

## 试论池江断裂带中 石英颗粒内水弱化作用

吴 湘 滨

(中南工业大学地质系)

以赣南池江断裂带内石英颗粒的变形现象为依据,分析了塑性变形过程中包裹体的形成和迁移过程。说明水弱化作用有利于石英的塑性变形,而石英颗粒的塑性变形也有利于水弱化作用,这一可逆过程可以表示为:  $\text{Si}(\text{OH})_4 \rightleftharpoons \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$



图 1 池江断裂带内石英颗粒的包裹体

岩矿工作

影响石英颗粒的塑性变形。

池江断裂带位于赣南,其北西盘有西华山—杨眉寺钨矿成矿区。断层构造岩的主要矿物是石英,  $\text{SiO}_2$  含量大部分在90%以上。石英颗粒的变形包括脆性变形和塑性变形,而石英颗粒内水弱化作用严重影响石英颗粒的塑性变形。

早在1965年,Griggs和Blacic首次把复合石英的“非正常弱化作用”(Anomalous weakness)作为影响石英颗粒塑性变形的一种机理进行解释<sup>[1]</sup>。随后,Griggs(1967)和Hobbs(1968)进一步讨论了水弱化作用对石英颗粒塑性变形的影响<sup>[2,3]</sup>。许多学者<sup>[4-7]</sup>通过实验研究发现,结构水的存在有利于石英的塑性变形,而包裹体的形成与水弱化作用和塑性变形有密切的关系。Ural(1983)也提出了富含水环境中的岩石,比干燥环境中岩石的性质弱得多<sup>[8]</sup>。因此,岩石中水的存在对岩石弱化作用可以归纳为以下几个方面:①孔隙水的充填,降低岩石的破碎强度;②颗粒边界中水的存在,对边界迁移起促进作用;③断裂带中水的存在,引起碎粒岩石的塑性流动;④水解。

本文着重讨论水解对池江断裂带中石英颗粒塑性变形的影响。

### 包裹体的类别和特征

池江断裂带中石英颗粒的包裹体可以分为原生包

裹体和次生包裹体两大类。Wilkins和Barks(1978)把次生包裹体又分为脆性变形包裹体和韧性变形包裹体<sup>[9]</sup>。次生包裹体的这两种形式,在池江断裂带中都是常见的。脆性变形包裹体是在愈合破裂面期间形成的,只分布于石英颗粒断裂位移空间被愈合的部位,比较容易识别。而韧性变形包裹体与矿物颗粒的水弱化作用、变形和恢复过程联系在一起。韧性变形包裹体专指在变形和恢复过程中产生的包裹体,而不应包括在变形和恢复作用以前形成的原生包裹体,在变形和恢复过程中,其大小和形态发生了彻底的变化。因此,这一类原生包裹体很难与韧性变形包裹体区分开,作者把这一类原生包裹体称为假韧性变形包裹体。与未受变形影响的原生包裹体相比,它有以下几个特征:①包裹体分布极不均匀,呈定向排列;②包裹体密度大;③包裹体的颈缩现象常见;④包裹体聚合、牵引拉长和连生(照片1、2)。

韧性变形包裹体和假韧性变形包裹体出现在塑性变形的石英颗粒范围内。在池江断裂带中,石英颗粒内的塑性变形主要表现为变形条带和亚晶。亚晶既可单独作为一种构造现象出现,也可以在变形条带中显现。在照片1中,变形条带呈放射状向中心收敛。变形条带由长的菱形亚晶组成(在照片2)。从照片1、2我们可以发现:①在同一视域内,石英颗粒中变形部分包裹体的含量,比未变形部分包裹体的含量大;②包

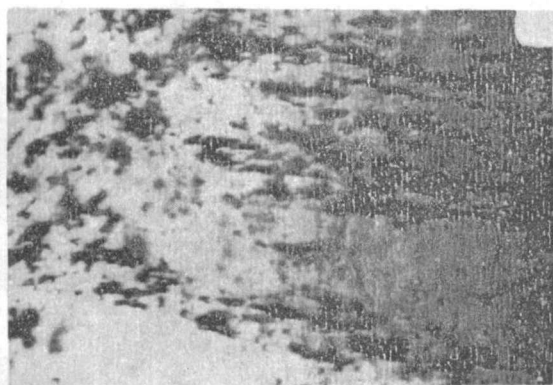
裹体主要分布于亚晶壁,而在亚晶范围内则变得十分“干净”。在照片3中,包裹体的定向排列、聚合、牵引拉长和连生现象极明显,并且包裹体的排列有两组方向。



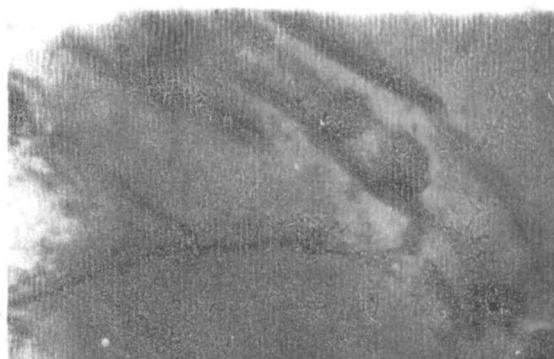
照片1 石英颗粒中的放射状变形条带  
正交偏光  $\times 80$  (樟斗)



照片2 亚晶、变形条带和包裹体的定向排列,是照片1的放大象 正交偏光  $\times 320$  (樟斗)



照片3 变形条带中显微包裹体的聚合、牵引拉长和连生现象 正交偏光  $\times 800$  (樟斗)



照片4 位错构造与显微包裹体。包裹体中水分子在电子束轰击下,加热沿位错向晶体内扩散TEM(樟斗)

### 水弱化机理

这些现象的产生,可以从水弱化作用和塑性变形的机理进行解释。变形条带是由长的菱形亚晶的不均匀分布和定向排列表现出来。在亚晶变形过程中,除了把原生包裹体“冲洗”到亚晶壁外,还会产生韧性变形包裹体。这种现象可以用水弱化的Frank-Griggs假说来解释<sup>[2]</sup>:邻近位错的Si—O—Si键由于水的迁移扩散,容易产生滑动, Si—O键不需要断开,因为位错运动是由HO<sup>-</sup>根的交替变化产生的。这说明水弱化有利于位错的产生和运动,亚晶是位错运动的表现形式之一。

在池江断裂带中,由于水成分的侵入,使Si—O—Si水解,水成分加入到晶格中去:



两组OH<sup>-</sup>根之间的键,比Si—O或Si—OH键要弱得多<sup>[2,4,5,10]</sup>。在临界温度以上,弱键裂开将有水分子浓缩形成。当水分子由位错圈闭时,晶格容易由位错滑移<sup>[2]</sup>或攀移<sup>[4]</sup>产生运动。这一反应如下<sup>[2]</sup>:



在1大气压下,加热到500℃以上时,反应从左向右进行,韧性变形包裹体产生。这种解释已被透射电子显微镜测试结果所证实。分析样品采自池江断裂带断层构造岩,结果见照片4。在照片4中,液相包裹体被位错圈闭,常常位于位错的旁侧或位错的端点,并且可以发现包裹体中水分子在电子束轰击下,加热沿位错向晶体内扩散。实质上,塑性变形也有利于水弱化作用的进行。位错在漂移过程中,包裹体增大,

水分子增多。当位错相互缠结产生明显的晶格塑性变形时(变形条带、亚晶等),在位错密度异常高的场所,韧性变形包裹体和假韧性变形包裹体会产生聚合、牵引拉长和连生等现象(照片3)。

大多数包裹体在重结晶作用以前,即恢复阶段就消失了<sup>[9]</sup>,也就是说,在亚晶形成时,大多数包裹体被位错“冲洗”到亚晶壁,到高角度边界形成和迁移为止,包裹体几乎完全进入到低角度边界。在高角度边界形成和迁移时,水能促进颗粒边界迁移。

在塑性变形过程中,韧性变形包裹体的产生受温度的严格控制。在1大气压下,当富含水的石英加热到500℃以上时,结构水被释放成包裹体,经“退火”处理,位错大部分消失,生成气液包裹体<sup>[10]</sup>。与此类似,在池江断裂带中,断层构造岩经“退火”过程,石英颗粒内的塑性变形构造大多数被消除,晶体颗粒内的包裹体由原生包裹体和次生包裹体两部分组成。尽管与次生包裹体(韧性变形包裹体)关系密切的变形构造消失了,但次生包裹体的存在也是早期变形存在的一个佐证。

另一方面,强烈的晶体内的塑性变形也有利于水弱化作用。上述反应式中的逆过程也可能发生<sup>[10]</sup>。水从包裹体沿位错渗入到晶体结构中,允许水弱化在变形范围内发生。在外力作用下,包裹体周围的应力场能导致位错的滑动或攀移,在位错运动过程中,水分子沿位错向晶格扩散,加入到晶格构造中形成水弱化结构。

## 结 论

综上所述,可以把石英颗粒内水弱化作用的特点

归纳如下:

1. 反应式 $\text{Si}(\text{OH})_4 \rightleftharpoons \text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ 是一可逆的化学反应过程。这种形式的水弱化作用有利于晶体颗粒的变形,塑性变形又能促进石英的水弱化。
2. 韧性变形包裹体的形成受温度控制。
3. 韧性变形包裹体的形成是由于结构水转变成分子水,水分子在位错中浓缩、圈闭形成包裹体。
4. 包裹体可以随位错漂移,产生聚合、牵引拉长和连生现象。

本文承蒙中南工业大学地质系何绍勋教授指导,并审阅和修改文稿,谨此致谢。

## 主要参考文献

- [1] Griggs, D. T. et al., Science, 1965, V. 147, P. 292~295
- [2] Griggs, D. T., Geophys. J. Roy. Astron. Soc., 1967, V. 14, P. 19~31
- [3] Hobbs, B. E., Tectonophysics, 1968, V. 6, P. 353~401
- [4] McLaren, A. C. et al., Aust. J. Phys., 1966, V. 19, P. 19~24
- [5] McLaren, A. C. et al., Phys. Stat. Sol., 1969, V. 33, P. 657~668
- [6] Carter, N. L. et al., J. Geol., 1964, V. 72
- [7] Christie, J. M. et al., Geology, 1974, V. 2, P. 405
- [8] Ural, J. L., Philos. Mag., 1983, V. 37, P. 703~706
- [9] Wilkins, R. W. T. et al., Contrib. Min. Petrol., 1978, V. 65, P. 293~299
- [10] Kerrich, R., Contrib. Min. Petrol., 1976, V. 59, P. 195~202

## On the Hydrolytic Weakening of Quartz Grains in the Chijiang Fault Zone

Wu Xiangbin

(Central South University of Technology)

### Abstract

Basing upon the deformation of quartz grains from the Chijiang fault zone in South Jiangxi, the formation and migration of the inclusions during their plastic deformation have been studied. The conclusion suggests that hydrolytic weakening is favourable for the plastic deformation of quartz, and the plastic deformation of the quartz grains is also beneficial to the hydrolytic weakening. It is a reversible process and may be expressed by the equation as below:

