

岩石摩擦滑动的声发射b值

李纪汉 刘晓红 郝晋升

蔡戴恩 方亚如 耿乃光

(国家地震局地球物理研究所)

摘 要

用双剪法进行岩石摩擦实验并测定了声发射b值。实验表明,粘滑发生前b值稳定并稍有增加,多次粘滑过程中b值基本不变,随着正应力的增加b值增加。

一、引 言

自从人们发现大地震之前小地震活动的b值有所降低,大地震发生后b值又升高的现象之后^[1], b值变化被人们看作是实现以震报震的有希望的前兆之一。进一步的研究表明,并不是一切地震之前都能观测到b值下降的现象。于是人们开始探索b值的机理和影响b值的因素。Виноградов^[2]、茂木清夫^[3]、Scholz^[4]等人相继在实验室中开展了岩石破裂前声发射的b值变化的研究。尽管不同研究者对b值的机理有不同的看法,但都得到了是一致的实验结果,即岩石破裂前声发射b值降低。

人们认为,构造地震的发生有两种可能的机制,一种是地壳完整岩石的破裂,另一种是地壳中既存断层的粘滑。一些地震工作者对这种地震发生的机制进行了大量的模拟实验,如对岩石破裂的声发射b值的实验研究等。然而,对岩石摩擦的声发射b值却很少有人进行研究。

目前只有Scholz进行过一些研究,但是他发表的结果也存在着矛盾的情况。他对Westerly花岗岩的实验得出,当围压为100MPa时,第一次粘滑前b值上升,第二次粘滑前b值下降;而当围压为200MPa时,第一次粘滑前b值下降,第二次粘滑前b值上升。Scholz的实验又表明,当围压为100MPa时,粘滑的b值逐次降低,而当围压为200MPa时,粘滑的b值逐次增高。所有这些结果都很令人费解。Scholz本人对此未作任何解释,只得出一个结论,即粘滑实验有较高的b值,其值为1.3左右。

由此看来,岩石摩擦的声发射b值变化规律还没有被人们所认识。我们在完成了对我国的一些岩石破裂的声发射b值的初步实验研究之后,对岩石摩擦的声发射b值也作一些初步的探索。

二、实验方法及结果

一般常用的摩擦实验方法有三种, 即直剪实验、双剪实验和三轴实验。直剪实验样品内部应力极不均匀。三轴实验应用最广泛, 然而存在有严重的缺点, 即主应力与摩擦面的交角、摩擦面的面积在不断地变化, 滑动位移也不能直接测量。因此, 文献〔5〕认为三轴实验法不适于作摩擦的实验研究, 而主张应用双剪法。

我们根据文献〔5〕提出的方法建立了双轴实验系统。系统由两个10吨压机构成, 一个是10吨万能材料试验机, 另一个是小型10吨压片机。后者经改装后可放倒水平使用。压片机放在万能材料试验机平台上构成双轴加载系统。

实验用的岩石为济南辉长岩、房山大理岩和小浪底砂岩。样品系统由三个长方体岩块组成, 中央岩块的尺寸为 $2 \times 3 \times 10 \text{cm}^3$, 两侧岩块的尺寸为 $2 \times 2 \times 6 \text{cm}^3$ 。岩块间的摩擦面积为 12cm^2 。样品经磨床精磨, 相对面的不平度小于 0.02mm 。如果垂直载荷为 F_1 , 水平载荷为 F_2 , 则断层面上的正应力 $\sigma = F_2/S$, 剪应力 $\tau = F_1/2S$ 。

声发射测量使用AET—5000型声发射仪。仪器探头使用压电晶体换能器, 其频率范围为250—500KC。仪器增益为40db, 阈值取0.1V。用此仪器可测量一定时间间隔的声发射频度—幅值分布。频度的测量误差为1%, 幅度的测量误差为2%。用应变片式测力器测量垂直方向和水平方向的载荷, 用差动变压器式位移计测量位移。力和位移的测量误差为1%, 实验的加载率为 0.1MPa/Sec 。

图1分别给出了砂岩、大理岩和辉长岩摩擦实验的声发射记录。过去的研究表明, 在正应力 $\sigma = 20 \text{MPa}$ 时砂岩发生稳滑, 当 $\sigma = 30 \text{MPa}$ 时砂岩发生粘滑。图(1)a、b给出了正应力 $\sigma = 20 \text{MPa}$ 时, 砂岩稳滑发生前和发生时的声发射频度—幅值分布。图中纵座标N为声发射的次数, 横座标L为代表声发射幅值的声能级差, 单位为db。图(1)c、d给出了在 $\sigma = 30 \text{MPa}$ 时砂岩粘滑发生前和粘滑发生时的声发射频度—幅值分布。由图(1)看出, 砂岩在稳滑或粘滑发生时, 声发射频度随幅值的增加迅速减少。但在稳滑或粘滑发生前声发射频度对幅值的分布零散, 频度随幅值的增加而减小的规律性不强。有关实验表明, 当正应力为 20MPa 和 30MPa 时大理岩均发生粘滑。在本实验中大理岩发生粘滑前观测不到声发射讯号。在粘滑发生时大理岩的声发射频度—幅值分布零散, 规律性不强, 见图1(2)。

有关实验研究表明, 在正应力 $\sigma = 20—60 \text{MPa}$ 时辉长岩均发生粘滑。当 $\sigma = 40 \text{MPa}$ 时, 在连续粘滑过程中摩擦强度保持不变。当 $\sigma = 20 \text{MPa}$ 时随粘滑的进行摩擦强度逐次降低, 出现位移弱化的现象。当 $\sigma = 60 \text{MPa}$ 时随粘滑的进行摩擦强度逐次增高, 出现位移强化现象。图1(3)的声发射频度—幅值分布记录表明, 当 $\sigma = 20 \text{MPa}$ 时粘滑发生前和发生时辉长岩的声发射频度—幅值分布规律不明显。当 $\sigma = 40 \text{MPa}$ 时, 在粘滑前辉长岩声发射频度—幅值分布规律不明显, 粘滑时明显。当 $\sigma = 60 \text{MPa}$ 时, 即出现位移强化现象时, 在粘滑发生前和发生时, 辉长岩声发射频度—幅值规律很明显。

在声发射频度随幅值增加而迅速减小的情况下, 可以由实验得到的记录求出其声发射活动的b值。由于AET—5000型声发射仪给出的幅值是声能级差的db数, 声能级差L与地震震级M的定义不同, 因此不能直接由实验记录值求b值。最方便的办法是将声能级差L换算成声压幅值A(单位为Pa), 再由声发射频度对声压幅值的分布求出石本—饭田指数m值,

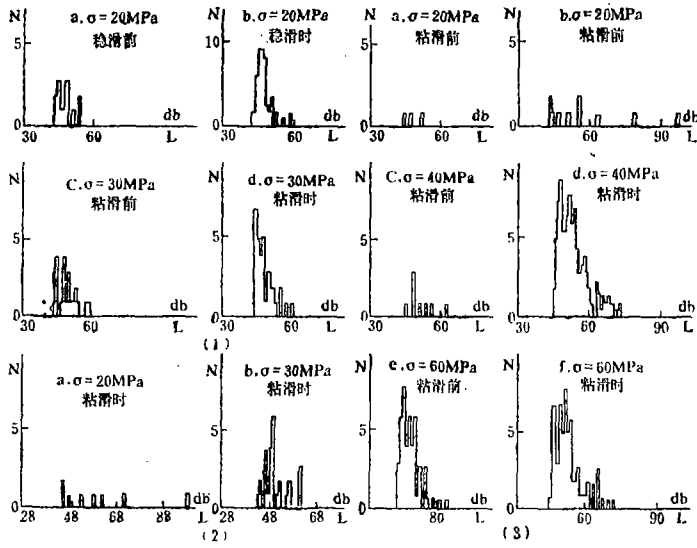


图1 摩擦实验的声发射记录

(1)砂岩 (2)大理岩 (3)辉长岩

Fig.1 The AE records in the frictional experiments of rocks

根据 $b = m - 1$ (6) 计算出 b 值。有时也可以直接对 m 值进行讨论。

图2 给出了不同正应力下砂岩稳滑和粘滑时的声发射频度—幅值分布。由图可见，随着正应力的增加，稳滑和粘滑时的声发射 b 值增加。图3 是正应力为30MPa时砂岩各次粘滑时的声发射频度—幅值分布。可以看到，砂岩在连续的粘滑时声发射 b 值不变。辉长岩的实验也有相同的结果（见图4和图5），声发射 b 值随正应力增加而增加，连续粘滑时声发射 b 值不变。

如前所述，当正应力为60MPa，辉长岩摩擦滑动出现位移强化的情况下，粘滑发生前的声发射频度—幅值分布规律明显。我们作出了其粘滑前不同应力水平下的声发射 b 值，如图6所示。图中还给出了完整辉长岩破裂前的 b 值变化，图中横座标是应力与辉长岩的摩擦

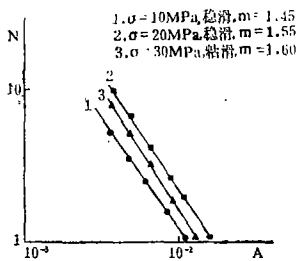


图2 不同正应力下砂岩稳滑和粘滑时的AE频度—幅值分布

Fig.2 The frequency—amplitude distribution of AE during stable sliding and stick-slip for the sandstone under the different normal stresses

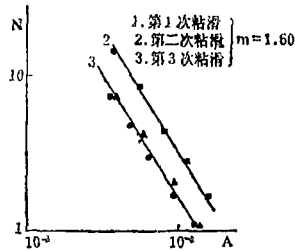


图3 正应力为30MPa时砂岩各次粘滑时的AE频度—幅值分布

Fig.3 The frequency—amplitude distribution of AE during stick-slip for sandstone under 30MPa normal stress

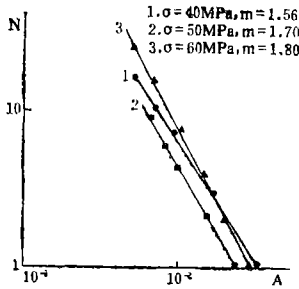


图4 不同正应力下辉长岩粘滑时的AE频度—幅值分布

Fig.4 The frequency—amplitude distribution of AE during stick-slip for gabbro under the different normal stresses

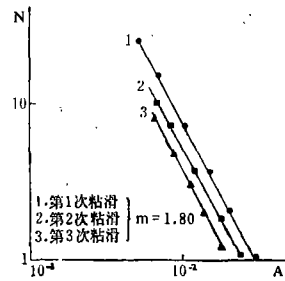


图5 正应力为60MPa时辉长岩各次粘滑时的AE频度—幅值分布

Fig.5 The frequency—amplitude distribution of AE during stick-slip for gabbro under 60MPa normal stress

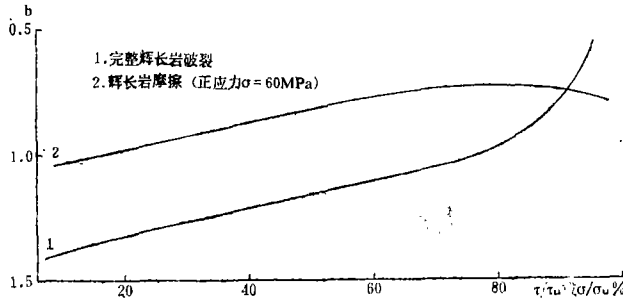


图6 辉长岩破裂与摩擦滑动前AEb值的变化
Fig.6 The variation of AE b—value before rupturing and frictional sliding for gabbro

强度 τ_0 或破裂强度 σ_0 的比值。由图可见，在低应力状态下，辉长岩声发射b值随应力增加而减小。岩石破裂前，b值下降加快。粘滑发生前，b值下降减慢，临近粘滑时b值保持稳定甚至略有增加。

三、讨 论

实验表明，对于砂岩、大理岩等较软的岩石，其粘滑发生前声发射活动水平低，其频度—幅值分布规律性不强。较硬的辉长岩在正应力较低的情况下，其粘滑前的声发射活动水平也不高，其频度—幅值分布规律性不强。在正应力较大时，辉长岩粘滑前的声发射前兆活动水平高，其频度—幅值分布规律性强。在岩石的摩擦滑动出现位移强化的情况下，粘滑前岩石声发射b值变化规律与完整岩石破裂不同。岩石破裂前b值下降，粘滑发生前b值稳定或略有上升。

如前所述，Scholz实验中对多次粘滑b值究竟是增加还是减小表现出矛盾的结果。本研究表明，连续粘滑过程中岩石的声发射b值保持不变。Scholz实验的不确定性在于其实验粗

糙。本实验的加载设备和声发射仪均比Scholz使用的设备精度高。

Scholz的摩擦实验得出声发射b值高,为1.3左右。本实验所得b值在1以下。其差别可能是由于正压力不同。Scholz实验在围压下进行,相应的正应力是100MPa的量级。本实验正应力为数10MPa。本实验得到摩擦滑动声发射b值随正应力增加而增加。如果作出b值与正应力的关系图,并将其关系延续到100MPa以上,则b值接近Scholz的结果。

由辉长岩的实验可以看出,岩石摩擦滑动的声发射b值与正应力关系较大,因此在考虑b值的影响因素时不能忽视这一点。因为在实际断层带上不但剪应力可能有变化,正应力也有可能变化。正应力的变化能给粘滑的发生条件及前兆表现带来影响。

(本文1985年9月1日收到)

参 考 文 献

- [1]Suyehiro, S., Asada, T., Ohtake, M., Foreshocks and aftershocks accompanying a perceptible earthquake in central Japan, *Pap. Met. Geophys.*, Vol.15, 71-88, 1964.
- [2]Vinogradov, S.D. On the distribution of the number of fractures independence on the energy liberated by the destruction of rocks, *Bull Acad. Sci., USSR. Geophy. Ser.*, 1292-1293, 1969.
- [3]茂木清夫, 地震—その本性をちそぐる, 东京大学出版会, 1981.
- [4]Scholz, C.H., The frequency-magnitude relation of microfracturing in rock and its relation to earthquake, *Bull Seismol. Soc. Am.*, Vol.58, 399-415, 1968.
- [5]Ohnaka, M., Experimental studies of stick-slip and their application to the earthquake source mechanism, *J. Phys. Earth*, Vol.21, 285-303, 1973.
- [6]浅日敏、铃木次郎、友田好文, 地震の頻度とエネルギーについて, *地震*, Vol. 2, No.3, 1950.

THE B VALUE OF ACOUSTIC EMISSION IN FRICTIONAL SLIDING OF ROCKS

Li Jihan, Liu Xiaohong, Hao Jinshen, Cai Dai'en, Fang Yaru
and Geng Naiguang

(*Institute of Geophysics, State Seismological Bureau*)

Abstract

The frictional experiments of rocks are made and the b value of acoustic emission is measured. The experiments show that the b value is stable and increases a little before stick-slip; but the b value keeps constant stick-slip and the b value increases with the increasing of the normal stress.