构造地球化学若干问题的探讨

杨 国 清

（桂林冶金地质学院化探系）

构造地球化学是介于地球化学和构造地质学之间的一门新兴学科。其基础理论包括应力场、化学动力学和耗散结构理论。研究内容可分为大地构造地球化学、区域构造地球化学、矿田（床）构造地球化学和微构造地球化学。研究方法有综合地、地球化学和实验研究法。

关键词：构造地球化学

研究现状简况

构造地球化学60年代初在我国开始出现，到80年代初已发展成一门独立的学科，并经历了酝酿和诞生两个阶段。目前已进入全面发展的第三阶段。早在50年代末，陈国达教授就注意到了构造活动与物质运动之间的密切关系，提出应把构造与地球化学研究结合起来。在他的倡导下，于1961年建立了中南大地构造与地球化学研究室，相继开展了大地构造地球化学和矿田构造地球化学的研究工作，并发表了一系列论著，较早期的代表作是“构造地球化学的若干问题”（陈国达，1976）。70年代以来，我国许多学者先后从不同角度发表文章[1~9]，从思想、理论体系到研究方法，以及找矿实践上作了探讨。在我国广大地质地球化学工作者的共同努力下，于1983年11月在长沙召开了第一届全国构造地球化学座谈讨论会，会上交流了科研、生产和教学实践中开展构造地球化学工作的成果和经验；决定在元素、区域、矿床地球化学专业委员会下设构造地球化学组。此后，我国构造地球化学的研究进入了一个新的发展时期，从理论体系、实验研究、方法总结到实际应用等方面的工作全面铺开。许多生产单位在不同程度上开展了构造地球化学找矿工作；有些研究单位开展了构造地球化学高温高压模拟实验；有的高等院校开设了构造地球化学课程，并与有关科研单位合作开始培养该专业的硕士和博士研究生；专业刊物陆续发表了一系列构造地球化学的学术论文和科研生产成果，其中尤以大地构造地球化学、断裂构造地球化学及矿床构造地球化学方面的论著最多，研究程度亦较深。

在国外，构造地球化学也引起了众多构造地质学家和地球化学家的浓厚兴趣。如文献〔10〕～〔15〕等从理论、方法及实际应用方面作了探讨。文献〔16〕～〔21〕对构造化学（Tectochmistryl）作了多方面探讨。近年来，随着板块构造学说的发展，阐述板块构造与成岩成矿关系的论著甚多，如文献〔22〕～〔24〕等论著都涉及到成矿地球化学与构造活动的关系问题。

基础理论

众所周知，地壳（球）物质的大规模转移可分为力学转移和化学转移，因而地质动力学和化学反应动力学是控制地壳（球）中物质及其运动的基本因素。自然界不存在脱离应力作用而单独进行的地球化学过程，也不存在没有地球化学作用的构造活动。从这一认识出发，构造地球化学的基本理论应该包括：应力场理论、化学动力学理论和耗散

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

结构理论等三个部分。

1．应力场理论（变形物理学） 它研究物质在各种应力环境下的行为。目前，人们对岩石、矿物的变形与应力的关系以及构造应力场已做过大量研究，但对元素的构造应力性质却还鲜为人知。随着探测技术的发展，人们研究化学元素的构造性质、特别是应力性质已成为可能。目前，人们已经知道某些元素原子的稳定性与其可压缩性（即压力性质）有关，象Fe、Ni元素在超高温高压下仍呈稳定固态，而Li、Na、K、Rb、Cs等元素在压力超过30kb条件下即转化为液态。这表明由于元素原子压力性质的差异，必然要导致物质的构造动力分异。

2．化学动力学（化学反应动力学） 人们在实际研究中发现，物质的运动是永恒的。因此仅从静态观点研究运动还远远不够，必须用动态观点即运动学观点来研究和解释构造运动和物质运动的全过程，特别是元素的活化、迁移、沉淀、富集与构造应力发展演化的关系。因而，质点碰撞理论便成为化学反应动力学的核心内容，而扩散型作用即物质流及其能量流的空间运移控制着一切作用过程的始终，它们遵循最基本的唯象方程$J=L\cdot X$。式中J表示物质流、能量流等，X表示由物质的浓度梯度、温度梯度、压力梯度、电位梯度、化学位梯度等所产生的力，L即为唯象系数。该方程表明，由于扩散作用导致物质的空间运移，并在运移过程中不断分异。如受力弯曲岩层中大离子向上、小离子向下的上坡扩散均是互扩散运动的结果，它控制着褶曲作用中元素的重新分配。

3．耗散结构（Dissipative Structure）理论 是指系统在非平衡条件下通过能量耗散过程产生和维持的时空有序结构。耗散结构理论的出现，将使科学家们需要对热力学第二定律的传统解释做出适当的修正。对地质学家而言，要使对地质事件的探究进一步深入下去，只用经典热力学显然已不够了，必须讨论系统的开放性，物质与能量的交换以及非平衡态作用过程。现已查明，无论封闭体系或开放体系，能量或物质的交换总是不断进行的。例如在断裂带中，不仅张性断裂，就是压性断裂，也同外界进行着能量与物质的交换，这是由于断裂系统中存在着压差、温差及所含溶液的浓度差等，形成了一种非平衡系统，因而是一种开放体系，熵趋于减小，从无序向有序演变，即通过压力蠕散、温度扩散和溶液弥散等地球化学作用而实现，形成耗散结构。又如地质现象中的文象结构、蠕虫状结构、条纹结构、利色根环、玉髓、玛瑙、大理石的美丽花纹以及伟晶岩的分带等，看来都与耗散结构有关，其形成的根本原因在于非平衡相变产生的耗散结构，而最后的结晶作用只不过是将各种化学振荡和物理振荡的遗迹保存下来的一种方式。因而，耗散结构的研究将无疑会促进构造地球化学理论的发展。

研究对象和内容

严谨的基本概念、明确的研究对象和确定的研究内容是一门学科成熟的标志。作为一门新兴学科的构造地球化学同样要回答这些问题。

尽管目前人们对构造地球化学还存在有不同的理解[25]，还没有形成统一的定义，但人们又不得不承认：它是介于构造地质学和地球化学之间的一门新兴的边缘学科。按照大多数学者的认识、构造地球化学是运用构造地质学和地球化学的基本原理和方法研究元素在各种构造环境中的分配和迁移、分散和富集的特征、规律及其过程和动力学机制的一门边缘学科。简言之，它研究地壳运动与原子、离子运动之间的关系、规律及其过程的动力学机制。根据这一定义，构造地球化学研究的基本对象应是元素的构造地球化学性质（包括元素的离子半径、电价、电负

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

性、亲和能、电离能、化学势（位）、体积度、比焓、压力性质等）及其在不同应力场中的地球化学行为和其时空演化规律。

地质构造按其规模大小有大、中、小之分，构造地球化学按其研究范围亦应有大、中、小之分，二者在划分标准上应力求统一。陈国达教授等人根据研究对象将构造地球化学的研究内容概括为12个方面[26]。这种划分看来较为全面，但把研究手段和方法归入研究内容，把地球以外的体系（宇宙）划入地球化学，把构造力趋动的物质调整与成岩成矿的统一过程分割成不同的研究内容，这就忽视了划分标准的统一性。笔者认为，构造地球化学研究内容的划分目前还不可能过细，但已有充分条件把它归纳为四个方面：即大地构造地球化学、区域构造地球化学、矿田（床）构造（含断裂、褶皱、岩体构造）地球化学和微构造地球化学。

研究方法

和其他学科一样，构造地球化学也应有自己独特的研究方法，即既要注意吸收地球化学、构造地质学和其他亲缘学科的研究方法，又不雷同于“构造地质学＋地球化学”的方法，更不是使用纯地球化学手段往地质构造上硬套的方法。应运用综合研究手段，采用野外与室内、宏观与微观、物理与化学相结合的方法。

1．综合地质法 这是研究构造地球化学的基础方法之一。它必须在详细研究地质构造形迹的基础上进行地球化学研究。构造运动不仅引起岩石矿物的变形、矿物光率体及相变化，而且引起元素的运移分异。通过对不同构造形迹和不同部位岩石矿物的宏观和微观研究，可以确定褶皱、断裂和岩体构造的形态特征和空间位置、确定不同构造形迹的应力场特征及其与成岩成矿成晕的关系，以及构造变动过程和其对元素集散的控制作用，以判断元素在构造变动过程中的地球化学行为和动力学机制。为了查清构造特征，除应用地质构造的基础资料外，还要辅以构造物理学和遥感地质学方法，充分利用电法、磁法和重力法等所提供的物探异常资料以及卫片、航片所提供的信息，弄清深部隐伏的各级地质构造轮廓、判断隐伏岩体及其它构造等所在的大致空间位置。

2．地球化学法 是构造地球化学最基础．最重要的研究方法。它是在区域地球化学测量的基础上编制不同级次构造单元的构造地球化学图，以获得不同大地构造地球化学区、构造地球化学省、构造地球化学带以及各类型矿田（矿床）构造中元素活化、迁移、分散、富集的特征及规律，在此基础上进一步开展构造地球化学剖面法（主要为短剖面）和地球化学指标法研究，以便查明元素赋存空间的构造环境、成矿成晕元素的运移特征及其与成岩成矿成晕的关系、并进一步建立构造地球化学模式和提出成矿预测区。目前效果较好的构造地球化学指标有：①构造环境指标：包括构造应力差值、介质的酸碱度、氧化还原电位、古温度、古压力等；②元素丰度指标：常量元素、微量元素、稀土元素以及挥发性元素的丰度及元素对比值、分异指数指标；③同位素指标：主要为稳定同位素；④元素运移特性参数指标：体积度、比容、比焓、化学位、扩散系数等；⑤成矿硫体成分值、浓度值等。此外还可以辅以电导率、矿物的电热性指标等。

3．实验构造地球化学研究法 为了模拟自然地质地球化学作用过程，进一步建立成岩成矿成晕的构造地球化学模式，以便阐明元素在构造变动和成岩成矿（晕）过程中迁移集散条件、规律和动力学机制，从理论和实践上指导构造地球化学的研究和矿产预测，必须加强实验研究、特别是高温高压构造模拟实验研究。通过实验，可以获得不同条件下元素、矿物、岩石的应力性质、变形特征以及形变和应力之间关系的信息，用于

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

探索应力场中元素的地球化学行为。

构造地球化学的诞生只不过短短几年的历程，但它却显示了较强的生命力，深得广大地学工作者的重视。这表明一门新学科的产生，既是生产发展的需要，也是科学技术进步的必然趋势。但它毕竟是一门非常年轻的学科，从理论体系到研究方法，还需要随着科学的进步和生产的发展而不断充实和完善，并在实践中检验。因此今后还要加强以下三方面的工作：

1．不断吸收现代物理、化学特别是物理化学、结构化学的成就，进一步丰富和完善本身的理论体系。

2．加强构造地球化学研究方法特别是实验构造地球化学的研究，不断改进学科自身的研究法，进而充实构造地球化学理论。

3．加速应用构造地球化学的研究，并在应用实践中检验和发展学科，这是学科本身发展的需要，也是学科赖以存在的基础。

主要参考文献

[1] 涂光炽：矿物岩石地球化学通讯，1984，第1期.

[2] 黎　彤：地质学报，1974，第2期.

[3] 丁　暄：地质地球化学，1975，第3期.

[4] 吴学益：中国矿物岩石地球化学学会学术会议论文摘要汇编，1978年.

[5] 黄瑞华：湖南省地质学会学术年会论文摘要，1979年.

[6] 张治洮：陕西地质科技，1976，第1期.

[7] 孙　岩：大地构造与成矿学，1984，第1期.

[8] 刘泉清：地质与勘探，1981，第4期.

[9] 章崇真：地质与勘探，1979，第3、7期.

[10] Чередниченко, А. И.: 国外地质，1973，第10期.

[11] Фаворская, М. А.: 国外地质参考资料，1975，第6期.

[12] Гзовский, М. В.: «Основы тектонофизики», Изд. Наука, Москва.

[13] Гундобин, Г.М.: 地质地球化学，1977，第4期.

[14] Тохтуев, Г. В.: 湖南冶金地质，1979，第2期.

[15] Наумов, Г. Б.: Геохимия, 1977, №2.

[16] Rodringuez, S. E., et al.: 24th IGC, 1972——SECTION 10

[17] Rarker, R.B.: 地质地球化学，1975，第4期.

[18] Petro, W. L.: 国外地质科技，1981，第7期.

[19] Brodie, K. H.: 地质地球化学，1983，第6期.

[20] Beach, A.: 成都地质学院国外地质，1982，第1期.

[21] Knipe, R. I., White, S.H.: J. Geol. Soc., Lond., 1978, 135, p.513~516.

[22] Perfit, M.R., et al.: Chemical Geology, 1980, Vol.30, №3.

[23] Mitchek, A. H., Gerson, M. S.: 《矿床与全球构造》，地质出版社，1986年.

[24] Цирихова, Э. М.: «Блоковая тектоника и оруденение», Москва.

[25] 刘洪波等：地质与勘探，1987，第8期.

[26] 长沙大地构造研究所：构造地球化学论文摘要，1983年.

A Study of Some Problems of Tectonic Geochemistry

Yang Guoqing

Tectonic gechemistry is a new branch of learning involving many problems of both geochemistry and tectonic geology. Its fundamental theory is based upon stress field theory, chemical dynamics and dissipat on structure theory and its contents deal with geochemistry problems of geo-tectonics, regional tectonics, ore-field (ore deposit) structure and microtectonics. Methods of tectonic geochemistry investigation include comprehensive geological studies, geochemical survey and experimental investigations.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net