

# 断裂区域变质作用与糜棱岩化

于津海 王赐银 周新民

(南京大学地球科学系)

断裂活动将引起区域变质作用、混合岩化作用和糜棱岩化，它们之间密切相关，统称断裂变质作用。区域变质作用、混合岩化和糜棱岩化还可以引起源区成矿物质活化和迁移。断裂带是成矿的有利空间，所以，断裂变质带是找矿的方向。

**关键词：**断裂区域变质；糜棱岩化；动力成矿

华南地区断裂构造极为发育。对断裂构造的演化规律，以及与火山作用和深成岩浆活动等诸方面的研究，前人已取得了重大的成果<sup>[1,2]</sup>。但对断裂活动所引起的变质作用和混合岩化作用等却未曾有过详细而系统的论述。1963年，莫柱荪在研究两广地区中生代变质作用的发生和发展时，首次提出用“断裂变质作用”的概念来认识某些变质岩问题<sup>①</sup>。但此后十几年，这个概念一直未引起人们足够的重视。1982年，南京大学俞鸿年、马瑞士、王赐银等在研究福建东南沿海断裂活动和变质作用时，重新提出了断裂变质作用，并进一步认为，断裂活动可以引起区域变质作用（即动热变质作用）。为与地槽褶皱造山阶段发生的区域变质作用相区别，而定义了“断裂区域变质作用”<sup>[3]</sup>。1985年，王德滋、王赐银等更深入地研究了断裂区域变质作用与混合岩化、花岗岩化的关系后指出，混合岩化和花岗岩化作用与断裂区域变质作用密切相关，均受深大断裂控制。混合岩和混合花岗岩是在中高温变质作用基础上发展起来的。在空间上，变质岩、混合岩和混合花岗岩构成了“三位一体”的岩石共生组合<sup>[4]</sup>。

作者根据近十多年来对晋、鲁、浙、皖、赣、闽和海南岛等地的断裂活动以及它们所引起的各种变质作用的研究和对大量资

料的分析，发现断裂活动引起的变质作用，除了区域变质作用外，还广泛发育动力变质作用，即发生碎裂岩化和糜棱岩化，这些动力变质作用与区域变质作用密切相关，而且与成矿作用具重要的内在联系。

## 断裂区域变质作用

断裂区域变质作用就是由断裂活动引起断裂带两侧温压条件的改变，从而发生区域变质作用（动热变质作用）。它们具有如下特征：

1. 断裂变质的区域往往呈带状分布，不同于褶皱造山阶段形成的区域性分布的变质岩。断裂带规模越大，断裂区域变质作用就越强，范围也越广。

2. 断裂活动强弱控制变质的温压条件，由于构造环境不同，断裂带上下两盘（在平面上表现为断裂带的两侧）的温压条件也不同，因此两侧变质作用的类型及强度存在差异。下盘多为中—低温的绿片岩相或以蓝晶石等为特征矿物的中压环境变质作用，上盘则表现为红柱石或硅线石等为特征的中—高温变质作用。这是因为构造挤压的机械能所转变的热能以及从断裂深部上侵的热流，都优先进入断裂带的上盘，使上盘温

<sup>①</sup>莫柱荪，试论两广地区中生代断裂变质带，1963年。

度明显高于下盘，但下盘所受压力一般高于上盘。随着温度和热流体的升高，可使上盘在角闪岩相变质作用的基础上发生交代、改造，甚至重熔，形成混合岩和混合花岗岩，构成“三位一体”的岩石共生组合，而断裂带下盘则很少发生混合岩化。

3. 断裂区域变质作用形成的变质杂岩体具有一定的分带性，一般为平行断裂带的带状，而不同于褶皱区混合岩—花岗岩穹隆的同心圆状。根据若干地区断裂区域变质岩的分带特征，笔者总结出一般分带特征为：绿片岩相变质岩→角闪岩相变质岩→混合岩→混合花岗岩。但有些地区可缺失其中某一相带或几个相带，而且从混合花岗岩的中心向两侧，一般表现为不对称分带。如胶东的牟平—青岛断裂变质带中的昆崙山地区，其靠近断裂的西北侧分带完整，而杂岩体的东南侧发育不全。由于断裂带上下盘的变质环境迥异，因此两侧的分带是不连续的。此外，断裂带的产状，构造活动性质，以及次一级构造裂隙的发育程度，还将影响混合杂岩体中心与断裂带的距离。需要指出的是，并非所有断裂区域变质岩都具分带性。在断裂构造带不同地段，断裂活动的强弱、产状以及性质可以发生改变，而且不同岩性的原岩对变质条件的反应不一，造成变质作用、混合岩化作用强弱的分布不规则，往往显示出混合花岗岩的多中心现象。

### 糜棱岩化

糜棱岩化是一种韧性变形作用，它往往发育于地壳较深部位或断裂较深部位，也可形成于相应条件的其他部位。从目前研究结果来看，糜棱岩大多发育于韧性剪切带中，显微镜下表现出各种奇特的韧性变形特征。

对浙江瓊山、福建东南沿海、广东河台、海南岛抱板及山东昆崙山等地区的五条横切断裂带剖面的系统观察和显微构造研究，以及对有关资料的分析，表明从断裂带的内带到外带，糜棱岩化同样显示出明

显的分带性。断裂中心是应力最集中的地带，也是糜棱岩化最强烈的地带，原岩几乎完全变形重结晶，定向明显，丝带构造和动态重结晶发育，云母和长石也强烈变形。向外是中等强度糜棱岩，石英强烈变形，尾迹构造，核—幔双层结构发育，云母波状弯曲和（或）发生膝折。但长石变形不强，具有变形双晶，或表现为脆性破裂。外带变形进一步减弱，主要形成弱糜棱岩（初糜棱岩），表现为石英波状消光，压扁拉长，亚颗粒和重结晶新生颗粒只发育于母晶的边界或晶内的剪切应力方向上，长石一般不变形。最后过渡到正常的区域变质岩。

通过对这几条剖面的对比研究，笔者还发现不同断裂带中糜棱岩的显微构造特征存在着一定的差异，这些差异与外围的区域变质作用密切相关。当外围的断裂区域变质岩达角闪岩相时，对应断裂带中糜棱岩的石英重结晶颗粒一般较大，并有静态重结晶的石英颗粒，发育多晶石英条带（石英分凝条带），这些多晶石英条带中的颗粒大小不匀，都具波状消光，晶粒边界大多呈锯齿状，如戈枕断裂和红河断裂带中的糜棱岩；而当糜棱岩带附近的断裂区域变质岩只达绿片岩相时，对应的糜棱岩往往发育丝带状（ribbon）石英条带，而且重结晶的颗粒一般较细，如河台金矿附近的糜棱岩和浙江绍兴—诸暨断裂带中的糜棱岩。实验研究<sup>[5]</sup>和对天然变形石英糜棱岩形成条件的估计<sup>[6]</sup>，表明石英的单晶条带（丝带状石英）是低温下石英颗粒强烈塑性变形造成的，而多晶条带形成于较高的温压条件，并经同构造（动态）重结晶或后构造（静态）重结晶形成。由此可见，断裂带中糜棱岩与区域变质岩是密切相关的，即同期产生的。在迄今为止的报道中，典型的糜棱岩也都产于区域变质岩中。因此，笔者认为断裂区域变质作用与糜棱岩化是有机的一体，是整个断裂活动时期变质作用的不同表现，我们把它们统称为“断裂

变质作用”。

### 糜棱岩化与混合岩

断裂带规模的大小决定着变质作用的强弱, 在一些小规模断裂带中, 一般只发育动力变质作用, 而在大断裂带和俯冲带或碰撞带附近, 区域变质作用和糜棱岩化都极为发育, 并常伴有大面积混合岩分布。前已述及, 混合岩是在断裂区域变质过程中, 在角闪岩相变质作用的基础上发展起来的。但是, 野外地质现象和室内显微构造的研究表明, 许多过去被认为是区域变质作用形成的混合岩, 表现出强烈的动力变质特征。一些被称为眼球状或条纹状的混合岩实质上是些糜棱岩。那些“眼球”就是糜棱岩中残留的碎斑, 后者是些较难变形的矿物, 如钾长石和斜长石等, 糜棱岩中的钾长石主要是微斜长石, 这可能与微斜长石的三斜对称的晶体结构更适应于变形有关。而且这些微斜长石格子双晶的对角线方向与应力的方向基本一致, 重结晶的微斜长石新生颗粒也具上述特征。由此推测在应力作用下, 微斜长石的内部结构也具优选方位。而条纹状、条带状混合岩中的那些脉体, 是糜棱岩化过程中分凝作用 (Segregation) 形成的条纹构造中的浅色部分, 实际上是石英分凝条带 (Segregation banding), 条带中的石英颗粒大小不均, 都具波状消光, 接触边界为不规则或锯齿状。分凝现象是糜棱岩中变形的高级阶段 (Bull, 1973)。因此, 从某种意义上可以认为这些“混合岩”是糜棱岩化作用形成的。

除了条带状、眼球状混合岩, 在一些混合片麻岩和混合花岗岩中, 往往也能见到许多变形特征, 如石英的波状消光、变形纹、亚颗粒、缝合线构造, 斜长石的双晶扭曲、错动和变形双晶, 以及云母波状弯曲、扭曲等现象。这些特征与糜棱岩中的变形特征完全一致, 都是韧性变形的结果。但是无论是条带状、眼球状混合岩, 还是混合片麻岩和

混合花岗岩, 它们的变形强度都不如典型的糜棱岩, 颗粒明显大于糜棱岩。笔者认为这不仅与两者所受的应力大小有关, 而且与混合岩形成时的温压条件高于糜棱岩有关。温压条件相对较高对变形矿物的重结晶和恢复都是很有利的, 这从麦克拉恩<sup>[7]</sup>的石英恢复速率表达式可以看出:

$$r = \bar{C} A \exp(-E/RT)$$

这里,  $A$ ——常数,  $E$ ——位错攀移活化能,  $\bar{C} = H/Si$ 。上式表明, 温度增加将使恢复速率急剧增大, 这是混合岩中变形现象不如糜棱岩的重要原因之一。

根据如下特征, 笔者认为许多沿断裂带、俯冲带或碰撞带分布的混合岩, 尽管有一部分是动力变质过程中形成的, 但大部分是由断裂区域变质作用过程中的混合岩化作用形成。

1. 有大面积混合岩分布的断裂带也发育区域变质作用, 而一些规模不大的逆辗断层, 尽管糜棱岩化强烈, 但无混合岩发育。

2. 混合岩既不是发育于断裂中心, 也非断裂两侧对称出现, 而主要发育在断裂带的上盘, 这是断裂区域变质热能最集中地带。

3. 在混合花岗岩中虽有变形现象, 但岩体中的包体一般不具变形特征, 表明混合岩已呈半塑性状态, 这是温压的作用, 而非单一应力作用的结果。

4. 混合岩化中心与糜棱岩化中心不一致, 说明糜棱岩化不是混合岩化的决定因素。而且如此均匀的混合花岗岩的形成是由于动力作用, 而没有热和流体的作用是难以想象的。

断裂活动往往是多期多阶段地反复运动, 每个构造旋回一般具有先挤压后拉张的构造活动特点<sup>[3]</sup>。断裂带上盘“岛弧”的位置是构造裂隙发育地带, 来自深部的热能使之发生可达角闪岩相的动热变质作用, 随之而来的化学能又在此基础上叠加改造, 发

生交代作用,甚至重熔,在热流集中地带形成混合岩和混合花岗岩,而在碰撞带或俯冲带中主要发生动力变形作用,形成各种糜棱岩和(或)动力分凝作用形成的条带状、眼球状的“混合岩”。在局部应力集中地带可以发生压熔。在整个断裂活动期间,上述两种变质作用相互叠加、改造和影响,构成了断裂变质作用的全貌。

#### 断裂变质带及成矿

断裂变质作用可以发生于整个地壳历史时期,尤其是断裂活动强烈的中生代。断裂变质作用可以延续很长时间,有的甚至重迭几期。在中国东部和华南地区可能存在如下主要的断裂变质带:辽东的金县断裂变质带,胶东牟平—青岛断裂变质带,温州断裂变质带,以及绍兴—诸暨、长乐—南澳、台湾中央山脉和海南岛戈枕等断裂变质带。在两广地区发育许多中生代的断裂变质带,如十万大山—钦州、四会—吴川、罗定—云浮、合浦—北流、阳江—广州、安流—宝安、莲花山脉,以及东江、琼南、云龙山—白云山等。这些断裂变质带大多呈北北东—北东向展布,它们的发生时间有早有晚,但大多发育于中生代。

断裂变质带形成过程中的断裂作用、变质作用和热液活动非常频繁,而且常是反复地复活多次,并可持续很长时间,这不仅给各种矿物质的活化、迁移等成矿作用提供了能量,而变质带中的裂隙和破碎带,既是成矿热液迁移的通道,同时为富集成矿提供了极为有利的空间。著名的胶东金矿田,各条矿带都赋存于断裂变质作用形成的混合岩边部的北东—北北东向的次一级破碎带中。金从矿

源层—胶东群变质岩系—活化转移,直到最后富集成矿都与断裂变质作用密切相关。又如广东的河台金矿,它位于四会—吴川断裂变质带附近,矿体赋存于混合岩和震旦系变质岩过渡地带的糜棱岩中。经初步研究,它是由多期多阶段的断裂变质作用富集成矿的,糜棱岩带是很好的控矿构造带。动力应变过程中的糜棱岩化也是一次重要的成矿作用。糜棱岩化是一个挤压剪切过程,一些不适应强应力区的矿物分解、迁移。而稳定于应力集中地带的矿物相对富集,因为自然金与石英在高温下具有相似的力学性质,所以,金矿常形成于矿源层附近的糜棱岩带中。在秦岭褶皱系中,从应力集中的狭窄部位向应力递减的开阔褶皱处,依次出现铁、铜、铅、汞等矿产(张治尧,1976);海南岛的石碌铁矿富铁的形成是构造应力下,硅质从含铁石英砂岩中压溶出来,扩散到白云岩中形成二透岩,而使铁质富集成矿(杨开庆等,1986)。由此可见断裂变质带的断裂活动不仅具有控矿作用,而且越来越多的事实证明它的应力还具有成矿作用。所以,断裂变质带是今后找矿的方向。

#### 参 考 文 献

- [ 1 ] 徐克勤等,《花岗岩地质和成矿关系》,江苏科学技术出版社,1983年。
- [ 2 ] 郭令智等,《国际交流地质学术论文集》,地质出版社,1979年。
- [ 3 ] 俞鸿年等,南京大学学报,1982,第2期。
- [ 4 ] 王德滋等,南京大学学报,1985,第3期。
- [ 5 ] Tullis, J. A. et al., Bull. Geol. Soc. Am., 1973, Vol. 84.
- [ 6 ] 安琳吉,地质论评,1987,第1期。
- [ 7 ] McLaren, A. C. et al., Phys. Status. Solidi. Allem., 1969, Vol. 33.

#### Faulting Regional Metamorphism and Mylonization

Yu Jinhai Wang Ciyin Zhou Xinmin

Fault Activities often give rise to regional metamorphism, migmatization and mylonization which, being closely related to each other and generally referred to as fault metamorphism, can also lead to the activation and migration of the ore-forming material of the source area. Fault zone, in general, is a favourable place for mineralization, while the faulting metamorphic belt will be also an important exploration guide.