成又经过岩浆阶段,那么是否可以解释与岩基有关的各种地质、地球化学资料呢?这就是笔者所提出的“原地重熔说”研究纲领的起点^[10]。

原地重熔的思想萌芽在上一世纪末已经出现,但未能得到科学界认同。主要原因之一是:现代地温增温率(平均 $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$)表明,陆壳上层不具备岩石大规模熔融的温度条件。然而,这种在地温状态上“将今论古”,即把现代地温状态作为整个地史时期地壳温度场标准的认识,似乎难以找到地质上的证据,而且亦无任何科学逻辑可言。

“将今论古”的英文表述是: The present is the key to the past. 从方法学看,“将今论古”并不是一种独特的研究方法,而仅仅是比较-推理法在特定场合下的运用,即以现在可以观察到的地质过程为基准进行纵向比较和推理。既然是比较,就必须确定比较的前提,这些前提应该是古今不变的物理、化学规律,以河流作用为例,在大陆表面,只要存在水体和允许水体流动的地形条件,就必会出现河流作用。过去如此,现在也如此。这是古今不变的万有引力定律在起作用,这就是河流作用能够将今论古的前提。现代的河流过程是知道的,现代的河流沉积也是知道的;过去的河流沉积是知道的,但过去的河流过程却是不知道的。这样,我们就可以通过对现代和过去的河流沉积的比较,以现代沉积所对应的水动力环境来确定过去的水动力环境,从而恢复已经消失的古河流过程。

地表以下的地质过程,不论是现在的还是已经过去的,我们都无法直接观察,比较的前提也难以确定。因此,将今论古方法应用于内动力过程时要特别慎重。

在地温梯度上将今论古是将今论古方法的滥用,是花岗岩成因研究中的思维误区。现代地温梯度只是代表地壳温度场变化的历史过程中某一点上的状态,而状态是可变的。假设地温梯度古今不变就如假设地壳某点上的重力值古今不变、地貌形态古今不变一样,没有任何的科学依据,而且也与地质资料不相容。从花岗岩的时间分布看,区域岩浆活动并非贯穿整个地质历史而仅发生在一个或几个时间段。以华南为例,该区绝大部分岩体均形成于中生代,而晚古生代和新生代没有或只有很弱的花岗岩浆活动。该区中生代花岗岩活动的高峰期在晚侏罗世至早白垩世之间,形成了众多规模巨大的岩体。根据现有资料,花岗岩的“定位”深度多在 5km 左右,许多含矿岩体的形成深度甚至更浅。另一方面,岩体的同位素测年资料表明,岩基从边缘到中心的固结通常需要数百万年。如果这些数据确实反映了客观事实,那么中生代在华南地区地表以下数公里处,应该长期存在着众多规模巨大的岩浆体。且不论这些岩浆体的形成是地温场变化的原因还是结果,在它们存在的时间内,壳内的地温梯度必然比现在高得多。这就是说,地壳温度场状态应该是时间的函数,而且其变化是非线性的。

从上可见,用现代地壳平均地温梯度推断过去花岗岩浆的形成深度,在方法学上是错误的,在地质事实面前也是站不住脚的。在地温场的诸种要素中,应该只有地温“向心增温律”可以“将今论古”—如果地球初期是炽热球体的认识是正确的话。

正如 Popper(1970)所说,科学家是理论的囚徒,打破一个框架又进入另一个框架^[11]。最近提出的“原地重熔说”与“元素地球化学场”^[10],就是在突破传统岩浆侵入说和将今论古的思维框架之后,建立起来的有关花岗岩成因和成矿及大陆内生过程物质演化的新框架。

前已述及,要阐明大陆的演化,首先要阐明大陆内部的物质过程。原地重熔说和元素地球化学场的理论框架虽尚嫌粗糙,但它已清楚地显示出:大陆内部的物质过程是一个有序过程。这对于大陆动力学的研究,以及最终建立大陆演化的系统理论,应该是一个好的开端。

参 考 文 献

- 1 肖庆解等. 中国地质科学近期发展战略的思考. 武汉:中国地质大学出版社,1991:40—57.
- 2 Phinney R A et al. A national program for research in continental dynamics, CD/2020, from the workshop on feature research directions in continental dynamics, The IRIS consortium. 1993.
- 3 李德威. 大陆构造与动力学研究的若干重要方向. 地学前沿, 1995(2):141—147.
- 4 任纪舜. 关于中国大地构造研究的思考. 地质论评, 1996, 42(2):290—293.
- 5 Lake B E, Brown G C & Hallyday A N. The origin of granite magmas. J. Geol. Soc., 1980, 137:93—96.
- 6 马莫 V. 花岗岩岩石学与花岗岩问题. 袁廷佐等译, 地质出版社, 1979.
- 7 张志强. 花岗岩定位机制研究进展综述. 地球科学进展, 1993, 8(2):19—28.
- 8 Petford N. Granite on the move. New Scientist 1991, 129(1773):44—48.
- 9 Ramssay J K. Emplacement mechanics of the Chidamora batholith, Zimbabwe, J. Struct. Geol., 1981, 3(1).
- 10 陈国能等. 原地重熔与元素地球化学场—论花岗岩的成因与成矿及大陆内部的物质旋回. 北京:地质出版社, 1996, 1—98.
- 11 Popper K. 常规科学及其危险. 原载《批判与知识增长》, I. 拉卡托斯等编, 剑桥, 1970, 纪立树译.

PONDERING OVER SOME PROBLEMS IN THE STUDY OF CONTINENTAL GEOLOGY

Chen Guoneng

(Department of Geology, Zhongshan University, Guangzhou 510275)

Abstract: Plate Tectonics has expounded the material cycle of oceanic crust, and Geosyncline Theory has done that of earth's surface. Thus a model about the material evolution in continental interior is the necessity for establishing systematic theory of continental geology, and the key to the model is to clarify the genesis of granite which constitutes an important part of the continental crust. The traditional magmatic intrusion hypothesis is not able to hold various data concerning granite. It is a thinking fallacy for the research of granite genesis to use the method of "taking the present as the key to the past" in status of geothermal field.

Key words: continental dynamics, material cycle, granite genesis, thinking fallacy.