

地球化学理论丛书

断裂构造 地球化学导论

孙岩 徐士进 刘德良 林爱明 陆建军 著

科学出版社



国家自然科学基金委员会资助出版

地球化学理论丛书

断裂构造地球化学导论

孙 岩 徐士进 刘德良
林爱明 陆建军 著

科学出版社

1998

Geochemical Theory Series

An Introduction of Tectono- geochemistry in Fault Zones

Sun Yan Xu Shijin Liu Deliang
Lin Aiming Lu Jianjun

Science Press, Beijing, China

1998

内 容 简 介

本书是以当代科学的非线性理论和力学、化学耦合作用思想为指导,系统研究断裂构造地球化学的详细总结。全书共分十二章,包含断裂构造地球化学的基础理论、相关解释、实验模拟和实际应用等四方面的内容。

本书可供地质类各专业的教学、科研和生产人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

断裂构造地球化学导论/孙岩等著. -北京:科学出版社,1998.2

(地球化学理论丛书)

ISBN 7-03-006211-6

I. 断… II. 孙… III. 断裂带-地球化学 IV. P59

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 17651 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1998 年 2 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1998 年 2 月第一次印刷 印张: 16 1/2

印数: 1—1 400 字数: 365 000

定价: 38.00 元

序 言

构造地球化学将大地构造、矿田构造、微观构造与地球化学结合起来,探讨在各种构造活动过程中元素及其同位素的活化、运移、富集或贫化的规律。反过来,在一定的条件下,元素和同位素的运移也可以指示构造运动的性质。一句话,构造地球化学是探求构造与地球化学内在联系的一门学问。

过去,搞构造的不大注意地球化学,而搞地球化学的则常拘泥于元素与同位素的活动,忽略了构造背景与构造动力的考虑,因而,它们的边缘领域长期是空白,国内如此,国外也差不多。

一个边缘或分支学科的建立是生产实践发展和科学事业需要的必然结果。构造地球化学之所以能够成为一门新的地学分支学科,首先是找矿、勘探、环境、减灾等事业的需要,其次是有了一定的科学储备,因而才能水到渠成。回忆10年前在长沙召开了我国第一届构造地球化学学术讨论会,到目前为止,这种讨论会已进行了四次。看来,这门边缘分支学科的大致轮廓已被勾画出来,但要建立牢固基础,则还需要大量扎实的工作。

断裂构造地球化学是构造地球化学的一个重要组成部分。本书作者孙岩同志很早就注意到这个组成部分。在70年代他就积累了十余条断裂构造的系统化学分析资料。多年来他一直努力通过亲身实践探求断裂构造与地球化学结合的路子。这本专著忠实地记载了他的实践和摸索。由于没有现成的路子可走,因此断裂构造地球化学是需要摸着石头过河的。

在本书中作者阐述了断裂构造地球化学中的若干作用,如动力分异-化学亲合、进变质、退变质、氧化-还原、脱水-水解、吸附-渗散等。他们还试图运用非线性理论,探讨断裂带中元素运移的机理。无疑,这些探索和认识是有益的,可以促进构造地球化学的深入讨论。

涂光炽

1995年4月14日

前 言

科学的灵魂在于探索和发现。地质学本身就是一门探索性很强的科学。当代科学已从牛顿的宏观-线性体系进入到爱因斯坦的微观-非线性体系的新时代。地质工作者在探索着将地质学中两大重要分支学科——构造地质学和地球化学融为一体并以非线性思想为指导进行研讨,以求在当前地质科学的发展面临严峻挑战的形势下,建立新的理论体系。

构造地球化学是一门介于构造地质学和地球化学之间的新兴边缘学科,断裂构造地球化学是该学科中的一个重要组成部分。经受着变形的岩石可以发生化学变化的概念早在上一世纪就由 H. C. Sorby(1863)提出来了。本世纪 60 年代起,在我国陈国达先生率先展开了这方面的研究工作。自 1983 年开始,在一批中年地质工作者发起和组织下,先后在我国召开了四次构造地球化学学术讨论会,推动了这个领域研究工作的蓬勃开展。当然,正如涂光炽先生 1989 年在为第二届全国构造地球化学讨论会的题词中所明确指出的:“一门学科要站得住脚,不能只靠人为的支持,更重要的是这门学科能适应生产发展的需要,给生产以力所能及的推动,本身有一定的理论和方法作为支柱……”在本书中,作者就是试图以 30 多年来对从国内外 200 余条断裂采集的 2 500 余块断层岩标本的观察和 50 余条断层系统采样、化验分析(常量元素、微量元素和同位素)的 1 000 多个数据为基础,运用现代的非平衡态热力学和力学-化学耦合、自组织作用等非线性理论,对构造地球化学(主要是断裂构造地球化学)的一些有关理论方法和实践应用进行尝试性地探求和讨论,诚然这仅仅是一个开端。

作者对断裂构造地球化学的研讨,从一开始就得到老一辈地质学家的关怀指教,1978 年在已经做了 10 余条断裂构造的全部相带系统化学分析后,涂光炽先生及时予以勉励:“国内外断裂构造地球化学尚无现成的模式,你已掌握了较充分的资料,怎么想的就怎么写出来。”当这项研究的第一篇文章脱稿后,南京大学地球科学系王德滋教授亲自审阅,还组织构造地质学、矿床学和地球化学三个教研室的主任施央申教授、胡受奚教授和刘英俊教授“三堂会审”,严格把关。因此作者在该领域所总结出的一些初步结果,是同诸位师长精心指导分不开的。

近几年作者在应邀出国讲学、访问、科研合作和参加国际学术会议时,断裂构造地球化学常作为重要讲授和讨论内容。同时,作者也在和国外同行对有关研究内容进行探讨时获益匪浅,如日本名古屋大学的 K. Suwa、S. Mizutani 教授对有关动力分异-化学亲合作用;美国加利福尼亚州伯克利(Berkeley)大学的 L. Weiss、H-R. Wenk 教授对裂隙岩相和应力蚀裂;以及法国奥尔良大学的 J. Charvet、M. Faure 教授对耗散结构中的自组织作用等提出了具体改正意见和工作建议,作者将在书中深入讨论。

作者在长期的研究过程中,除了上述国内外专家学者的支持和帮助外,还得到了徐克勤教授、郭令智教授(南京大学);马杏垣教授(国家地震局地质研究所);孙殿卿教授、陈庆宣教授、杨开庆教授(中国地质科学研究院地质力学研究所);陈国达教授(中国科学院长沙大地构造研究所);於崇文教授(中国地质大学);钱祥麟教授(北京大学);吴学益教授(中国科学院贵阳地球化学研究所);R. H. Sibson 教授[新西兰奥塔戈(Otago)大学];I. Davison 教授(英国伦敦大学)和 T. Shimamoto 教授(东京大学)等的指教以及南京大学地球科学系、美国加利福尼亚州伯克利(Berkeley)大学地质地球物理系、日本高知大学地质系和东京大学地震研究所等分析化验室在样品测试方面的协助;同时苏、浙、皖、赣、湘、闽、鲁、川、黔等省有关地质队和作者的研究生也参与了本书的有关研究工作,谨在此一并深表谢意!

参加本书撰写工作的同志有:第一、三、五、六、七章孙岩;第四、九章徐士进;第二、八、十章孙岩、刘德良;第十一章陆建军;第十二章林爱明。最后由孙岩和刘德良统编。正如涂光炽先生在序言中所指出的,这本书只是忠实地记载了我们对断裂构造地球化学这门新兴学科的初步“实践和探索”。文中错漏不妥之处恳请广大读者批评指正。

本书有关专题研究项目和本书的出版获国家自然科学基金资助;有关测试分析获中国科学院贵阳地球化学研究所矿床地球化学开放实验室、南京大学地球科学系金属成矿开放实验室资助。

目 录

序言

前言

第一章 构造地球化学研究	(1)
第一节 构造地球化学与现代科学	(1)
一、科学学与现代地质学	(1)
二、化学学与构造地球化学	(2)
三、断裂力学与断裂构造地球化学	(4)
第二节 构造地球化学的研究历史和现状	(7)
一、国外构造地球化学研究	(7)
二、国内构造地球化学研究	(9)
第三节 断裂构造地球化学研究内容、方法和步骤	(10)
一、相关解释方面	(10)
二、实验模拟方面	(10)
三、基础理论方面	(11)
四、实践应用方面	(11)
五、基于研究内容的使用方法和步骤	(11)
第二章 韧脆性断裂带的形变和相变	(13)
第一节 弹-塑性、脆-韧性和刚-粘性形变表象	(13)
一、弹-塑性变形和包辛格屈服效应理论	(13)
二、脆-韧性变形和贝特拉姆形变比能理论	(13)
三、刚-粘性变形和奥德塑性流变理论	(14)
第二节 构造分层、流变分层和化学分层	(15)
一、构造分层作用	(15)
二、流变分层作用	(19)
三、化学分层作用	(21)
第三节 脆性断裂带中的韧性相变域	(24)
一、相带构造单元	(24)
二、岩石线理组构	(25)
三、压力敏感矿物	(27)
四、超微位错构造	(30)
五、相变机理探讨	(31)
第三章 断裂带的构造地球化学作用	(33)
第一节 断裂带的发育阶段、样品采集、化验分析和数据处理	(33)
一、发育阶段和样品采集	(33)
二、化验分析和数据处理	(34)

第二节 动力分异作用-化学亲合作用	(39)
一、韧脆性断裂带中化学组分变化	(39)
二、离子半径-晶体化学的基本参数	(44)
三、动力分异作用	(49)
四、化学亲合作用	(54)
第三节 进变质作用-退变质作用	(54)
一、进变质作用	(54)
二、退变质作用	(57)
第四节 还原作用-氧化作用	(58)
一、还原作用	(58)
二、氧化作用	(59)
第五节 脱水作用-水解作用	(61)
一、脱水作用	(61)
二、水解作用	(63)
第四章 构造地球化学过程中力学-化学耦合动力学	(64)
第一节 受应力岩石中力学-化学的耦合反馈	(64)
一、结构-压溶耦合	(64)
二、缺陷密度-溶解度耦合	(65)
第二节 力学-化学耦合动力学模型	(66)
一、矿物颗粒溶解度和结构相关性	(66)
二、矿物颗粒应力传递的结构相关性	(67)
三、矿物自由能的结构相关性	(68)
四、结构动力学模型	(69)
第三节 数值模拟及实例	(70)
第五章 元素硅的构造地球化学行为	(74)
第一节 浅层断裂带元素硅的地球化学行为	(75)
一、类型划分	(75)
二、区别对比	(75)
第二节 中深层断裂带元素硅的地球化学行为	(81)
一、江苏实例	(81)
二、英国实例	(86)
第三节 褶皱构造带元素硅的地球化学行为	(87)
一、实例三则	(88)
二、相关变化	(89)
三、行为机理	(91)
第六章 断裂变质过程中的耗散结构	(96)
第一节 耗散结构理论及其在地质地球化学中的应用	(96)
一、非平衡是有序之源	(96)
二、构造与地球化学耦合中的自组织作用	(97)
第二节 断裂变质成岩成矿过程中的耗散结构	(98)

一、开放系统	(98)
二、有序结构	(99)
三、功能作用	(102)
四、涨落旋回	(107)
第七章 裂隙岩相学	(108)
第一节 裂隙岩相学的微束研究	(108)
一、研究宗旨和内容	(108)
二、样品采集和制备	(109)
三、电镜观察和测定	(109)
第二节 实例测试分析	(110)
一、美国加利福尼亚州深钻岩心研究	(110)
二、一个奇异透镜体构造研究	(119)
第八章 断裂构造中的压溶发育和应力蚀裂	(125)
第一节 断裂变质岩中的压溶发育	(125)
一、压溶发育的阶段	(125)
二、压溶发育的因素	(127)
第二节 碳酸盐岩区中的应力蚀裂	(130)
一、应力腐蚀断裂试验	(130)
二、应力蚀裂地质观察	(132)
第九章 韧性断裂带中流体作用和物质迁移	(137)
第一节 变质流体的组成与流体-矿物间的平衡	(137)
一、变质流体的组成	(137)
二、流体-矿物间的平衡与流体组成的计算	(138)
第二节 韧性断裂带中物质迁移的理论	(139)
一、流体流动和化学反应的耦合动力学模型	(140)
二、流体流动与水-岩反应过程	(141)
三、韧性断裂带中流体流动和物质迁移	(144)
第十章 地层-断层-矿层三位统一体	(147)
第一节 层滑断裂与层控矿床	(147)
一、定位机制	(147)
二、发育阶段	(150)
第二节 含矿杂岩与成矿机制	(151)
一、含矿杂岩	(151)
二、成矿作用	(156)
第十一章 韧性剪切断裂带与金矿化	(162)
第一节 韧性剪切带的构造地球化学	(162)
一、韧性剪切过程中常量元素行为	(162)
二、韧性变形过程中金的行为	(164)
第二节 含金韧性剪切带的构造地球化学	(165)
一、变形过程中常量元素构造地球化学	(165)

二、变形过程中微量元素地球化学	(167)
三、含金剪切带中金的地球化学行为	(168)
第三节 韧性剪切带与金矿化关系	(171)
一、国内外典型韧性剪切带型金矿床	(171)
二、剪切带与金矿化的关系	(174)
三、构造热液蚀变与金矿化	(175)
第四节 韧性剪切带型金矿成矿模式	(176)
一、金矿源层	(177)
二、金的迁移和成矿流体	(180)
三、韧性剪切带是金沉淀的最佳场所	(180)
第五节 含金剪切带的勘探地球化学	(181)
第十二章 地震断层“化石”——假玄武玻璃形成的力学和化学机制	(183)
第一节 假玄武玻璃的成因机制的研究	(183)
一、假玄武玻璃的研究意义	(183)
二、假玄武玻璃的研究史	(184)
第二节 假玄武玻璃的地球化学特征	(187)
一、母岩与假玄武玻璃的化学组成	(187)
二、假玄武玻璃的粉末 X 射线分析	(189)
三、假玄武玻璃基质的化学成分变化	(190)
四、微晶体的矿物化学组成	(192)
第三节 假玄武玻璃形成的实验研究	(199)
一、假玄武玻璃形成的模拟实验	(199)
二、熔融体的化学成分	(200)
三、摩擦熔解的非化学平衡过程	(203)
主要参考文献	(210)
英文摘要	(224)

Contents

Foreword

Preface

Chapter I	Study on the tectono-geochemistry	(1)
1	Tectono-geochemistry and modern sciences	(1)
1-1	Science of Science and modern geology	(1)
1-2	Chemistry and tectono-geochemistry	(2)
1-3	Fault mechanics and fault tectono-geochemistry	(4)
2	History and present Situation of tectono-geochemistry	(7)
2-1	Tectono-geochemistry in abroad	(7)
2-2	Tectono-geochemistry in China	(9)
3	Contents, methods and steps of fault tectono-geochemistry	(10)
3-1	Related explanation	(10)
3-2	Experimental simulation	(10)
3-3	Theory	(11)
3-4	Application	(11)
3-5	Methods and steps	(11)
Chapter II	Deformation and phase change of the ductile-brittle fault zone	(13)
1	Deformed expression with elasticity-plasticity, brittleness-ductility and rigidity-viscosity	(13)
1-1	Elastic-plastic deformation and the theory of Baushinger's yield effect	(13)
1-2	Brittle-ductile deformation and the theory of Beltram's deformed specific energy	(13)
1-3	Rigid-viscous deformation and the theory of Ode's plastic rheology	(14)
2	Structural Layering, rheological layering and chemical layering	(15)
2-1	Structural layering	(15)
2-2	Rheological layering	(19)
2-3	Chemical layering	(21)
3	Ductile phase change domain in the brittle fault zone	(24)
3-1	Structural units in phase zones	(24)
3-2	Lineation fabrics in rocks	(25)
3-3	Sensitive minerals in pressure	(27)
3-4	Ultra-microscopic dislocation structure	(30)
3-5	Mechanism discuss of phase change	(31)
Chapter III	Tectono-geochemical actions of fault zones	(33)
1	Developed stage, sample collection, examination analysis and data handle in the fault zone	(33)
1-1	Developed stage and sample collection	(33)
1-2	Examination analysis and data handle	(34)

2	Dynamic differentiation-chemical affinity	(39)
2-1	Chemical composition changes in the ductile brittle fault zones	(39)
2-2	Ionic radii—a basic parameter of crystal chemistry	(44)
2-3	Chemical affinity	(49)
2-4	Dynamic differentiation	(54)
3	Progressive metamorphism-regressive metamorphism	(54)
3-1	Progressive metamorphism	(54)
3-2	Regressive metamorphism	(57)
4	Reduction-oxidation	(58)
4-1	Reduction	(58)
4-2	Oxidation	(59)
5	Dewatering-hydrolysis	(61)
5-1	Dewatering	(61)
5-2	Hydrolysis	(63)
Chapter IV Mechano-chemical coupling in process of tectonic geochemistry		(64)
1	Mechano-chemical coupling and feedback in stressed rocks	(64)
1-1	Texture-pressure solution coupling	(64)
1-2	Dislocation density-solubility coupling	(65)
2	Kinetic model of mechano-chemical coupling	(66)
2-1	Texture-dependent of mineral grain solubility	(66)
2-2	Texture dependent of mineral grain stress	(67)
2-3	Texture-dependent of mineral free energy	(68)
2-4	Model of coupling reaction kinetic	(69)
3	Numerical simulation and example	(70)
Chapter V Tectono-geochemical behavior of Si		(74)
1	Geochemical behavior of Si in the fault zone of shallow level	(75)
1-1	Type division	(75)
1-2	Distinctive comparison	(75)
2	Geochemical behavior of the element Si in the fault zone of middle deep level	(81)
2-1	Examples in Jiangsu Province	(81)
2-2	Examples in England	(86)
3	Geochemical behavior of element Si in the fold structure zone	(87)
3-1	Three examples	(88)
3-2	Relative change	(89)
3-3	Behavior mechanism	(91)
Chapter VI Dissipative structure of the metamorphic process in fault zone		(96)
1	Theory of dissipative structure and its apply in geology and geochemistry	(96)
1-1	Non-equilibrium is a source of ordered structure	(96)
1-2	Self-organization of the coupling between structure and geochemistry	(97)
2	Dissipative structures of rock-and ore-forming process in fault metamorphism	(98)

2-1	Open system	(98)
2-2	Ordered structure	(99)
2-3	Functional action	(102)
2-4	Fluctuating cycle	(107)
Chapter VII Crack petrography		(108)
1	Micro-beam study of the crack petrography	(108)
1-1	Purpose and content of the study	(108)
1-2	Collection and preparation of the sample	(109)
1-3	Observation and determination by the electric microscope	(109)
2	Determining and analysing for samples	(110)
2-1	Study of the deep drill cores in California State, U. S. A	(110)
2-2	Study of a peculiar lenticular	(119)
Chapter VIII Evolution of pressure solution and stress-corrosion cracking in the fault structure		(125)
1	Evolution of pressure solution in the fault metamorphic rock	(125)
1-1	Evolutionary stages of the pressure solution	(125)
1-2	Evolutionary elements of the pressure solution	(127)
2	Stress-corrosion cracking in the area of carbonate rocks	(130)
2-1	Fracture test of the stress-corrosion	(130)
2-2	Geological observation of the stress-corrosion	(132)
Chapter IX Fluid flow and mass transfer in ductile fault zone		(137)
1	Composition of metamorphic fluid and equilibrium of mineral-fluid	(137)
1-1	Composition of metamorphic fluid	(137)
1-2	Equilibrium of mineral-fluid and calculation of fluid composition	(138)
2	Theory of mass transfer in ductile fault zone	(139)
2-1	A model of coupled fluid flow and chemical reactions	(140)
2-2	Fluid flow and water-rock interactions	(141)
2-3	Fluid flow and mass transfer in ductile fault zone	(144)
Chapter X Coincidence relations between strata, faults and ore beds		(147)
1	Layer-slip fault and layer bound ores	(147)
1-1	Determining-position mechanism	(147)
1-2	Evolutionary stages	(150)
2	Ore-bearing complex and minerogenetic mechanism	(151)
2-1	Complex evolution	(151)
2-2	Minerogenetic action	(156)
Chapter XI Ductile shear zone and its relation to gold mineralization		(162)
1	Tectono-geochemistry of ductile shear zone	(162)
1-1	Activities of major elements during deformation	(162)

1-2 Mobilization of gold during ductile deformation	(164)
2 Tectono-geochemistry of auriferous ductile shear zone	(165)
2-1 Activities of major elements in ductile shear zone	(165)
2-2 Activities of trace elements in shear zone	(167)
2-3 Activities of gold in shear zone	(168)
3 Relationship between gold mineralization and ductile shear zone	(171)
3-1 Domestic and foreign typical shear zone type gold deposits	(171)
3-2 Relationship between gold mineralization and shear zone	(174)
3-3 Tectono-hydrothermal alteration and gold mineralization	(175)
4 Metallogenetic model of ductile shear zone type gold deposit	(176)
4-1 Resource beds of gold	(177)
4-2 Ore-forming fluids and transport of gold	(180)
4-3 Precipitation of gold in ductile shear zone	(180)
5 Geochemical survey for auriferous ductile shear zone	(181)
Chapter XII Mechanical and chemical mechanism of pseudotachylites as seismic faultion	
“fossil”	(183)
1 Studies on the origin of pseudotachylites	(183)
1-1 Study sense of pseudotachylites	(183)
1-2 Study history of pseudotachylites	(184)
2 Chemical character of pseudotachylites	(187)
2-1 Average chemical compositions of pseudotachylites and their country rocks	(187)
2-2 Powder X-ray analyses	(189)
2-3 Chemical compositions of matrixes	(190)
2-4 Formation process of microlites	(192)
3 Experimentally-generated pseudotachylites	(199)
3-1 Model experiment	(199)
3-2 Chemical compositions of fused mass	(200)
3-3 Nonequilibrium melting process	(203)
Principal references	(210)
Abstract	(224)

第一章 构造地球化学研究

构造地球化学(tectono-geochemistry)是一门介于构造地质学和地球化学之间的新兴边缘学科,是研究构造作用过程中化学元素的时空分布、演化规律和成因联系的科学。断裂构造地球化学是该学科中的一个重要组成部分。

该学科的创立和发展是和当代科学既综合又分化的大趋势分不开的,是和现代地质学各学科间互相交叉、相互渗透产生许多新的生长点分不开的。本章试图就构造地球化学研究,特别是断裂构造地球化学所涉及到的较为广泛的领域和内容予以扼要叙述,使对这一新兴学科有一个概括了解。

第一节 构造地球化学与现代科学

一、科学学与现代地质学

1) 目前新技术革命的浪潮冲击着各个学科领域,它迫使每个科学工作者(包括地质工作者)去思索、探求和展望。1983年原苏联科学院地质研究所召开了“地质科学的未来”讨论会,与会者从地质学科各个方面回顾了地质学从问世至今数百年的历史,讨论了近期的任务,展望了以后的发展。与会者中,美国《地质学》杂志主编 E. M. 穆尔斯就明确提出现在是回顾地质学发展历程和展望它的未来的时候^①。苏(俄)美地质学家们一致认为,数百年来广大地质人员所付出的巨大劳动只是查明广阔范围和漫长时期中地质现象的变化使之系统化,所用的方法乃是定性-描述性的,地质学在自然科学领域还没有占据它应有的位置。显然,地质学必须和科学学密切联系起来,从传统地质学的理论框架跃进到现代地质学的理论体系,以新的科学理论武装起来,才能赶上科学数学化、时代信息化的步伐。

2) 进入 20 世纪以来,由于量子理论(1900)和相对论(1905)的诞生,因此自然科学,尤其是物理学呈现惊人的进展,使得科学——首先是基础学科不可能再沿袭原有的理论框架走下去了(朱灿生,1982)。科学已经从以牛顿(I. Newton, 1642—1727)为代表的宏观——常速——线性为特征的科学时代,进入了以普朗克(M. Planck, 1858—1947)和爱因斯坦(A. Einstein, 1879—1955)为代表的微观——高速——非线性为特征的新的科学时代。人们的科学观和方法论也由原来的机械的、还原的和封闭的所谓机械还原论,转变到系统的、整体的和开放式的所谓系统整体论的轨道上来。特别是到了本世纪 30 年代后,这种观点和方法得到了迅猛发展,产生了科学学,形成了系统科学论的思想体系,包括现在人们称为“老三论”的系统论、控制论和信息论科学。

^① E. M. 穆尔斯,1984,地质学——过去和未来,地质科技动态,第 9 期,第 1—3 页。

3) 进入 60 年代之后,系统科学向更高的层次发展,相继提出一系列系统科学的新理论,最为突出的是人们称为“新三论”的耗散结构论、协同论和突变论(孙岩等,1985)。

(1) 耗散结构(dissipative structure)理论,是比利时著名学者普里高津(I. Prigogine)于 1969 年总结非平衡热力学成果的基础上提出来的,这一理论指出:一个远离平衡态的开放系统,通过与外界环境交换物质和能量,在其外部条件变化达到一定的阈值时,则可能从混杂无序的状态转变到一种在空间上或时间上的有序结构,称之为耗散结构。

(2) 协同学(synergetics)理论,是德国学者哈根(H. Haken)于 1973 年采用“横跨科学”的研究方法提出来的。所谓“协同”指的是关于系统中各子系统之间的相互协同作用,是研究系统自身走向一种有序结构的规律及其变化的特征。

(3) 突变(catastrophism, catastrophe)理论是法国学者汤姆(R. Thom)于 1972 年最早于《结构的稳定性和形态发生学》一书中提出来的。自然界的许多现象是连续的、平滑的变化过程,可以用微积分来描述;而对那些不连续的,飞跃的将系统变成不可微分、积分的现象,则需依拓扑学、奇点论为基础的突变理论解释之。

4) 现代地质学应将先进的科学、技术和生产实践紧密联系统为一体。

(1) 当代自然科学已经构成一个相互联系的整体,必须运用上述非线性理论——促使现代知识成为新科学的理论,来建立地质学新的理论体系和找矿模式。

(2) 现代自然科学相互交叉,相互沟通并趋向精确化。各种科学只有成功地用数学、数字化时,才能达到正确、完善。现代地质学同样必须加强精密测试和计算。

(3) 除了新理论、新技术外,还应强调地质科学中的新思维、新学术思想体系。值得提出的是地质史上自 18 世纪就开始的三大学术争论一直延续至今。这三大争论是:水成论(J. E. Guettard, 1715—1786)与火成论(N. Demarest, 1725—1815);突变论(G. Cuvier, 1769—1832)与渐变论(C. Lyell, 1797—1875);垂直运动论(P. Bauguer, 1698—1758)与水平运动论(A. Wegener, 1880—1930)。众所周知,在地质学史上长期以来是火成论、渐变论和垂直运动论占统治地位的,然而本世纪 60 年代起,由于层控矿床理论、星体撞击假说和板块构造学说的兴起,水成论、突变论和水平运动论又抬头了,并在地质学研究上成为革命性的变革。由上述不难看出,20 世纪 60 年代是科学学、系统科学和地球科学研究的一个巨大转折和发展的新时代,构造地球化学正是在这个时期创立的,诚然它的萌芽思想可以追溯到上一世纪。

二、化学学与构造地球化学

科学学—系统科学—化学学—地球化学—构造地球化学—断裂构造地球化学等,是存在着相互联系的不同研究层次。毋庸置疑,在研究当代科学的每一个学科时,都应对其高层次的相关学科的基本理论有所理解,并与本学科的理论体系融会贯通。

1) 在 70 年代时,唐敖庆(1978)在论述量子化学时,仍然强调其基础理论。通常认为化学科学有三大基本理论,即道尔顿(J. Dalton, 1766—1844)的物质结构理论,原子-分子论合理地解释了化学变化的各种规律,奠定了化学科学的理论基石;门捷列夫(Д. И. Менделеев, 1834—1907)的元素周期律理论和阿伦乌斯(S. A. Arrhenius, 1857—1927)的电离学说理论,该理论提出了在水溶液中或熔融状态下电解质的分子能分离成完全自由