

鉴定活断层粘滑活动的一种新标志

魏伦武 张 诚 倪师军

(成都地质学院)

摘 要

本文根据实验研究,探讨了活断层泥中石英碎砾表面放射状张裂纹和凹坑的形成机制,提出了放射状张裂纹和凹坑是活断层粘滑活动时石英碎砾中包体发生爆裂的产物的观点。这种放射状爆裂张裂纹和弹坑可以作为鉴定活断层粘滑活动的一种新标志。

一、引 言

活断层活动方式是工程地质、地震地质等学科研究的重要课题。由于活断层活动方式不同会使断层泥产生不同的显微构造,因此,活断层泥中的显微构造是鉴定活断层活动方式的重要手段之一〔1〕。在用扫描电镜(SEM)观察活断层泥中石英碎砾形貌结构以确定活断层活动方式和活动的相对年代时,常常发现石英碎砾表面裂纹较多。一些平直裂纹是活断层粘滑活动时快速剪切作用形成的(见照片1、2),但是有一种张裂纹则不能用快速剪切作用加以解释。这种张裂纹呈放射状,延伸不长,在放射中点处常见有一小凹坑,其四周破碎强烈(见照片3、4、5),这显然也不能用溶蚀作用加以解释。迄今还没有人对这种放射状张裂纹和凹坑的形成机制以及地震地质意义进行系统的研究和探讨。本文的目的在于,根据活断层粘滑活动的特征,对断层泥中石英碎砾表面放射状张裂纹和凹坑进行实验研究,并探讨其地震地质意义,进而得出鉴定活断层粘滑活动的一种新标志。

二、实验原理、方法和结果

各种矿物,不论其地质年代和成因,不论是天然的还是合成的,也不管其量的多少和大小,几乎都有包体〔2〕。矿物中的包体是矿物形成过程中被捕获的成矿介质。矿物在形成过程中,总是由于种种原因或多或少存在一些缺陷,这为包体的被捕获创造了条件。事实上,在结晶过程中,任何妨碍晶体完整生长的作用或物体都能捕捉包体。按状态和成分,矿物中的包体可分为固态包体、气态包体和液态包体。

G.C.肯尼迪等对水的压力(P)—比容(V)—温度(T)图解进行过详细研究(图1)。由图1可知,对于比容低的气—液包体,当其温度升高时,包体内的压力将逐渐增

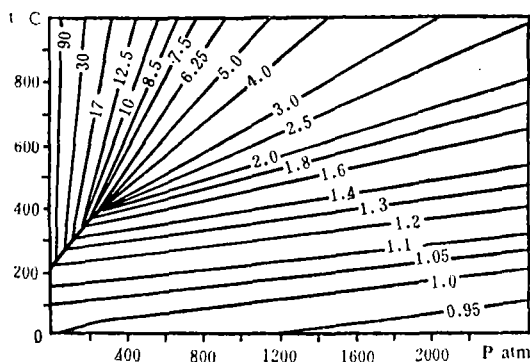


图 1 水的P—V—T图解

(据G.C肯尼迪和贝尔奇等)

Fig. 1 The P—V—T diagram of water (from Kennedy, G.C. et al.)

加。在一定温度下，包体的内压达到矿物抗张强度极限时，包体将发生爆裂。由物理化学原理中的范德瓦尔斯方程：

$$RT = \left(P + \frac{a}{V^2} \right) (V - b) \quad (1)$$

可推导出在等容状态下, 气-液包体P-T关系的基本方程, 即包体的等容状态方程[2、3]:

$$T = AP_i + T_0 \quad (2)$$

$$\text{或 } P_i = \frac{1}{A} (T - T_0) \quad (3)$$

式中, P_1 为包体的内压; T 为绝对温度; A 和 T_0 为常数, 与包体成分和密度有关。由 (3) 式可知, 气-液包体的内压 P_1 , 随温度 T 增加而增大, 这是矿物中包体发生爆裂的必要条件。

石英是地壳中最常见的矿物之一，有许多断裂带发育于长英质岩石中，所以石英碎砾的显微构造特征是鉴定活断层粘滑活动的重要手段之一。在石英中同样有气—液包体（见照片6—8），它们是石英在结晶过程中形成的。活断层以粘滑方式活动时，会因断层两盘岩石的快速摩擦作用而生热，使断层破碎带温度升高，这有可能使石英中的包体内压增大，当包体内压达一定值时，包体将发生爆裂，产生张裂纹。因此，我们提出石英碎砾表面放射状张裂纹是活断层粘滑活动时石英中包体发生爆裂的产物的设想。为此，我们做了快速加温实验，以验证这一基本设想。

为了使石英中的包体多位于石英颗粒近表面位置,我们挑选了粒度在 $0.25\sim 1\text{ mm}$ 之间的石英颗粒,在成都地质学院核原料与核技术工程系包体实验室进行了模拟活断层粘滑活动中摩擦生热作用的快速加温实验。

实验装置如图 2 所示, 在实验过程中, 将样品 (1 g) 放入石英玻璃管中, 当电炉升温

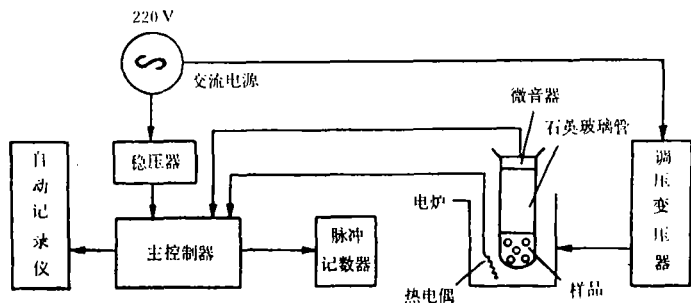


图2 石英颗粒快速加温
实验装置示意图

Fig. 2 The heating experimental assembly of quartz grains

时,石英玻璃管中的石英颗粒受到快速加温作用。当石英中的包体发生爆裂时,爆裂声经微音器传入主控制器,经声电换能处理,再送入自动记录仪和脉冲计数器中记录下来。热电偶则连续测定电炉内的炉温值。实验完成后,从石英玻璃管中取出石英颗粒,在扫描电镜下观察其形貌结构。经与石英颗粒原样表面形貌结构对比,结果表明:

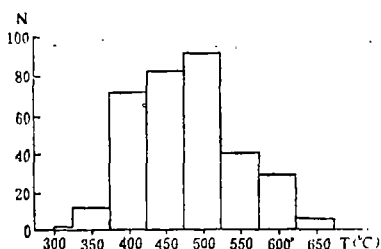


图3 石英包体爆裂温度频率直方图

Fig.3 The explosion temperature axis of inclusions in quartz vs. frequency

1.石英颗粒原样表面无裂纹,无溶蚀现象,多具贝壳状断口(见照片9)。

2.经快速加温实验的石英颗粒表面有放射状张裂纹和凹坑(见照片10、11、12)。在快速加温实验过程中,当温度升到320℃时,石英颗粒中的包体开始爆裂。在375~525℃区间内,包体爆裂个数(N)最多,随着温度的进一步升高,包体爆裂个数(N)则逐渐减少(见图3)。由此可见,正是由于包体的爆裂,才在石英颗粒表面留下了许多放射状张裂纹和弹坑。

三、讨 论

从模拟活断层粘滑活动的快速加温实验结果可知,由于石英颗粒中近表面的包体爆裂,因而产生了放射状爆裂张裂纹和爆裂弹坑。对比照片10、11与3、4、5,可以发现,这种包体爆裂产生的爆裂张裂纹和弹坑与活断层泥中石英碎砾表面的放射状张裂纹和凹坑十分相似,反映出它们之间有着密切的成因联系。

应当指出的是,虽然在地下一定深度地温可达到石英中包体爆裂的温度,但这时石英中包体却不发生爆裂,这与围压 P_e 大于石英中包体内压 P_i 有关。包体爆裂所需的内压值可用下式计算(M.O.克里,1951):

$$P_i = P_e + \frac{4}{3}\sigma_{BF} - \sigma_{BF}\left(\frac{b}{a}\right)^3 \quad (4)$$

式中, P_i 为包体爆裂所必需的内压, P_e 为外压, σ_{BF} 为矿物机械性质, a 为样品大小, b 为包体大小。

若矿物中 $a \gg b$,则式中 $\sigma_{BF}\left(\frac{b}{a}\right)^3$ 项可忽略不计,即得:

$$P_i = P_e + \frac{4}{3}\sigma_{BF} \quad (5)$$

由(5)式可知,只有当 $P_i > P_e + \frac{4}{3}\sigma_{BF}$ 时,包体才能发生爆裂。由(3)式可知,

P_i 是温度的函数,随温度增加而增大。一般石英中包体的爆裂温度为320~390℃^[2]。若以地温梯度和地压梯度分别为30℃/km和280bar/km计算^[4、5],要达到使石英包体爆裂的温度,岩石所处的深度和围压 P_e 分别为10.7~13.3km和3000~3400bar,而石英中包体的起爆压力为815~2634bar^[2],这表明包体的起爆压力 P_i 要小于围压 P_e ,即:

$$P_1 < P_2$$

(6)

该不等式的意义在于：升温并不是使矿物中包体发生爆裂的充分条件。在地下一定深度的石英中的包体只有在温度升高、围压降低的条件下才能发生爆裂。活断层的粘滑活动为石英中包体的爆裂提供了有利条件，它一方面使断层两盘岩石因快速摩擦作用而升温，据热释光温度测定，活断层发生粘滑活动时，可使断层破碎带的温度达 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ 〔6〕，这达到了石英中包体爆裂所必需的温度；另一方面，在断层活动过程中，应力突然释放，使围压 P_2 减小，并因快速剪切作用而使石英发生破碎，粒度变小，使石英碎砾中的包体位于表面附近，这为石英中包体爆裂创造了有利条件。

综上所述，我们可得出结论：活断层粘滑活动时，断层两盘岩石快速相对剪切，使破碎带温度升高，围压降低，石英粒度变小，从而使石英碎砾中的包体发生爆裂，形成放射状张裂纹和弹坑。因此，这种放射状爆裂张裂纹和弹坑可以作为鉴定活断层粘滑活动的一种新标志。

兰州地震研究所郭增建、秦保燕研究员审阅了全文，并提出了宝贵意见，在此表示衷心感谢。

(本文1986年8月29日收到)

参 考 文 献

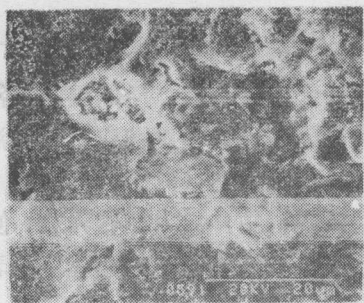
- 〔1〕魏伦武、倪师军、张诚，鉴定活断层粘滑活动的研究方法，成都地质学院研究生学刊，No. 2，1986.
- 〔2〕何知礼，包体矿物学，地质出版社，1980.
- 〔3〕季荣伦等，矿物中包裹体的物理化学状态变量 $P-V-T-N$ 之间的关系以及包裹体测温工作中应注意的问题，全国矿物中包裹体和成岩成矿实验学术会议论文集，科学出版社，1981.
- 〔4〕成都地质学院，动力地质学原理，地质出版社，1978.
- 〔5〕长春地质学院，变质岩岩石学，地质出版社，1980.
- 〔6〕王士天等，黄河龙羊峡电站区域地震—构造稳定性的研究途径与方法，第五届国际工程地质大会论文集，1986.



照片1 活断层泥中石英碎砾
表面的平直裂纹(SEM)



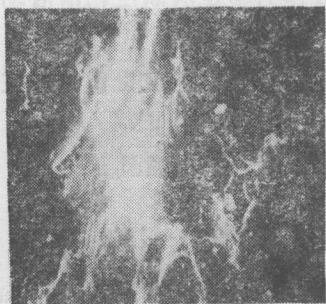
照片2 平直裂纹(SEM)



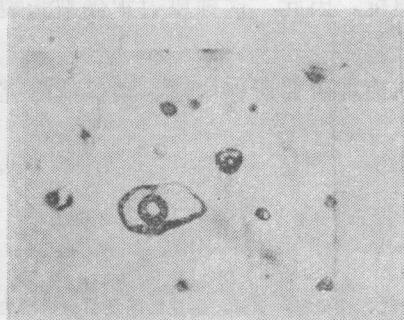
照片3 活断层泥中石英碎砾表面的放射状张裂纹和凹坑 (SEM)



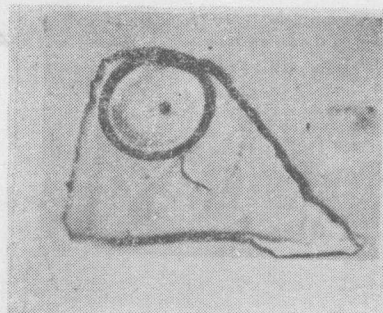
照片4 活断层泥中石英碎砾表面的凹坑 (SEM)



照片5 活断层泥中石英碎砾表面的放射状张裂纹和凹坑 (SEM)



照片6 石英中的气—液包体, $\times 78$ (一)



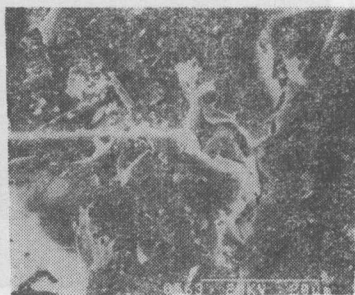
照片7 石英中的气—液包体, $\times 200$ (一)



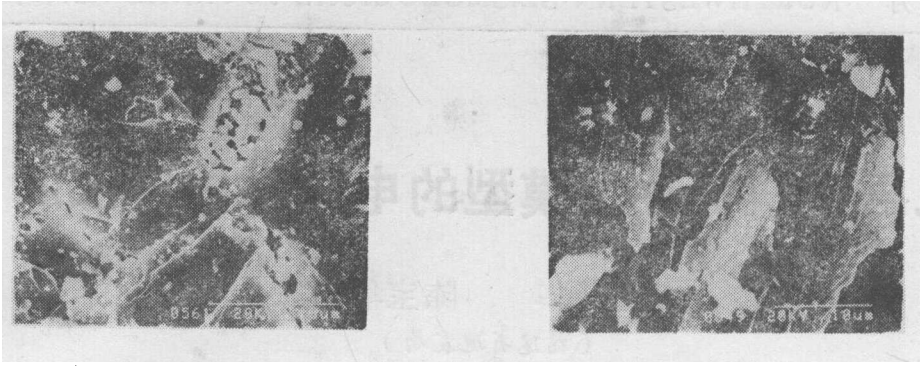
照片8 石英中的气—液包体, $\times 78$ (一)



照片9 石英颗粒原样 (SEM)



照片10 石英颗粒中包体爆裂形成的放射状张裂纹和弹坑



照片11 (同照片10)

照片12 石英颗粒中包体爆裂形成的放射状张裂纹 (SEM)

A NEW MARK IDENTIFYING STICK SLIP OF ACTIVE FAULTS

Wei Lunwu, Zhang Cheng and Ni Shijun
(Chengdu College of Geology)

Abstract

Based on the experimental study, the formation mechanism of radial fissures and small holes in quartz grains from active fault gouges is dealt with in this paper. A new standpoint, of which the radial fissures and small holes result from the explosion of inclusions in the quartz grains in the course of stick slip friction of the active faults, is put forward. The conclusion is that radial fissures and small holes in quartz grains can be regarded as a new mark identifying stick slip of active faults.