

## 构造地球化学面临的选择

孟宪刚 陈洪新

(中国地质科学院地质力学研究所)

在成矿地质学领域中,矿床学和构造学分别以各自的学科基础搭架出颇具规模的体系,用以描述或试图阐明矿床形成的原因。并且联姻出大地构造成矿学、矿田构造学这样的稚子。地球化学面临的却是从超微观直到宇宙范围的永恒命题——难以穷尽的基本粒子及其构成的元素行为。包括成矿过程中元素的聚散、环境问题中元素在岩石圈—水圈—生物圈耦合时的作用及过程,甚至要考虑到通常认为是天体物理范畴的黑洞引力崩塌。显然,在成矿地质学中,地球化学的任务就找矿而言是具体的,就成矿机理研究而言则是细致复杂的。因此,矿物学、岩石学都曾与地球化学合作取得丰富的实验材料,并在找矿和成矿理论方面作出了贡献。

从地球化学学科的特点出发,认为地质环境的物理条件、化学条件和时间过程是决定成矿的三个根本原因,于是构造地球化学就必然和适时地诞生了。而近代构造学研究客体的广泛,时间过程的延续漫长,及其对动力学、热力学问题的关注,为地球化学研究成矿机理提供了必要的外部三个条件。在地球物理研究进展中,地球动力学涉及到核幔、幔壳反应动态过程,地幔热柱形成,岩石圈的俯冲和消融,大陆岩石圈根的产生和拆层等。地壳范围的动力学研究涉及中地壳的滑脱和拆离,岩浆岩的侵位、流体行为,以及各类控矿构造产生的条件。特别是在上地壳人类现时采矿能力所及范围,矿田构造研究更直接具体地把握着成矿过程中的物理化学条件,所以近年出现了构造物理化学的专门研究(吕古贤,1991)。在地球科学与化学的关系上,周期表上许多元素的发现、众多化合物的认识、元素及化合物的习性都是早年来自对自然界矿物的研究,并以此奠定了化学科学的基础;反过来,化学、地球化学又对人类经济活动中固体矿产的需求及认识地球自身发生、演化起着重大作用。可以认为,直到构造地球化学的诞生,才标志着地球科学与化学的关系,达到了在本质上和哲学上结合的高度。

构造地球化学所面临的选择其实只存在于其基础理论问题之中。在应用研究与理论研究上,在理论基础的探索上,解决基础理论问题时采用何种技术方法,是三个可供选择的路口。在第一个路口,人们通常说:我的脚步踏在应用之路,而思维是理性的,乐于倘佯在没有时空约束、永无止境地溯源真理长河的途中。在第二个路口,构造地球化学一般承认应力场、化学动力学和耗散结构是其基本原理(杨国清,1990)。由于构造地球化学是要从根本上认识构造力、热力驱动元素成岩成矿及成晕的机制。作为基本原理,上述三种理论中,只有耗散结构(dissipative structures)理论在地球有序化结构研究中,能将固体力学、化学动力学和流体动力学三者结合,研究非平衡条件下涉及热量输运、动量传递和物质迁移形成有序结构的全过程。因而,耗散结构是“宏观真理,因而应该以它作为一地质研究的指导思想”(於崇文,1987)。考虑到构造地球化学在国家划分的类别中至多只算是三级学科,将自然科学、社会科学普遍适用的耗散结构理论用来建立区域的、局域的成矿地球化学模型,恐怕只能是认识的现阶段中构造地球化学

理论基础建设的最佳选择了。

以耗散结构理论建立构造地球化学模型,解决构造地球化学基础理论问题,究竟采用何种技术方法为最佳途径,这是本文要讨论的主题

回顾历史可知,有序的岩石、矿物和地质构造的生成条件,一直是地质学有关学科经久不衰的基础研究热点问题。李四光教授提出以地壳构造运动为主线,充分重视热力场、重力场的前提下,将改造与建造、形变与相变结合研究,指出不同级别、不同序次构造的有序性及其控岩控矿的规律性,倡导开展构造带地球化学研究方向(尹华仁,1988)。他热衷于用数学解来陈述其地球动力学观点,并用来描述具体的有规律的构造体系或构造型式。自此,在地质力学的模拟实验研究中,考虑到熔体、流体和温度场、应力场条件,对流体运移势场、动力成岩成矿进行大量工作(杨开庆,1986)。自耗散结构理论提出后,地学领域纷纷对开放体系中动力、热力、物质流作用下功能涨落的自组织行为进行热烈讨论。在应力场、热力学研究及大量实验资料积累基础上,对成岩成矿的宏观、微观耗散结构作定性描述。现在唯远非平衡态、非线性热力学模型的定量研究仍处于探索阶段。

耗散结构理论为基础建立构造地球化学模型按认识过程,可分为地质模型、实验模型和数学模型。其中数学模型即是数值模拟的相似模型,也具有高度概括的理论模型性质,包括有应力应变计算模型、化学动力学计算模型和耗散结构数学描述模型

地质模型主要通过观察与探测、测试与分析两类技术方法,取得地质实体所经历的应力和温度变化过程,及与该过程联系的元素分布状态。提出构造变动过程中应力场对岩块的改造,引发的岩浆—火山作用、变质作用,讨论它们对含矿流体生成、驱动迁移和沉积富集的控制(沈淑敏,1982)。地质模型采用全部可获得的地质材料加以归纳,具有直观的、可操作的特点,以此来作弹性、粘弹性应力场分析,温度场、热流场分析,单一或多种元素的数值分析,通常这都是用平衡态线性方程求数学解,在设定条件下,有令人欣慰的确定性(王建平等,1992;董法先等,1995)。这种构造地球化学的控岩控矿地质模型得到极广泛的利用,应用研究方面借此对不同矿种、不同地区的成矿规律进行分析,理论研究借此提出实验方案,实验模型主要在实验岩石学领域进行固态、熔态和液态的实验,在差应力、温度梯度、浓度梯度条件下,取得组分迁移、矿物(化合物)重组与地质模型相似的结果,供地质模型验证和为理论模型提供必要的参数。通过不断地调整实验条件,力图创造应力、化学热力的功能涨落的反馈振荡条件,做出稳定的时空有序耗散结构。

数学模型包含相似模型和理论模型,强调各种边界条件与地质模型、实验模型的相似性,是属数学解析中的相似模拟,由于采集边界条件的不确定和不完备,往往被计算条件所左右。这包括在地质模型、实验模型过程中常已进行的应力应变计算模型和化学动力计算模型。构造地球化学的耗散结构模型是一种解析数学的描述,更多具有理论模型色彩。它对地质模型、实验模型的场内部和物相边界上的反应过程进行讨论,分析在化学热力学机制下的压力蠕散、热扩散、熔体—溶液弥散作用,分析其处于远非平衡态非线性条件下的稳态和瞬态表现,以及功能涨落反馈机理和定态失稳后突发时空有序结构的临界条件。在研究耗散结构的过程中,可以引用非平衡态过程的化学反应型和扩散型(反应—扩散方程),还可借助于混沌理论、分支数学理论和随机数学理论,采用计算机绘图技术模拟成岩成矿中的分形结构。显然,学科只有经过数学皇后的点化,方能从低级的感性认识阶段上升到理性阶段,成为一门真正的科学。构造地球化学就来到这样一个选择的路口。当手脚被功利主义的应用研究捆绑时,那就要建立地质模型—实验模型—数学模型,并以数学模型为我们追求的最高境界。