

大地构造火成岩岩石学研究

王方正 肖 龙

(中国地质大学, 武汉, 430074)

摘 要 大地构造火成岩岩石学是岩石学和大地构造学研究相结合的学科, 与传统的研究思路和方法相比, 它重视深部地质过程的研究, 尤其是大陆动力学的成就。通过深部物质信息(火成岩及包体、中高级变质岩)的研究, 反演深部物质组成, 为大地构造单元的划分对比提供深部证据; 基性-超基性构造岩浆带的研究是揭示古构造块体边界、超壳深大断裂的窗口; 岩石圈组成的岩石学模型和垂向岩石圈分层界面的研究对于重新认识 Moho 面、低速层和大陆岩石圈结构意义重大。岩石学探针、同位素地球化学示踪和科学深钻、超深钻是现代大地构造火成岩岩石学研究的主要方法和手段。

关键词 大地构造火成岩岩石学 大陆动力学 岩石学探针 岩石圈根

CLC P54, P58

1 现代大地构造学与大地构造岩石学

传统的大地构造学 (geotectonics) 主要的研究内容是岩石圈的物质组成、结构构造以及岩石圈内部的运动学和动力学, 而研究的重点是地壳。根据研究的范围进一步划分为全球大地构造和区域大地构造, 二者既有区别又有联系。全球大地构造的研究依赖区域大地构造资料的积累, 而全球大地构造形成的理论和模型又对区域大地构造的研究提供指导。

岩石学作为研究岩石圈物质组成的一门学科, 与地层及古生物学、构造地质学一起被称为大地构造学的三大重要支柱学科。大地构造学家们把岩石学的研究成果自然地吸收到大地构造研究中来, 在大地构造单元的划分、大地构造单元的构造历史演化中岩石学的成果都是非常重要和不可缺少的。

现代大地构造学的前沿研究领域是大陆动力学, 现代地球科学已经达成共识, 大陆是由诸多大陆块体与造山带拼贴在一起的一个复杂的大拼盘, 它记录了自 40 亿年前直到现在的地质历史。这对以相对年轻的大洋岩石圈 (≤ 200 Ma) 的研究成果为根据提出的板块构造学说中一些全球构造运动的理论提出了挑战, 使得大地构造学家们在研究大陆地质时特别注意探索岩石圈深部的物质组成(下地壳和上地幔), 探索下地幔和地核的组成和结构以及

收稿日期: 1998-04-20 修改稿收到日期: 1998-07-27

作者简介: 王方正, 男, 1942 年生, 教授, 博士生导师, 岩石学专业, 长期从事变质岩、火成岩岩石学的教学与科研工作。

本研究得到中国教育部博士点基金(编号: 98014003)资助。

其运动学特点。人们现在还认识到,地幔深部过程与其对应的表壳运动有着密切的相关性,岩石圈浅层的组成、构造及运动特点是深部过程的重要表述。沉积岩、火山岩及低级变质岩作为岩石圈浅层的主要物质存在形式,中级变质岩作为中浅层次岩石圈作用的产物,麻粒相变质岩和高压超高压变质岩作为地壳中下层次物质的存在形式,各种镁铁质和超镁铁质结晶岩作为岩石圈地幔和下地壳的重要成分。岩浆的喷发和侵入可以比喻为一群深达下地壳(花岗质岩浆侵入和喷发)和地幔(基性岩浆的侵入和喷发)的超深钻,这一切使得近代岩石学与地球物理学相结合成为认识大陆地质深部物质组成结构构造和运动学、动力学特征的桥梁和纽带^[1]。人们不会忘记,火山岩石学家对太平洋中火山岛链的火山岩年代学成果为洋底扩张和地幔热点迁移所作出的贡献。还有岩石的组合和其稀土微量元素地球化学特征及同位素特点可以有效地鉴别一些大地构造单元的古大地构造背景。从这之后岩石学专门研究与地球物理学、地球化学相互渗透与交叉的领域,对大地构造学说的贡献越来越大,到目前已经形成了岩石学与大地构造学相结合的一个既有悠久历史又具有崭新面貌且极富生命力的新的研究领域——大地构造岩石学(*geotectonics petrology*),也有人称之为岩石大地构造学^[2]。

为了专门介绍火成岩研究在大地构造学领域的一些进展,笔者采用大地构造火成岩岩石学这一术语。此研究领域实际上从大地构造研究一开始就给予了相当的重视,特别是近10年来随着深部地质作用和深部大地构造研究成为地球科学的前沿研究命题,以及岩石学探针与地球物理成为认识深部大地构造的2个主要手段,大地构造火成岩岩石学作为一个专门的研究方向,其科学意义就更加引人注目。

2 岩区(省)和大地构造单元

80年代以来,地球科学家认识到,火成岩的研究与深部地球物理特征相结合是认识大陆岩石圈深部组成与结构的有效途径,而火成岩区(带)的划分是火成岩区域性差异的一种表达方式,也是进行古大陆岩石圈构造单元划分与构造环境再造的最重要的标志。这是因为构造运动-沉积作用-变质作用-岩浆活动是岩石圈物质演化循环的统一动力学体系。而火成岩源区岩浆发生的原因是由于岩石圈底部软流圈或上地幔和下地壳中的构造-热事件,这些热事件正是岩石圈物理和化学差异性最主要的表现形式,也是造成不同大地构造单元地幔与地壳物质交换的一种最重要的过程。现在的火山活动观测研究表明,深部基性岩浆喷发到达地表速度非常之快,可以数小时、数天计,而酸性岩浆侵入冷凝的时间则较长,要以数万、数十万年计。因为从岩石圈深部喷发到地表的火山岩和侵入到浅部的火成岩可以以亚稳定状态很好地保留深部物质组成与结构状态的信息,因此火山岩和侵入岩物理与化学差异性不仅仅在于火成岩本身,而且还在于反映了这些地区从浅部到深部物质的物理与化学差异性。因此岩浆岩区的划分往往是与大地构造单元划分相对应的^[1,3-8],新疆地区火山区的划分恰恰如此,火山岩区的界限正是不同等级大地构造单元的界限。华北地台与扬子地台新生代基性火山岩地球化学及同位素组成的差别,也正是两个古大陆地块地幔差异的反映;三江火山岩区的划分为确定三江古构造单元的划分及古特提斯构造演变发挥了极其重要的作用。正是利用这一思路笔者在研究准噶尔盆地基性火山岩时发现准噶尔盆地基底可能不是一个统一的微陆块,而是由三个分属于西伯利亚板块、塔里木板块和哈萨克斯

坦的岛弧拼接而成的^①。因此, 系统进行火成岩、变质岩、沉积岩的构造岩石组合、地球化学及同位素的研究, 正确找出不同区域与区带之间的本质差别, 是进行大地构造单元划分和大地构造环境再造的一条重要思路。

3 基性、超基性构造岩浆带与超壳深大断裂

现代大陆动力学中的一个重要进展是揭示大陆岩石圈尺度的构造几何学和运动学。其中对深及地幔的大断裂的研究除了应用地球物理方法外, 基性、超基性构造岩浆带的空间分布也是研究的重要方面, 特别在古超壳深大断裂的研究更是如此。人们认识到现代岩石圈的地球物理特征所反映的岩石圈的构造特征是新生代以来的古大地构造中的具体构造(包括超壳断裂), 应用地球物理方法的局限性就是显而易见的问题了。现代岩石学的研究已证明超基性岩来源于地幔, 而原生的基性岩浆是地幔岩部分熔融的产物。因此现在在地表分布的基性、超基性火成岩多是由深及地幔的通道经地壳而达到地表的, 如果有一带状的基性-超基性岩分布, 就意味着有一带状的深达上地幔的断裂带的存在。这些深达地幔的超壳断裂可能会由于后期构造运动的变形改造而面目全非, 应用地球物理方法已无法察觉。作为超基性和基性岩浆带这一实体尽管形态、产状均可以发生巨大的变化, 但宏观上线状分布特征却可以很好地保存下来, 这给岩石学家和大地构造学家留下了追索古超壳大断裂的实物证据。这种状况在大陆岩石圈是如此, 在大洋岩石圈也是如此。大洋岩石圈中洋中脊有扩张的地方正是洋壳裂开增生的位置, 也是洋壳中现代大断裂存在之处。近代大陆岩石圈中可能会发现残留的古洋壳, 也分布有一些基性、超基性岩, 但以此来确定古的深大断裂则需谨慎处置, 因为古洋壳存在的位置并非意味在此也存在古超壳断裂。只有那些古洋壳俯冲到陆壳之下、或古洋壳中洋中脊存在之处才会有超壳大断裂, 其具体的标志要进行系统的岩石学空间分布及地球化学示踪的详细研究才能定论。详细情况可参阅板块大地构造学说。

笔者(1997)^[9~10]对福建泉州—四川黑水地学断面上7个基性-超基性构造岩浆带研究表明, 基性、超基性构造岩浆带是研究古超壳深大断裂和上地幔物质组成与演化的重要手段。

4 岩石圈组成的岩石学模型和垂向岩石圈分层界面

随着地球物理探测技术、岩石学探针技术和同位素示踪技术应用的进展, 大地构造学家已从传统的地表观测研究岩石圈表层的构造及构造分区, 转向对岩石圈深层次组成和深部过程的研究。构造学家们首先遇到的一个问题就是岩石圈垂向的分层和物质组成结构模型的研究。近年来研究的主要进展是:

(1) Moho 面 地球物理学上的 Moho 面是在岩石圈中 v_p 的一个间断面, 指 v_p 由 6.7 ~ 7.0 km/s 突跃为 8.0 \pm km/s 的一个物理界面。传统的地质解释是由地壳的硅铝质成分突变为地幔超镁铁质岩石的结果。而现代岩石学采用 Moho 面则是地幔和地壳之间的界线, 应用岩石学探针的技术确定的 Moho 面又称岩石学 Moho 面。二者在一些情况下是一

① 王方正, 等. 准噶尔盆地火山岩研究(科研报告), 1997

致的,但在不少情况下有一定差别。由于用岩石探针技术确定的岩石学 Moho 面的位置具有一定的时间意义,如果用同位素测年技术能确定这一 Moho 面的年代,那么用不同地质时代的岩石样品就可以确定出 Moho 面随时间的变化,从而了解岩石圈中大陆地壳厚度的变化。这对于定量研究壳-幔物质交换是一个重大进展。

现代地球物理研究已证明 Moho 面在不少情况下并不是一个面,即在二维深度剖面上壳-幔之间的界线不是一条线,而是一个过渡带^[11],即一个 v_p 由 6.0~7.0 km/s 逐渐变化到 8.0±km/s 的一个过渡带。近年来基性-超基性岩石学的地球物理参数研究也证明,由基性麻粒岩或基性火山岩逐渐过渡到辉石岩-橄榄辉石岩-辉石橄榄岩,其 v_p 变化与地球物理学上的 Moho 过渡带相当;由基性岩石高压、超高压变质作用逐渐形成石榴子石辉岩到榴辉岩也可以出现 v_p 由 7.0~8.0 km/s 的变化,同时橄榄岩的蛇纹石化也可以使岩石的 v_p 由 8.0 km/s 反向过渡到 7.0 km/s。研究表明大陆 Moho 面并不是原先认为的那样全球固定不变,也并非板块构造学说认为的仅仅是一种地震波速分界面。它在时间和空间上都具有动态性质,大陆 Moho 面是上地幔和下地壳的重要属性,是造成大陆板块变形和运动的原因,也是地下岩浆作用、构造作用、成矿作用等各种深部地质作用的重要场所^[12]。开展这样一些地区壳-幔之间精细地球物理结构和岩石学的深入研究,正是当前地球科学前沿之一。

(2) 软流圈 软流圈是岩石圈下面的上地幔,其上部是厚约 100 km 的上地幔低速层,是具有较高塑性、易于蠕变变形且能缓慢移动的软弱层。板块构造学说认为,它的存在是岩石圈板块能够运动的基础,软流圈顶部低速层的顶界就是岩石圈的下界面。因此软流圈顶部的这一低速层就成为地球物理学家、岩石学家和大地构造学家十分关注的研究领域。大地构造岩石学的一个重要研究方向就是研究岩石圈下部界面在历史上的变化,换言之,这一变化就是岩石圈厚度的变化。研究的重要思路是岩石圈下部的这一低速层是地幔中重要原生岩浆的源区。现代岩石学家认为,原生玄武岩浆和金伯利岩岩浆都起源于这一软流圈顶部的低速层。用这些岩浆在地幔岩中固-液相转变界面的 p - T 条件定量计算,则可确定这一低速层的深度及其热状态。邓晋福等(1996)^[1]对中国东部新生代基性岩浆起源和古生代基性、金伯利岩岩浆起源物理化学条件的研究得出,自古生代到新生代以来中国东部大陆岩石圈减薄了约 120 km 以上。这一成果对解决板块构造学说对大陆动力学中的一些难题有着十分重要的科学意义。如果能够确定青藏高原隆升前大陆岩石圈的厚度,从而认识青藏高原大陆岩石圈至今增厚的程度,这对整个大陆岩石圈动力学必将是一个巨大贡献。

(3) 大陆岩石圈根 近年来的地球物理研究,特别是欧亚大陆深部地球物理探测结果表明岩石圈底部界面的低速层在很多地方都是不连续的^[13~15]换言之,在有些地方,例如老的克拉通岩石圈底部在 1 000 km 之内尚未发现有低速层存在,即岩石圈和软流圈之间并没有低速层作为二者的界限,也即所谓的大陆岩石圈根的现象存在^[1]。另外在有些地区岩石圈的厚度明显增厚,形成岩石圈底部下凹,有些地球科学家也将其称为大陆岩石圈根。这一重要的事实是大陆岩石圈与大洋岩石圈重要的区别之一,也是板块构造学说在解释大陆岩石圈不能像大洋岩石圈那样“漂移”运动遇到的困难之一。

岩石圈根并非是一成不变^[16],随着地质历史的进展,大陆岩石圈根可以发生去根作用,这是大陆岩石圈内厚度变薄的主要机制之一。同样,大陆岩石圈也有从正常厚度增厚的作用,可将这种岩石圈增厚的现象称为岩石圈“生根”。大陆岩石圈的增厚(生根)与减薄(去根)是大陆岩石圈与大洋岩石圈演化明显不同的地方,也是传统的古大陆陆核-大陆增生的

理论不能解释的一种现象。它是上地幔中物质运动、交换循环的一种重要形式。

大陆岩石圈根的研究涉及到大陆的生长机制、大陆地壳的构造和动力学机制。大陆岩石圈的“板底垫托”垂向生长机制已得到广泛的共识;以地球物理方法为主的地学大剖面研究和科学深钻、超深钻的实施是解决大陆地壳结构构造的两个重要途径^[12];其动力学研究除考虑空间上的差异外,还强调时间维的变化。

5 主要研究方法和手段

对大地构造岩石学的研究,除了重视传统的构造地质学(以运动学和动力学为主)、岩石学、地层及古生物学之外,更要重视地球化学,尤其是同位素地球化学的研究,而直接采用的则是岩石学探针方法。

岩石学探针和同位素地球化学的结合为大地构造区划提供地壳深部的物质证据。例如,用深部岩石样品(各种侵入岩、火山岩及中高级变质岩)的同位素组成进行填图研究,可以圈定基底岩石省^[6~8,17]。结合地表地质研究则能更好地进行大地构造划分和研究其演化历史。

在研究大陆地壳增长历史方面,其基本方法是岩石定年,并结合高分辨率层序地层学、磁性地层学和生物地层学方法进行综合研究。其中用放射性同位素测定岩石的年龄及用地球化学示踪剂对陆壳岩石圈进行填图,对岩石中的同位素系统及主要痕量元素在地壳、地幔中的分配进行地球化学研究,认识陆壳物质从地幔源区分离出的比例和方式进而探索陆壳生长过程是主要的方法和手段。对上地幔和下地幔的填图则主要采用地球物理方法^[14,18]进行。

总之,当今的大地构造岩石学研究已从简单的不同大地构造单元间地表岩石组合的对比发展到在空间上重视深部地质对比和演化历史上的精确定年。岩石学探针、同位素地球化学示踪、科学深钻、超深钻是大地构造岩石学研究的主要手段。研究思路的创新和现代测试技术的有力保证将使大地构造岩石学进入一个全新的历史阶段。

参 考 文 献

- 1 邓晋福,赵海玲,莫宣学,等. 中国大陆根-柱构造——大陆动力学的钥匙. 北京:地质出版社,1996. 1~5
- 2 倪志耀. 一门新兴边缘学科——岩石大地构造学. 地学进展,1990(1~2): 54~61
- 3 邓晋福. 岩浆-成矿作用-一板块构造: 80年代火成岩研究新进展. 地质科技情报,1990,9(2): 39~44
- 4 邓晋福,赵海玲. 中国东部新生代上地幔软流圈性质及变迁历史: 中国上地幔特征与动力学论文集. 北京:地震出版社,1990. 8~13
- 5 邓晋福,赵海玲,叶德隆,等. 中国东部新生代火山的迁移与大陆裂谷的扩张和大陆漂移. 石油实验地质,1993,15(1): 1~10
- 6 朱炳泉. 从壳-幔同位素体系看不同地体的化学不均一性. 科学通报,1990,35(21): 1653~1655
- 7 张理刚,王可法. 中国东部(新) 生代构造同位素地质学研究. 桂林冶金地质学院学报,1991,11(1): 35~48
- 8 张理刚,王可法,陈振胜,等. 中国东部中生代花岗岩长石铅同位素组成与铅同位素省划分. 科学通报,1993,38(3): 254~257
- 9 王方正. 湘南火山岩深源包体组合及岩石圈岩石学模型. 地质科技情报,1997,16: 1~16
- 10 王方正,路凤香,朱中一,等. 福建泉州—四川黑水地学断面上地幔不均一性讨论. 见: 袁学诚,主编. 阿尔泰

—台湾地质断面论文集. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997. 118~ 136

- 11 Colombo D, Cimini G B, de Franco R. Three-dimensional velocity structure of the upper mantle beneath Costa Rica from a teleseismic tomography study. *Geophysical J I.* 1997, 131: 189~ 208
- 12 肖庆辉. 大陆岩石圈的结构与动力学. 见肖庆辉主编. 当代地质科学前沿——我国今后值得重视的前沿研究领域. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992. 7~ 16
- 13 Thoraval C, Richards M A. The geoid constraint in global geodynamics: viscosity structure, mantle heterogeneity models and boundary conditions. *Geophysical J I.* 1997, 131: 1~ 8
- 14 Dziewonski A M. Mapping the lower mantle, determination of lateral heterogeneity in P-velocity up to degree and order 6. *J Geophys Res.* 1984, 89: 5 929~ 6 052
- 15 Frote A M, Peltier W R. Viscous flow models of global geophysical observables. I. Forward problems. *J Geophys Res.* 1991, 96: 20 131~ 20 159
- 16 Bernard Colletta. Tectonic inheritance, crustal architecture, and contrasting structure styles in the Venezuela Andes. *Tectonics*, 1997, 16: 777~ 794
- 17 张理刚, 王可法, 陈振胜, 等. 论“华夏大陆”一铅同位素证据. 地质论评, 1994, 40(3): 200~ 208
- 18 Woodhouse J H. Mapping the upper mantle: three dimensional modeling of the earth structure by inversion of seismic wave forms. *J Geophys Res.* 1984, 89: 5 953~ 5 986

A PROGRESS REVIEW ON IGNEOUS TECTONIC PETROLOGY STUDY

Wang Fangzheng Xiao Long

(China University of Geosciences, Wuhan, 430074)

Abstract Tectonic petrology is a science which combines together the studies of tectonics and petrology. Today it puts emphasis on the deep process of the earth, especially on the study of continent dynamics. The composition of the deep seated substances including those of igneous rock and it's inclusions, and the intermediate-high grade metamorphic rocks can be inferred from the inversion of material information obtained from those deep seated substances. Then the composition can be used as an evidence to divide and to compare with the tectonic units. Basic-ultrabasic tectonic magmatic rocks belts are the windows through which we can reveal the boundary of blocks and that of the deep and large paleo-crustal faults. The study of petrological model and that of the boundary interface of the lithosphere composition may play an important role for understanding the Moho low-velocity layer and the structure of the continent lithosphere. Lithoprobe(petrological probe), isotopic geochemistry tracing and scientific deep-superdeep drilling, are the main methods used for the study of igneous tectonic petrology nowadays.

Key words tectonic igneous petrology, continent dynamics, lithoprobe, lithosphere root