

中国地质科学院

# 地质力学研究所所刊

第 7 号

地质出版社

本期是以动力成岩成矿为主的专集，共十三篇文章，其中有关于动力成岩成矿理论的研究内容，研究方向，动力成岩成矿的实验研究以及动力成岩成矿理论在矿田构造、显微构造等方面的应用实例等。可供构造地质、矿床地质、科研和教学方面参考。

中国地质科学院  
地质力学研究所所刊  
第 7 号

\*

责任编辑 朱永余 李中坚 王建平

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

\*

开本：787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张：11<sup>7</sup>/<sub>8</sub> 字数：276,000

1986年8月北京第一版·1986年8月北京第一次印刷

印数：1—3,022册·定价：3.00元·

统一书号：13038·新219



杨开庆研究员（左一）与李四光教授及夫人等合影。 1965年摄于北京



杨开庆研究员和陈庆宣研究员（中）、崔盛芹所长（右），  
在海南石碌铁矿考察。 1982年摄



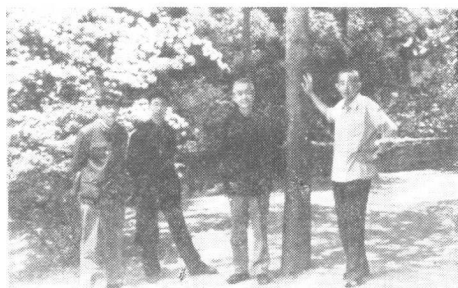
杨开庆研究员（右二）与孟庆平矿长（左三）、林勇（左四）等同  
志在海南石碌。 1982年摄



杨先生与他的学生们在白云鄂博  
考察。1978年摄



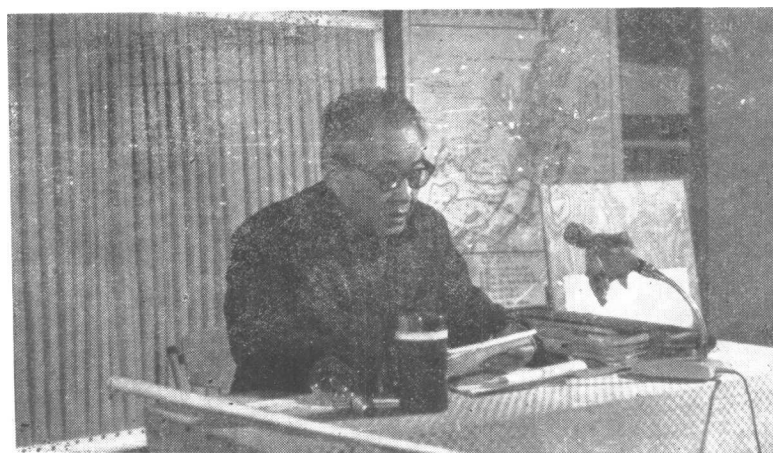
杨开庆研究员在野外指导研究生。  
1982年摄



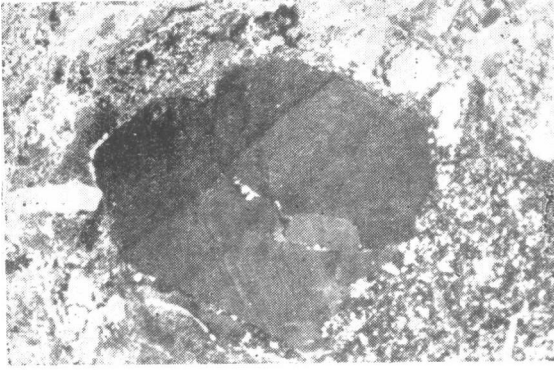
1980年在浙江莫干山与地质工作者合影。



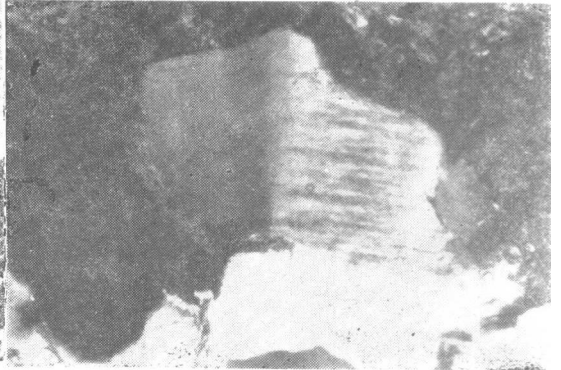
杨先生亲赴野外观察流动构造。 1981年摄



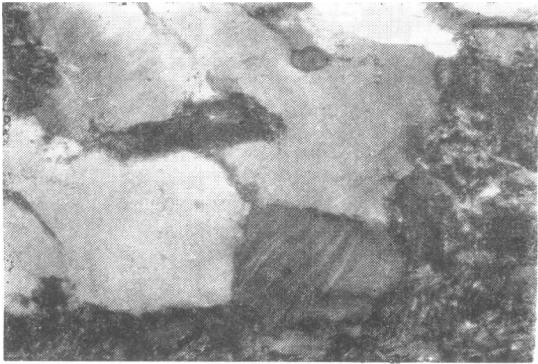
杨先生在给学生们讲课。 1983年于成都



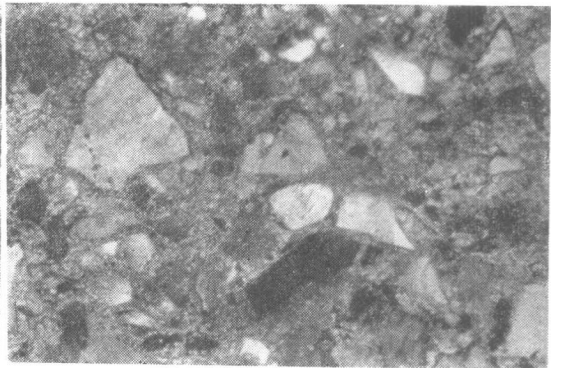
I-1



I-2



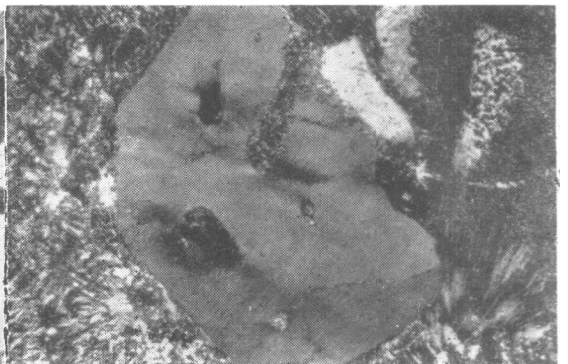
I-3



I-4

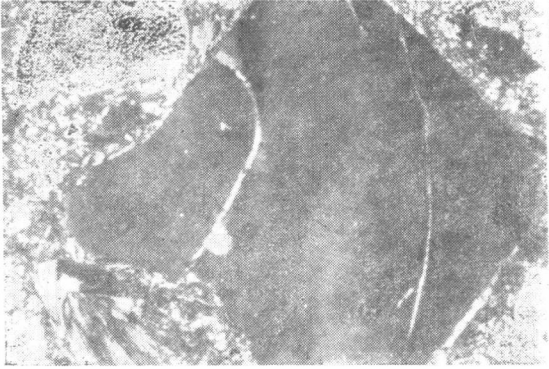


I-5

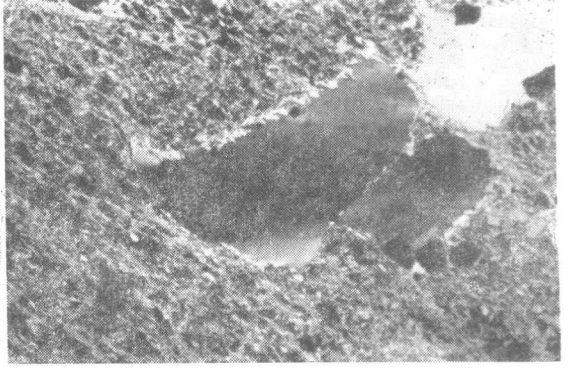


I-6

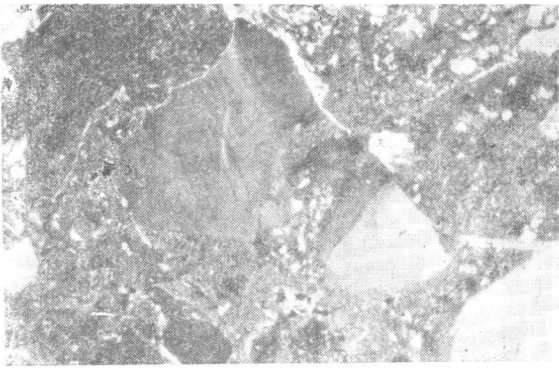
图版 II  
Plate II



II-1



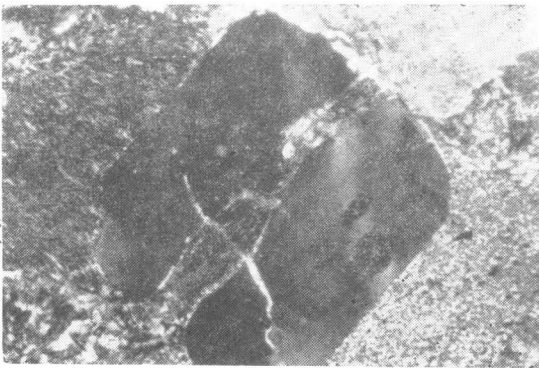
II-2



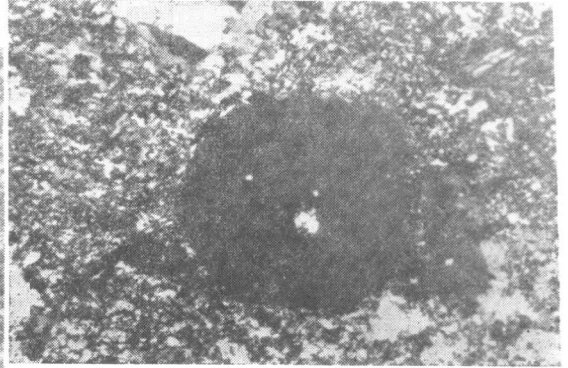
II-3



II-4



II-5



II-6

## 目 录

动力成岩成矿理论的研究内容和方向 .....	杨开庆 ( 1 )
论地壳物质的构造动力调整作用 .....	杨开庆 董树文 ( 15 )
石碌式铁矿富铁形成机制的形变—相变实验研究 .....	杨开庆 熊大和 侯威 ( 23 )
金厂峪动力变质金矿床的研究 .....	孙宝珊 杨连生 高德玉 刘万宝 ( 39 )
河南礞盘山地区基性—超基性岩和铬铁矿的变异及流变 .....	董法先 李秀珍 ( 55 )
石槽铜矿动力变砂卡岩成矿问题探讨 .....	吕古贤 ( 71 )
赣南构造应力场与稀土矿之关系初探 .....	韩久竹 张纪超 郭中勋 ( 93 )
成岩成矿期构造的鉴别及其在矿床形成中的意义 .....	李尚淮 王建平 ( 103 )
混合岩的构造成因 .....	张治洮 ( 119 )
动力分异及其在成岩成矿作用上的意义 .....	张治洮 ( 129 )
苏皖南部层控断裂中杂岩的发育特征 .....	孙岩 沈修志 ( 141 )

### 显微构造

动力作用下岩石流变及组构特征 .....	刘曼俐 朱大岗 ( 153 )
石英变形纹及其意义 .....	徐和聆 张荣阁 ( 169 )

# 动力成岩成矿理论的研究内容和方向

## REASURCH SUBJECTS AND ORIENTATION ON THE THEORY OF TECTONO-PETROGENESIS AND TECTONO-METALLOGENESIS

杨 开 庆

(中国地质科学院地质力学研究所)



### 编者的话：

杨开庆研究员是我国著名地质学家之一。他自 1938 年就学于西南联大地质系以来，长期致力于矿床学和地球化学方面的研究工作。五十年代，他应李四光教授之邀，开始从事地质力学研究工作。几十年来，杨老把地质力学理论与方法同矿床学和地球化学相结合，把形变与相变相结合，在长期实践的基础上，提出并逐步充实动力成岩成矿理论和方法，促进了地质力学的发展，为研究动力作用与成岩成矿关系开辟了新途径。

杨开庆研究员热心地质事业，不避艰辛，注重实践。在他带领下，曾发现云贵地区高铝层位和山西某地钼矿床；他为我国铬矿找矿工作做出了显著贡献，尤其是他运用地质力学理论和方法，预测了新疆某地铬铁矿盲矿体，后经钻探得到了验证；另外，他还为填补阿拉善北部地质空白、确立五台山区震旦纪与前震旦纪界限等方面做出过出色成绩。杨老还担任过地质出版社早期付主编之职，在出版工作和编辑全国地层表方面曾受到国家奖励。

本期主要发表有关动力成岩成矿方面的论著。首篇是杨开庆先生的“动力成岩成矿理论的研究内容和方向”，同时还刊登了他的部分著作目录，以此庆贺他从事地质事业近五十年和七十诞辰。

### 序 言

奉献给读者的这本专集是作者以及同仁在“动力成岩成矿”以及其它方面的探讨中所获得的部分成果。长年来致力于地质力学，构造地质学以及矿床学、地球化学，特别是矿田构造研究的地质工作者，包括作者和各位同事在内，在研究成岩成矿规律与构造运动关系的必经过程中，从不同的学科角度，不谋而合地走上一条共同的道路，正在勤奋地开拓着一门具有生命力的新的研究方向。我们有着共同的立足点，都强调物质运动与构造运动的紧密配合，强调在运动中研究物质，从物质中窥察运动；我们又有着共同的目标，就是在研究矿产分布规律的基础上，更深入地揭示矿产的成因规律。共同的事业已把我们紧紧

地联系起来，作为一位地质老兵，借此专集出版之际，祝愿我们的事业取得成功！谨向为本专集献文，以及长期通力合作，一贯给以我们支持、关心和鼓励的同志们衷心鸣谢！并允许我代表各位著者向先师李四光教授表示无限的缅怀和崇敬，，“动力成岩成矿”观点就是在地质力学构造体系控岩控矿的理论基础上提出来的<sup>[1]</sup>；另外，特向支持本专集出版的地质力学研究所和地质力学书刊编辑部的同志们深致谢忱！

辩证唯物主义认为，运动是物质的属性，物质和运动是不可分割的；离开物质的运动和离开运动的物质都是不可思议的。“动力成岩成矿”正是企图把运动和物质归于统一，探讨构造动力引发的地壳物质的调整规律，认为：地壳物质的物理和化学的变化和分布都与地壳运动分不开，而地壳的水平运动是在重力场中进行的。地壳运动导致了物质调整，地应力是引起物质调整、变化的重要因素；而物质的组成和空间调整是对外力和应力的必然的适应性平衡过程。动力成岩成矿主要是研究构造动力作用下物质的组份调整，尤其是物质空间调整过程中的组份调整作用；始终致力于探索构造运动与地壳物质变化的关系，并作为研究的总方向。

## 一、问题的提出

动力成岩成矿观点是在构造体系控岩控矿理论<sup>[1]</sup>基础上，在较长期找矿实践中逐步建立起来的。从1973年以来提出一系列有该理论的观点如：“构造运动密切配合着成岩成矿活动”<sup>[2]</sup>（1973）；“岩石形变与岩石矿物相变”<sup>[2]</sup>（1974）；“构造控岩控矿与构造成岩成矿”<sup>[3]</sup>（1979）；“动力成岩成矿”（1980，1982）；“构造动力作用中地球化学作用”、“构造动力地球化学”、“岩石形变中同步地球化学作用”、“外力对岩浆结晶时所起的控制作用”及“构造动力调整作用”<sup>[4]</sup>。这个理论的演变与发展过程，标志着从构造控岩控矿研究阶段逐步深入到构造成岩成矿阶段，或者说，从研究矿产分布规律逐步深入到成矿规律的研究。

## 二、含义及目的

地壳物质成份在构造动力引发和调整下，可以产生一种成岩成矿作用。这种成岩成矿作用可分为两种方式：岩石形变时引发的成岩成矿。岩块、地块在外力作用下产生变形，不但遗留下构造变形痕迹，有的还可促使岩石（固态）发生或部分发生岩石相变和矿物相变，岩石在形变的同时，还可能引起质变，产生新的岩石和矿物。这是一种以构造应力为动力所引起或驱使岩石在形变过程中使原有岩石、矿物成分重新组合，重新建造的调整结果；岩浆结晶时构造动力调整作用控制的成岩成矿作用。岩浆在结晶中，在应力梯度控制下按一定的规律所形成的不同岩石、矿物组合的岩相和建造。把这些由于构造动力作用引起的岩石、矿物的物质调整产生的岩相和建造或重新调整产生的新的岩石和矿物相及建造的过程称之为动力成岩成矿，其目的就是试图为成矿理论和找矿理论开辟一条新的研究途径。

### 三、研究方法

通常对地质发展历史有两种研究方法：一是侧重地壳物质成分，即从建造，形成（组成）或岩相来研究或论述地质演变历史；二是侧重地壳结构，即改造、形变或构造，论述地质演变历史。自然界中许多事实说明（详后），地壳运动和地壳物质变化是不可分割的，因此，必须把改造和建造、形变和形成、构造和岩相彼此密切结合、配合或交替演变所组成的地质历史综合方法作为地质学研究的基本方法，这也是动力成岩成矿的基本研究方法。

在成岩成矿的温度、压力和成份三个条件中，过去总是强调温度这个主要条件，并作为岩石、矿物分类的主要依据。这实际上是很不全面的。从动力成岩成矿角度来说，则是要把压力、应力因素置于一个合适的地位，予动力条件以足够的重视，特别强调构造动能转化成其它能量形式的积极作用。如：位移岩块之间相互摩擦生热（Friction heating）就是一例，摩擦生热在难于散热的、封闭良好的环境中可以积热和增温，促使岩石达到软化、流动以至重熔。这种摩擦热能就是由构造动能或机械能转化而来的（王学孟等，1982）。

动力成岩成矿的研究应该具有自己的研究方法和实验手段，这是长期奋斗的目标之

### 四、研究内容及研究方法

#### 1. 构造动力地球化学

构造动力地球化学就是从成岩成矿的建造和改造两个方面来确定构造动力和地球化学作用的同步性规律<sup>[4]</sup>。

起先，我们对岩石形变中岩石矿物相变进行探讨，认为岩石发生形变，就可能产生岩石矿物的部分相变，可导致其物质组分集散和运移，曾称为岩石形变中同步地球化学作用<sup>[5]</sup>（Synchronous geochemical process in rock deformation），主要指先存的岩石和岩体在形变时发生组分再调整（重结晶等）引起的岩石矿物相变，实际上是在构造引起的压碎—研磨—流动—构造重熔过程中发生的一系列地球化学作用。后来，在研究沙溪斑岩铜矿区构造应力场（帚状构造）地球化学场（有人称作物质场<sup>[5]</sup>）关系时又取得了很有意义的成果<sup>[5]</sup>，发现岩浆结晶作用受到应力场的控制，取得了应力梯度下元素迁移和富集的规律。其结论表明：元素在应力梯度下发生了有规律的调整和组合，在成岩过程中在应力强区富集重元素，在应力弱区富集轻元素；成矿过程中从应力强区到弱区金属元素依次为 Au→Cu、Mo→Pb、Zn。在应力梯度一定时，元素调整的规律主要取决于元素的物理性质和化学性质（如比重大小、半径大小、原子量、电离度、电负性等），这部分研究可称之为岩浆结晶时动力地球化学作用（tectono-geochemical process in magma crystallization）。上述两部分组成构造动力地球化学的重要内容。应力梯度下元素迁移和富集规律是构造动力地球化学的核心。

目前，我们的一些研究结果表明（图1—4）：元素迁移和富集方向与应力作用方向基

本一致； 同在一个应力作用方式下，不同的构造部位，元素的集散方向和规律有所不同，但总体的集散方式与应力场是基本协调的，从而表现出构造应力场与地球化学场（或物质场）的统一关系。

K. H. 布罗迪 (K. H. Brodie, 1980)<sup>(6)</sup>研究意大利北部 Finero 超镁铁岩体内剪切带中岩石化学变化结果是：在剪切带内与围岩相比， $H_2O$ ,  $K_2O$ ,  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , Rb 和 Ba 增加，而  $MgO$ , Ni, Cr, TFe 和  $SiO_2$  减少。这是成岩后韧性改造作用下的动力地球化学特征，与我们沙溪成岩过程（建造型）中的动力地球化学特征不同，小半径的重元素常被带出高压带。孙岩 (1983)<sup>(7)</sup>运用耗散结构 (dissipative structure) 理论解释元素在断裂带由内向外的顺序是：Si、Fe、Mg、Mn、Al、Ca、Na、K。基本上是岩石脆性破裂（变形）中的

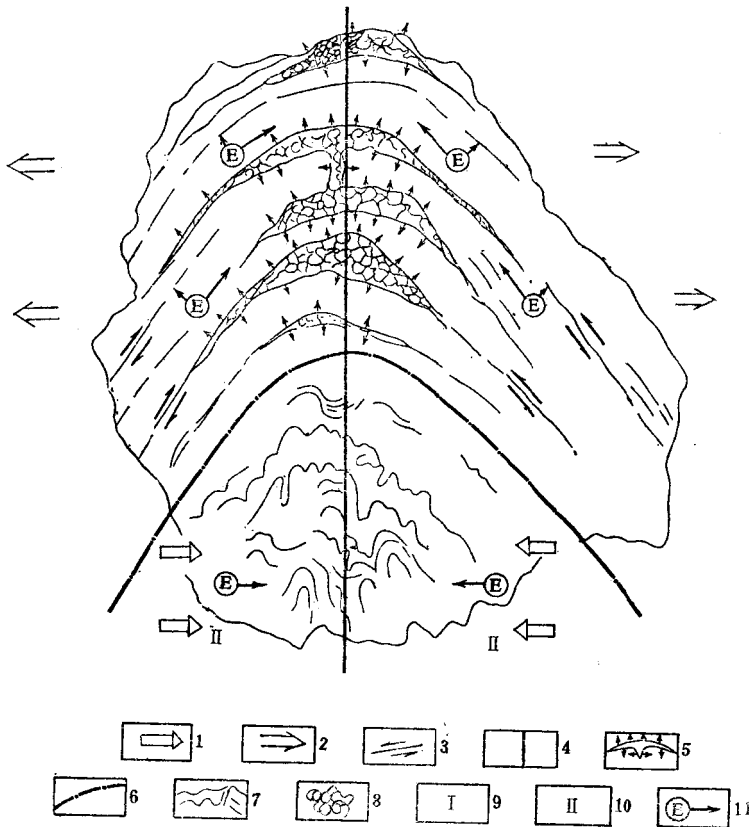


图 1 褶皱中物质重新调整方式

(据刘曼俐的薄片照相分析)

1—挤压方向；2—伸长方向；3—层面滑动方向；4—褶皱轴面；5—虚脱及纵张裂隙；6—中和面；7—挤压部位的柔皱；8—虚脱及伸张部位的充填矿物；9—拉伸区、层面上及张裂面中成岩成矿区；10—压缩区、变质及花岗岩化或混合岩化作用区；11—元素或流动物质移动方向

Fig. 1 Manner of matter readjustment in fold

(Analyzed from slice provided by Liu Manli)

1—Direction of compression; 2—Direction of extension; 3—Direction of bedding slip; 4—Fold axis; 5—Decollement and longitudinal tensile fracture; 6—Neutral plane; 7—Compressive area, crumple; 8—Fissure filling with minerals; 9—Area of extension, petrogenic and metallogenetic province on bedding plane or in fissures; 10—Compressive area, area of metamorphism or granitization or migmatitization; 11—Direction of sifting elements or of flow matter

动力地球化学特征。张治洮 (1979) 就提出类似问题, 近年他又讨论了断裂带垂直动力地球化学问题, 认为在浅部断裂带内 Si 相对富集, 而 Na 明显带出, K 带入不明显; 在中深部断裂带构造岩的元素变化微弱, Na 略有增高; 深部构造岩, 由于流变而使化学变化强烈, Si、K、Na 成为活动组分带出。

王功恪等 (1979) ② (17) 在构造体系, 构造应力场理论下提出地球化学场, 地球化学位和地球化学体系概念, 认为地球作为统一的动力化学系统, 必须建立以构造体系为核心, 联系并融合大地构造、岩浆活动、变质作用和矿床形成于一体的构造——地球化学体系, 并从多方面作了阐述。

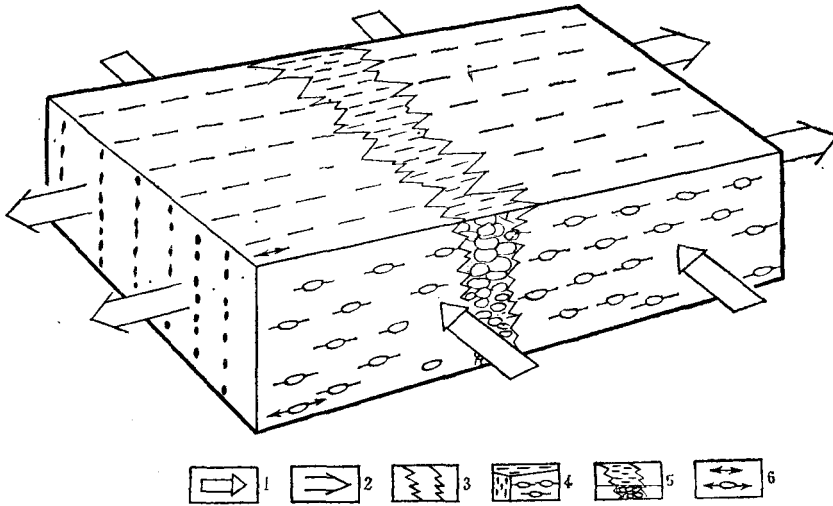


图 2 流动结晶物质在张裂面内集中方式

(据一块手标本分析)

1—挤压方向; 2—拉伸方向; 3—横张裂隙; 4—不同切面上的流动分异结晶矿物; 5—流动分异结晶矿物的最大集中部位; 6—相对流动方向

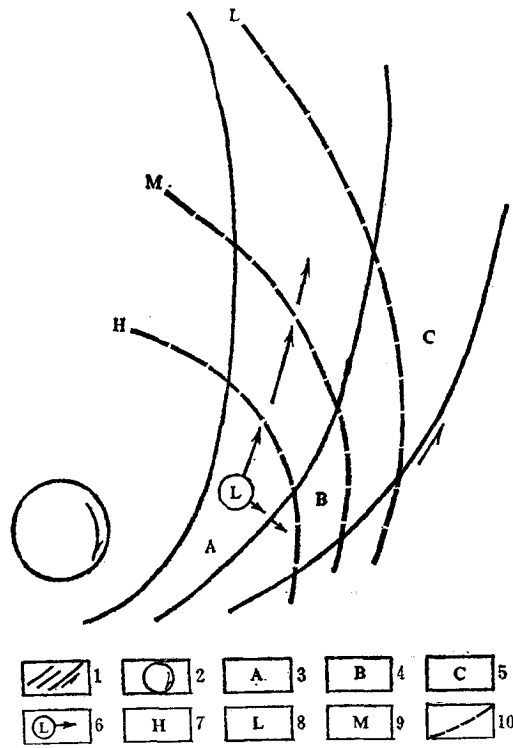
Fig. 2 Manner of concentration of flow-crystalline substance in tensile fracture  
(Analyzed from a hand specimen)

1—Direction of compression; 2—Direction of extension; 3—Transverse tension fissure; 4—Crystalline minerals of flow differentiation on different cross-sections; 5—Position of maximum concentration of flow differentiation crystalline minerals; 6—Relative flow direction.

构造作用下同步地球化学作用已越来越引起人们的广泛重视。1982年12月, 海南岛“第一届全国小型构造与矿田构造学术讨论会”和1983年11月长沙“全国构造地球化学座谈讨论会”反映了这方面我国研究现状。涂光炽、陈国达、张文佑等都有精辟的阐述。涂光炽认为: 构造是地球化学过程的驱动力, 它使一些地质作用能够开始, 能够完成; 构造作用在地球各个部分的化学演化中起了很重要的作用。陈国达认为: 构造地球化学理论可以揭示有用物质组份在各种构造环境下的赋存规律, 能有效地指导找矿勘探, 开采和进行成矿预测。张文佑等认为: 构造不连续面和岩性不连续面是应力集中和释放的部位, 也

① 全国构造地球化学会议资料, 1983年。

② 第二届全国构造会议资料, 1979年。



(据董树文图分析)

1—帚状构造旋迴面或旋扭带及外旋方向；2—砥柱及内旋方向；3—应力张区（应力梯度），4—应力中区（应力梯度），5—应力弱区（应力梯度）；6—相对轻元素移动方向；7—相对重元素组合含量；8—相对轻元素组合含量；9—中间元素组合含量；10—特征值最高等值线

Fig. 3 Manner of matter adjustment within magma in vortex structure  
(Analyzed after Dong Shuwen's diagram)

1—Vertical surfaces in brush structure and outer rotational direction; 2—Nuclear column and inner rotational direction; 3—Strong stress area; 4—Moderate stress area; 5—Weak stress area; 6—Shifting direction of relative light elements; 7—Content-constitution of heavy elements; 8—Content-concentration of light elements; 9—Content-constitution of intermediate weight elements; 10—Maximum characteristic value line.

是物理化学性质变化的明显梯度面，这里是成矿元素沉淀的有利场所，成矿元素可以络合物、螯合物或真溶液的形式向压力和温度降低的方向远距离迁移。

## 2. 构造应力对矿物物理、化学性质的影响

岩石变形与岩石矿物相变的研究是建立在应力对矿物物理和矿物化学作用的基础上的。在这方面，应特别注意应力矿物的形成机理和环境条件以及实验模拟的研究，探讨应力作用下矿物沉淀、结晶、堆积和组合规律，从矿物转变的特点去研究矿物对应力的物理稳定性和化学稳定性，并且要与显微构造和实验岩石学结合起来，逐步建立动力岩石矿物发生史的概念，把矿物形成的整个过程与应力作用方式和大小相结合、相对应，促进应力矿物研究的发展。

矿物在应力作用下首先表现出体积的收缩和晶格的位错。体积的缩小使组分粒子更紧密地堆积和排列。调整后矿物出现致密结构，原子和离子的键长缩短和相互电子云最大限

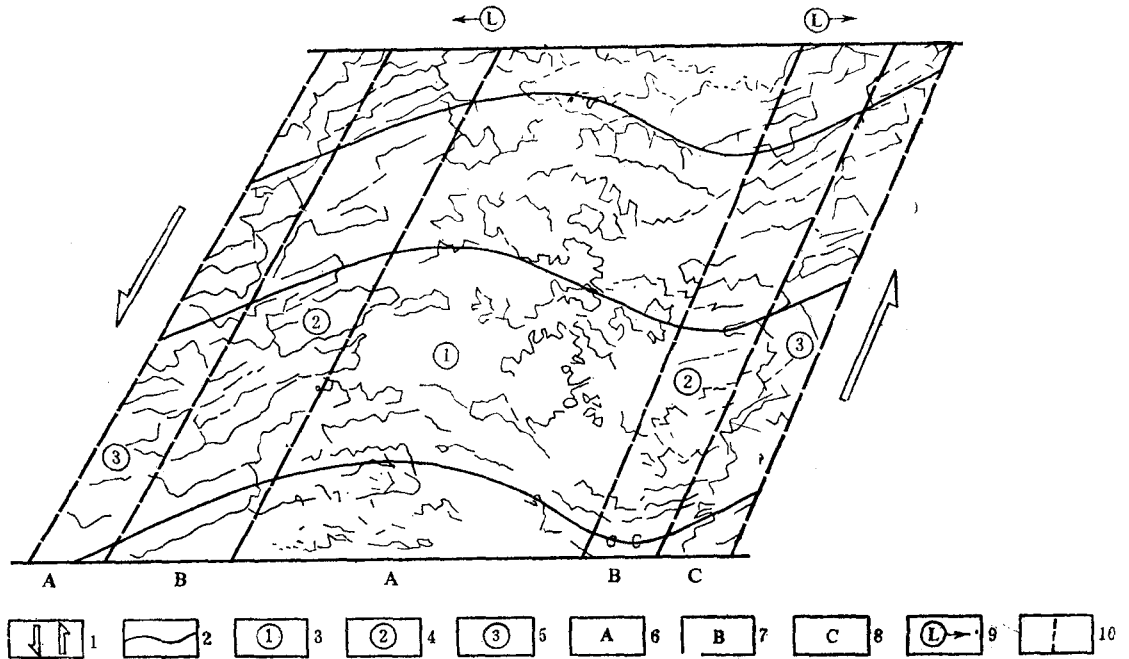


图 4 张扭性破裂面内矿物动力结晶分异方式

(据凌小惠薄片照相分析)

1—扭动方向；2—反“S”形构造；3—扭动构造中扭压应力张区；4—扭动构造中扭压应力稍弱区；5—扭动构造中扭压应力弱区；6—无定向粒状矿物混合A结晶区；7—定向板状单一矿物B结晶区；8—定向板状单一矿物C结晶区；9—相对轻元素移动方向；10—动力结晶分异界限

Fig. 4 Manner of tectono-crystal differentiation of minerals in tenso-shear fissure

(Analyzed from a slice provided Lin Xiaohui)

1—Direction of shear; 2—Reverse S-shaped structure; 3—Area of strong shearing compressive stress in tenso-shear structure; 4—Area of moderate shearing compressive stress; 5—Area of weak shearing compressive stress; 6—Belt of direction less granular minerals with mixed crystallization; 7—Belt of directional tabular minerals containing light element characteristic value; 8—Belt of directional tabular minerals containing more light element characteristic value; 9—Shifting direction of light elements; 10—Boundary line of tectono-crystallization differentiation.

度的重叠，这就使矿物晶体的内能强烈地增加而处于高能状态；矿物不仅具有明显的变形和恢复能而且也具有较高的化学能，可能促使一些在其它环境中不能实现的化学作用的发生。

矿物变形的物理变化表现有光轴变化（光性异常），密度变化，导电性、放光性和磁性变化，即综合体现出矿物的力学性质和强度等物性的改变。

O. И. 斯连扎克<sup>(8)</sup>(1981) 在研究岩石圈构造体系时提及：在旋卷构造挤压区及下伏的变质带中富集离子和原子半径较小的元素，形成晶体化学上的致密结构；而在较小挤压区和上覆变质岩中富集有较大离子——原子半径的元素和密度较小的封闭体矿物。

黄万夫(1984) ①提出显微构造化学的概念，企图从构造变形的物理和化学过程两个方面的结合来揭示显微构造的形成机理。

① 1984年，第二届全国显微构造学术会议。

矿物变形中的物理和化学变化现象在王嘉荫教授的《应力矿物概论》中已有详尽地论述，这是至今仍作为借鉴的兰本。

### 3. 岩石的形变与相变

沉积岩、岩浆岩、变质岩在某种程度上是可以转化的，就其转化成因而言构造应力无疑是一个重要因素。岩石在变形中因粒化、软化、玻化、重结晶甚至重熔等作用而留下构造应力调整的岩石相变遗迹。

都城秋穗（1972）的变质相系和变质带就是岩石在变形变质中的相转变系列，其中高压低温、低压高温双变质带的构造模式是一个创举，使板块俯冲带的概念助以岩石学的有力支持而渐趋完善。双变质带模式确切地把岩石相变与构造动力环境牢固地联系在宏观的地质客体之上。我国华南沿海的动力变质带也是一例（南京大学，1981）。南岭和华南地区的花岗岩已有资料证实有些是构造重熔成因，它们的形成与断裂关系极为密切，其中一部分就直接由断裂形成。1974年澳大利亚学者怀特（White）和查佩尔（Chappell）对不同成因的花岗岩予以鉴别，划分出S型和I型两大成因类型。构造重熔的花岗岩属于S型 徐克勤教授称之为改造性花岗岩（1982）。

董法宪、李秀珍<sup>①</sup>报导河南碾盘山基性—超基性岩受构造应力影响，岩石酸度增高的变异特征；大别山古推复构造冲断面上的镁铁质—超镁铁质构造岩块的周边发生退化变质圈，其中辉石、角闪石转变为黑云母或蛭石，镁铁质组份被压滤也使岩石酸度增高<sup>[9]</sup>。张治洮（1981）在新疆磁海铁矿研究中指出，磁海矿田内杂岩体的不同岩相是由于旋卷构造的动力分异造成的，其中心相偏酸性，外圈偏基性。

岩石在剪应力作用下塑性变形并伴有岩石的相变，这是韧性剪切带和深层次变形带的一个重要特征。但是岩石的韧性变形决非仅限于在深部环境中，在浅部长期变形岩石中也不乏其例。

岩石变形条件除温度、压力外还有矿物的组合，氧化物比值，变形时间和空间范围，区域热场和矿田热场以及固态位移等等，综合这些因素的同时要注意岩石相变和成矿的关系。新疆某铬铁矿体就是在超基性岩固态侵位过程中形成的<sup>[2]</sup>。宁奇生等（1979）<sup>②</sup>提出康滇构造带的多旋迴成矿，认为从早元古代细碧角斑岩建造的铁、铜矿（大红山式），到晚元古代碎屑—碳酸盐型铁、铜矿（鲁奎山式、东川式），到早古生代碎屑建造的碧鸡山式沉积铁矿，再到晚古生代岩浆性钒钛磁铁矿（攀枝花式）和晚二叠世玄武岩中道坪子式铁、铜矿，最后到侏罗—白垩纪陆相含铜砂岩建造，是康滇构造带长期活动，岩相不断转化，Fe、Cu元素继承成矿的一个典型地带。

在变形与变质研究中，探讨机械能转化为热能、化学能、电磁能的能量转换规律无疑是个基础问题，也是长期努力的方向。在地质工作中，寻找能量转化的指示标志是可能的，变质岩和动力变质带就提供了天然的实验场。随着前震旦纪变质基底研究的深入，传统的变质岩和变质机制的概念受到冲击，属形变范畴的变质作用和变质产物逐渐在扩大，而传统的区域变质作用（静压变质）正在遭受越来越多的事实的否定，可见构造动力的能量多

① 1982年，内部资料。

② 1979年，第二届全国构造地质会议资料。

么巨大，变质岩构造解析（马杏垣）<sup>〔10〕</sup>和古构造体系研究（崔盛芹等）<sup>〔11〕</sup>已 成为解决前震旦纪变质岩和地壳演化规律的学术前沿。

动力变形与成矿作用的关系也正从不同的侧面研究着。动力变质使煤牌号改变已为多处煤田勘探的事实所证实。缪奋（1981）<sup>〔12〕</sup>指出：含煤岩系在挤压或扭压作用下，通过热的析出、传导和积聚，可形成与特定构造应力场或构造带相协调，保持一定的温度和组成的区域性地热场或地热异常带；这种地热异常往往直接控制着区域性煤变质带的展布。

山东某金矿的混合岩化作用使金元素富集的过程是与构造作用密切相关的（王林祥等1980）；河北某金矿就是在构造应力作用下富集在强烈的构造片理带内（杨连生，孙宝珊等，1984）。江西赣南70矿（花岗岩离子吸附稀土矿床）中稀土元素是由于构造应力作用将原来呈类质同像或微包体的稀土矿分解，呈离子状态出现，原岩中的稀土单矿物也大部分成离子状态，在后期的风化壳中富集成矿（韩久竹，1982）。北京地区石槽铜矿由构造作用形成的大小不等的透镜体周边以及构造带内产出动力变砂卡岩，对铜矿的富集起了重要作用（吕古贤，1982）。

#### 4. 岩类流动与成岩成矿

“岩类流动”是岩石流变的宏观现象，是区域构造和区域成岩成矿中值得重视的问题。岩类流动的规律是建立在岩石流变性规律之上的；岩石流变性是构造地质、构造变形、构造变质和岩类流动的基础。在三轴高温高压条件下的岩石流变实验，还要从地质时间概念出发考虑其流变规律。

岩类流变是地质体长期受力作用的结果，在地壳范围内也不乏存在，只是所造成的地质景观更为繁杂而不易辨识而已，或者因为其规模有时巨大，身在其中难得而知。

作者（1974，1979）在吉林、新疆及云南曾先后多次发现岩类流动，处于深部或下部的岩层和岩体碎块在大规模隆起的侧压作用下，向上侵位或篡层于上覆的岩体或岩层之中而构成“远程异体”。这些大小不等的固体岩砾向上流注，并在流动中变形，称为固态位移流动变质<sup>〔2〕</sup>。作者研究生李良辰（1982）研究云南昆阳群“因民组”底辟构造，候威（1982）研究海南石碌铁矿富矿成因中，都论证了岩类流动现象，并探讨其成岩成矿作用。吴学益等（1979）对石碌铁矿在褶皱过程中铁矿体流变特征，进行了高压模拟，取得良好的效果。

岩类流动发生在变质条件下是无可非议的，深层次变形环境下岩类流动是岩石变形的的主要方式。所谓固流运动、碎屑流、韧性剪切带以及构造滑动等，都是构造作用与物质流动相联系而提出的概念。韧性剪切带是指地壳深部普遍存在的狭窄的面状递进演化的高应变带，岩石具强烈的塑性流变及剪切应变，发育以岩石高度流动条件下形成的糜棱岩为特点。韧性剪切带大到几千公里——大陆板块聚合带及转换断层带；小到在薄片可见。剪切带中物质流动可产生岩相变化（岩性层）；更有甚者，在剪切带主界面附近可出现岩石熔融而产生岩浆。L. Fleitout（1980）实验证实，如剪切带x方向（平行运移方向）上存在的剪切速度差造成的最小位移若达30km，则最少需要30万年岩石就可熔融，而成层介质更易于软化，软化岩石的熔融比强性岩石更易实现。大型剪切带中可产生极大的剪切热，以致造成局部岩石圈粘度值可与软流圈相当（ $10^{24}\text{pa}\cdot\text{s}$ ）（据许志琴，1984）。

#### 5. 元素的应力效应

构造作用是否能影响元素的结构，这是今后值得探索的课题，在“动力成岩成矿”中显然占有重要的地位。元素的一些基本参数并非是一个永恒的值，现代化学已证实它们是可变的。可以想象，引起元素基本参数变化，即引起元素内部结构的变化因素是极为复杂而且是有严格条件的。如：元素的原子半径和离子半径就是一个区间的变量，元素在进入晶格和参加反应时，则以有效成键半径完成的。温元凯等（1977）<sup>〔13〕</sup>认为元素有效半径（结晶成键半径）与其结构和环境有关，所以同一元素在不同地质条件下常常以不同的半径进入矿物和反应物而表现出某些性质上的差异，如 $\text{Fe}^{+3}$ （0.67 Å）和 $\text{Fe}^{+2}$ （0.83 Å）就分别集中在不同的构造环境中；前者多出现在强氧化的裂隙开放环境，后者则在强还原环境中富集，各自形成不同的含铁硅酸盐和铁矿物。

苏联一位科学家的实验说明，在压力条件下，可导致门氏周期系和元素周期的消失。他的实验证明外圈电子可被压进内层未充满的轨道上，出现元素的异构体（据王功恪，1982）。

放射性元素辐射作用可能对岩石变形产生影响。在秦岭曾见到某地巨厚的石英岩发生强烈揉皱，重结晶石英岩颜色变暗。巨厚的硬脆的石英岩所以能产生如此褶曲，可能与高放射性背景有关。放射性衰变，衰变周期与构造作用是否有关也是值得考虑的。

某些元素的同位素的分布也有资料证明与构造应力存在着某种直接或间接的联系。沙溪斑岩铜矿构造应力强区的 $\delta^{34}\text{S}\text{‰}$ 为2—3，而应力弱区则为1—<1（董树文，1982）<sup>〔5〕</sup>。

诸如此类问题，难度较大，将作专门的讨论。

## 6. 动力成岩成矿实验和模拟研究

动力成岩成矿理论的完善，一方面取决于地质事实的观察和归纳（反演）；另一方面取决于现代化实验手段加以证实甚至直接发现规律。现阶段人们着重研究的是在定向压力条件下，岩石脆性、塑性和流变性特征及其转化规律；矿物结晶习性，矿物生长过程中各个阶段的物理性质（包括光学性质）对应力的指示标志；矿物中元素集散规律，岩石形变与相变的关系；研磨作用下变形和组份调整的关系，以及变质相系与压力环境的对应关系等等一系列成套的高温高压、低温高压，低温中压和低温低压实验。

国外的岩石高温高压实验主要用于岩石学、矿床学领域，定向压力也只是用于工程、地震，土建领域，而用于动力成岩成矿方面则很少。L. Fleitout和C. Froidevaux（1980）所做的剪切带变形和熔融实验及其计算是很可贵的；国内在现有条件下部分作业已开展，贵阳地化所吴学益等从构造地球化学与岩石变形角度做了一些实验，获得一批资料，初步的成果（1983）有：随着温度和围压增高，轴向压力相应加大时，岩石、矿物常表现为弹性及塑性变形；当实验时间加长时，矿物光性等物性发生变化，反射率改变，波状消光明显，某些矿物光轴发生变化，受压后矿物的发光强度普遍增高，有些矿物重结晶；在高温，高围压，高轴压的三轴高温高压下，某些矿物发生重熔，分异及相变，乃至成份变化；根据电子探针及穆氏鲍尔谱对受力作用的矿物分析，其中某些元素（如Fe）产生明显的迁移和富集。中科院地质所熊大和与我们合作模拟了海南铁矿“二透岩”变形与铁铜矿成矿的高温高压实验，证实了海南富铁矿富集过程与构造应力之间的关系。

## 7. 动力成岩成矿的编图工作

开展以构造岩相带划分和构造动力地球化学特征为标志的编图工作，是动力成岩成矿