

中国变质作用研究的发展趋势及现状

董申保

(北京 100871 北京大学地质学系)

摘 要 从动力学出发,变质作用的研究可分为:(1)以静态状态研究为主的深度带的阶段;(2)以变质相系为标志的过渡阶段;(3)以 P - T - t 途径为主的动态状态研究阶段。静态状态研究阶段本质上立足于地热处于稳定状态(steady state),属于固定论的范畴;变质相系研究阶段初步引入了热流传递的概念,但变质作用途径的追索仍然是遵循了稳定态地热状态的思维方法, P - T - t 途径的研究初步揭示了造山带中地壳加厚的热传导模式,但仍处于发展阶段,关键问题仍有待于进一步研究。

关键词 稳定态 非稳定态 地热 深度带 变质相系 P - T - t 轨迹

近代的地质作用研究的一个重要方向是动力学研究(geodynamic perspective),有异于过去一般地质演化过程的纯叙述性的所谓动力地质学(dynamic geology)或物理地质学(physical geology),它以量化的各种动力学理论为基础——包括机械作用、物理和化学动力学——来解释地质作用演化过程——包括地幔以上各圈、层的动力作用。其发展方向是:量化和各种随时间而变化着的动力学的综合。

变质作用是研究地壳深部在壳、幔相互作用影响下的重新调整的一种基本属于固态的重结晶作用,它是各种动力作用随时间而变化的综合产物。因此可以说,这一方面应是地壳动力学(crustal geodynamics)在大自然界的一个重要见证者。它的深入研究以及它在地壳演化过程中,与其他地质作用,特别是岩浆作用、构造作用和构造环境的变迁(geological content)的组合无疑将为岩石圈动力学格局提供更本质上的认识,改变目前的大地构造学说的某些不足,包括板块构造学说的某些基本观点。本文就变质作用研究历史以及我国研究现状提出一些看法。

自 Lyell 定义变质作用以来,变质作用的研究经历了一个半世纪的风风雨雨,从它的科学思维发展来看,大体上经过了三个阶段,即以深度带为代表的静态状态的研究阶段;以变质相系的研究为主的过渡阶段和以 P - T - t 途径为特征的动力学方向(dynamic perspective)的研究阶段。

1 以深度带为代表的静态状态研究阶段

该研究阶段代表着变质作用研究的奠基和资料累积阶段,时间大致为 1850~1960 年。这一发展主要是以叙述性的野外观察为主,以少量的变质反应实验为辅。开始时注重变质作用的分类和解剖,这是自然科学中的分支科学形成的必不可少的途径。从野外的表象观察入手,直观地把变质作用的成因引伸为受温度和应力作用的控制,并长期争论二者以孰为主。如构造地质学家主张用变形作用和某些构造型式来说明区域变质作用的成因,把所有变质作用都归为

以应力作用为主导因素,岩石学者如 Harker(1930)亦属此类;而另一方面,一些前苏联岩石学家则倾向于把与花岗岩重熔直接有关的广大的变质地区都看成是区域接触变质作用(regional contact metamorphism),把花岗岩浆的热影响看成是区域变质的基本原因。这一争论的实质都立足于直观的认识,把温度和应力对于变质作用的影响孤立地分隔开来,很少考虑到它们之中的内在联系中的本质问题。这种极端的分类代表一个阶段的思维,当时不可避免,但时至今日仍有所反映。在涉及具体的变质作用领域时,他们往往把变质作用的温度-压力体制(P - T regime)与应力作用(stress action)统一到 Grubenmann 和 Niggli(1928)提出的深度带(depth zone)的概念上来。这一假说的进一步发展指出了 Barrow 的变质带是世界上各个变质地区的唯一的深度带,可以用相当于蓝晶石-硅线石带的地热梯度来代表。一时,这一学说成为本世纪 60 年代以前的一个统治学说(ruling theory)。

深度带假说的实质认为影响变质作用的热流传递是不随时间而变化,或者说它的地热(geotherm)的梯度处于稳定状态(steady state)。严格来说,这一论据在热传递理论中是被否定的。假说本身处于固定论(fixism),属于自然界不变论(immutability of nature)的流派,不能真正反映出变质作用成因的内在联系。在科学研究的初始阶段是很难避免的,但时至今日,应认真从自然科学思维方法上加以澄清和辨别。

2 以研究变质相系为主的过渡阶段

变质相系概念的建立首先是立足于各个变质地区所呈现的不同的变质矿物共生组合的发现。过去对其虽有报道,但是往往被认为是反常的和个别的,未加以深入研究。其次是这些标志矿物组合的变质反应的热力学实验在当时大部分未建立,缺少可靠数据来说明温度和压力之间的变化。本世纪 60 年代初,都城秋穗(Miyashiro, 1961)根据日本本岛的材料提出变质相系的概念。这一假说认为每一变质地区都有着唯一的地热梯度(unique geothermal gradient),被称为变质野外梯度(metamorphic field gradient)。借助于某些典型的变质矿物共生组合的变质反应曲线,每个变质地区所组成的变质相系可分出从高压—低压的一系列的变质相系,并能反映出其与大地构造环境的联系。

变质相系的提出冲破了经典深度带假说的禁区。建立了以每个变质相系都有着各自的 dT/dP 为特征的观点,初步引入了有关热流传导(conduction)的基本理论方程,把热流传导的变化开始应用于变质作用领域,并认为它与大地构造环境有着本质上的联系,这是它的主要成就。但另一方面,学说本身仍停滞在静态研究的范围内,把每一个变质野外梯度看成是变质地区的变质相系所描述的温度—压力的途径(轨迹),实质上还是认为在一个变质地区内,地热温度梯度的变化仍服从于地热的稳定状态。众所周知,变质相系中,变质野外梯度一般仅是变质矿物共生组合的单变量变质反应曲线,而非变质岩石在变质岩石中所经历的温度—压力的途径。因此,它的缺陷也是显而易见的,只能看成是从静态转为动态研究的过渡阶段。但是,它的贡献是很重要的,由于热流传递的概念的初步引入,相当一部分低压相系,特别是前寒武纪早期的变质地区形成时的坳陷深度并不如想象的那样深。世界变质地质图第一代的编纂的指导原则即是以变质相系的概念为主导(Zwart et al., 1978),经过 20 多年来的工作,变质作用类型的演化及其在一个大区域中与大地构造的联系在欧洲、非洲和亚洲编图上都有着明确的反映,据此开创了一个更广泛的、大陆间的、与变质作用有关热流研究在自然界中的观察、验证的领

域。变质作用类型与大地构造的联系在中生代后的太平洋区域得到了广泛的验证。虽然这一双变带有欠缺之处,能否用于古生代和前寒武纪有着不同的见解。但仍不失为一个良好的开端。总体上看,变质相系的出现标志着—个变质作用研究中以热流传递为基础的地壳动力学研究的开始。在变质作用研究中虽处于过渡阶段,但仍不失为一个重要的里程碑。

3 变质作用的近代动力学阶段

变质作用的动力学方向(dynamic perspective)研究始于本世纪80年代,目前仍处于初始阶段,可用变质作用中 P - T - t 途径(P - T - t paths)的研究为代表。这一动力学方向的研究与变质地区的普遍开展和深入研究有关,热力学实验在变质作用 P - T 体制中广泛应用,热力学计算,特别是与固体溶液计算有重要联系的Gibbs方法(Spear, 1981),地质温压计的深入展开,显微结构用于区别变质反应动力学在反映变质岩石演化时的各种轨迹以及热流传导理论模式的介入等都与 P - T - t 的研究有着直接的联系。这一学说以深部热流传递学说特别是传导机制(conductive mechanism)为依据,通过地壳演化过程中变质岩石因热流扰动(thermal perturbation)转向热流松弛(thermal relaxation)的平衡转化而产生的地热(geotherm)的变化,追踪其形成的 P - T - t 途径,并从它们的理论和实际观察模式的反馈来判断这一热流传递过程与其大地构造环境的联系。

众所周知,板块运动所产生的大地构造表象与板块构造深部的热流形式有着密不可分的联系。Oxburgh (1980)曾提到过“*As we know that plate motions are the surface manifestations of a terrestrial heat engine operating by the subtle interaction of physical and chemical processes and the transformation of thermal energy to mechanical energy*”(194页)。而 Verhoogen (1980)也认为:“*As deformation and orogeny are commonly associated with regional metamorphism, orogenesis should perhaps be described as a thermal disturbance, rather than a mechanical one*”(139页)。此外,变质作用—花岗岩重熔作用—构造作用的“三位一体”的组合,也往往得到同样看法。从近代地壳动力学的观点来看,变质作用的成因应该统一于壳—幔热流传递及其转化的动力学说,而不应单纯地从表面形象上归之为由温度或应力作用及其构造型式所决定。

P - T - t 的研究始于本世纪70年代。Richardson (1990)开始认识到变质作用形成时是由暂时的热扰动引起而非“正常的地热梯度”所致。此后 England 和 Richardson (1977)具体地提出 P - T - t 途径、变质地热(metamorphic geotherm),又称变质野外梯度和地壳地热(crustal geotherm)的关系。由此,England 和 Thompson (1984)发展了造山带中地壳加厚变质作用的 P - T - t 轨迹理论模式并讨论了它们的野外观察模式(反演模式)。嗣后, P - T - t 途径在短期内得到了广泛的应用和推广,除造山带的变质作用的研究外,还涉及到前寒武纪麻粒岩区(Harley, 1989)。目前它已成为变质作用研究迈向地壳动力学的重要方向之一,Haugerud 和 Zen (1991)称之为造山带残存废墟中的黑盒子,带动了一系列与之有关的其他变质作用的研究,诸如变质反应动力学、显微构造演化形迹及其局部平衡的矿物组合、Gibbs方法的介入(Spear et al., 1981),地质温压计的数据组(data set)的选择及计算的应用,同位素年代学在微区中的应用以及变形作用阶段的进一步区分等。

应该认识到这一研究仅为开始,目前理论解释只限于地壳加厚的造山带的变质作用的传导方面,体制尚不够完善,其中如变质作用中出现的重熔作用(anatexis)、对流作用的地位、碰

撞(collision)和延伸(extension)的进一步研究, P - T - t 途径中,绝热减压(adiabatic decompression),等压冷却(isobaric cooling)等的地质涵义,各种大地构造类型与 P - T - t 途径的进一步解释等重要问题都亟待在理论和实际模式中加以解决,而理论与地质实际模式的相互反馈也缺乏进一步的联系。因此,它正处于发展阶段,亟需补充和完善。

4 研究现状

我国变质作用研究起步较晚,解放前基本属于空白阶段。解放后至70年代末,通过区域地质测量的普遍开展以及某些变质地区的研究,工作有了大幅度的提高,但在基础研究上仍存在着较多空白,大致仍停滞在50年代末的静态研究的描述阶段。80年代以来,科研工作初步打破了闭关锁国的局面,接受了国际方面传播的“权威”学说,但是,由于种种原因,特别是缺乏理论分析和地质思维的思想准备,不善于从我国的实际地质出发对这些学说加以正确的验证和扬弃,以至从模仿发展成为盲目追随,用一些片面观察和数据形成某些臆断来附合某一学说,并以此推广成为结合中国实际的模式。这一学风已严重地成为我国地质研究的一种障碍。以变质作用研究而论,80年代初期曾出现过繁荣景象,曾希冀过在此基础上通过进一步结合中国实际对变质作用的本质问题作出应有贡献(Dong, 1990)。但时至今日,这一方面的研究仍陷于盲目追随的局面,有时甚至形成粗制滥造的风气,不从这一学说的严格控制因素和工作中应注意的问题出发,即贸然粗糙地通过它而进行某些论断。 P - T - t 途径的研究可称为其中的一个例子,目前其应用范围虽已普及到大部分工作成果中,但很多都没有严格的工作程序和认真的野外和理论上的反馈。相反,其中有关的关键问题,如Gibbs方法的应用、地质温压计在应用时出现的误区及其可能的校正(Powell, 1985),不同的 P - T - t 途径的理论和地质实际模式与大地构造的关系等却很少有人进行研究。避开这些基础性的研究, P - T - t 研究几乎成为一种虚设。

变质作用、岩浆作用与大地构造环境的联系属岩石构造历史(petrotectonic history)方面的研究。它是以动力学为前提,通过岩石、矿物、地球化学的研究,以热力学和热流理论为基础,在地质变迁(geological context)的背景下来解释其形成的大地构造环境,并从岩石侧面来深化和补足大地构造学说整体的不足。这一方面,国际方面已开始有较多的资料对板块构造学说加以修正和补充,诸如花岗岩的标志学(granite topology)研究,蛇绿岩的不同的大地构造环境,蓝闪石片岩形成时的A型和B型俯冲以及低压相系的裂谷成因等方面对于大地构造环境的联系。而目前我们仍多少处于停滞状态。不少论文仅用某些所谓“时行”的地球化学图解作为唯一概括大地构造的根据,而这些图解大部分仅是某些局部经验的积累,既缺乏实验说明,又缺少理论根据,不足代表近代动力学的方向,国际上已有所评论,而我们至今奉行不衰。从动力学的观点上看,一些重要岩石类型的成因判断须要更多的研究才能逐步加以确认,它们并非如想象中的某些唯一的大地构造环境的产物,用它们却足以证明某些大地构造学说。现在,国际上通过某些重要项目的研究,通过一些重要岩石类型的详细历史的研究来判断其可能的大地构造环境。而我们仍然把某些岩石类型看成是某一大地构造学说中某一环境的唯一产物,从而得出某些重要结论。而不是对这些岩石进行成因上的应有的实际和理论的基本探讨,来改正前人的错误观点,如只把蓝闪石片岩看成是B型俯冲带,蛇绿岩套是洋壳(MORB),安山岩是活动大陆边缘或岛弧的火山产物等。这种简单化的作法充其量只能看成是一种地质拼图游戏,是低水平的重复,与近代地壳动力学研究不能同日而语。我们甚至还把这些自诩为“国际先进”,盲目

自满,故步自封。

我们研究工作的隐忧还在于缺乏某些长远发展的战略布局的全盘措施上。从变质作用本身看,至今,仍然缺乏先进的变质作用的高温、高压实验室,更谈不上变质反应的近代研究,一切温度、压力的取舍,只能听命于他人,很少有发言权。更严重的是培养后备人才方面,缺乏足以与国际竞争的人才和素质。人才培养处于低谷。教学水平基本维持在50年代水平。素质上缺少近代所必需的基础理论知识。思维上没有培养出对自然科学研究中应有的自然观和方法论,学风中没有建立起严谨的求实和勇于探讨的精神。在此情形下,如何很好地与国际接轨是一个值得重视的问题。

未来的挑战是严峻的,只有正视现实,改革现实,才能立足于世界之林。

参 考 文 献

- 董中保、魏春景,变质地质学的某些进展,岩石学报,13,3,273~288,1997.
- Dong, S. B., The development of geological thought of metamorphism and its communication between the west and China, Proc. of the XVth International Symposium of INHIGEO, 197~212, 1990.
- England, P. and Richardson, S. W., The influence of erosion upon the mineral facies of rocks from different metamorphic environments, J. of Geological Society of London, 134, 201~213, 1977.
- England, P. C. and Thompson, A. B., Pressure-temperature-time paths of regional metamorphism, Part I and II. J. Petrol. 25, 894~955, 1984.
- Grubenmann, U. und Niggli, P., Die Gesteinsmetamorphose. Borntrager, Berlin. Harker, A., 1932. Metamorphism. Methuen, London. Mag. 126, 93, 215~247, 1924.
- Haugerud, R. A. and Zen, E. an., An essay on metamorphic path studies or Cassandra in P - T - t space, In: Progress in Metamorphic and Magmatic Petrology: A Memorial Volume in Honor of D. S. Korzhinsky, 12, 324~348, 1991.
- Miyashiro, A., Evolution of metamorphic belts, J. Petrol. 2, 277~311, 1961.
- Oxburgh, E. R., Heat flow and magma genesis, In: Physics of Magmatic Processes. Ed. B. Hargraves. Princeton University Press, New Jersey, 161~199, 1980.
- Peacock, S. M., Thermal Modelling of Pressure-Temperature-Time Paths: A Forward Approach. Short Course in Geology 7. American Geophysical Union, Washington D. C., 57~102, 1989.
- Powell, R., Geothermometry and geobarometry: a discussion. J. geol. Soc. London, 142, 29~38, 1985.
- Richardson, S. W., the relation between a petrogenetic grid, facies series, and the geothermal gradient in metamorphism, Fortschr. Miner., 47, 65~76, 1970.
- Spear, F. S., Petrological Determination of Metamorphic Pressure-Temperature-Time Paths. Short Course in Geology 7. American Geophysical union, Washington D. C., 1~55, 1989.
- Spear, F. S., Ferry, J. M. and Rumble III, D., Analytical Formulation of phase equilibria: the Gibbs method. In: Characterization of metamorphism through mineral equilibria, Ed. M. Ferry. Mineral Soc. Rev. Mineral., 10, 105~152, 1982.
- Verhoogen, J., Energetics of the Earth. National Academy of Sciences, Washington, D. C., 139, 1980.
- Zwart, H. J., Sobolev, V. C. and Niggli, E., Eds: Metamorphic Map of Europe (1:2500000) with Explanatory Text. Leiden, 1978.

Some Trends in the Studies of Metamorphism and Their Recent Situation in China

Dong Shenbao

(Department of Geology, Peking University, Beijing 100871)

Abstract

From the geodynamic perspective, the development of the studies of metamorphism can be divided into three stages *viz* : (1) the steady-state stage devoted to the hypothesis of depth zones; (2) the transition stage expressed as the metamorphic facies series; (3) the dynamic perspective stage the beginning of which can be marked by the study of P - T - t paths. The hypothesis of depth zones is based on the supposition that the geothermal gradient during the progressive metamorphism represents a kind of steady-state geotherm. However, in tectonically active zones, a steady state geotherm is theoretically never achieved. The metamorphic facies series introduces the concept of heat transfer notably the conductive mechanism by showing that the variation of temperature with pressure (dT/dP) exists in each metamorphic terrain. But, it still follows the thought of steady-state geotherm as its P - T path that can never be the case. Despite such defect, the metamorphic facies series is still recognized as a bench mark in the development of the study of metamorphism, and has promoted further advancement in the realm of dynamic perspective. The study of P - T - t paths followed by a metamorphic rock commenced the era or modern dynamic aspect in metamorphism. Based on the thermal perturbation and successive relaxation related to grand tectonics, a forward modelling involved the basic heat transfer equations and the inverse method relied on the geological observation with the extraction of relevant thermodynamic data from them to trace the P - T - t path followed by a metamorphic rock notably in the thickened crust of an orogenic belt have been employed and fully applied in metamorphic geology with fairly success. It marks a creative geodynamic stage in the studies of metamorphism. Yet, some key problems such as anatexis *vs.* metamorphism, convection *vs.* conduction mechanisms, collision *vs.* extension and elaboration and distinction of P - T - t paths with various tectonic settings remain to be solved. ; Some recent advances in the studies of metamorphism in China relevant to their pitfalls in dynamic perspective are also discussed.

Keywords Steady state Instantaneous Geotherms Depth zones Metamorphic facies series P - T - t paths