

在超声作用下岩石射气异常 行为与微破裂特征

冯 玮 杨书田 王更周

(河北省地震局)

摘要

通过实验证实,超声作用可提高岩石射气水平,每经历一次超声振动,其射气水平都有更明显增长;使用麦吉斯肯 2 型图象分析系统,首次对振动后的岩石进行了微破裂特征的定量分析,并得出微破裂的程度与振动次数有明显的正相关性;确认于超声作用下,岩石射气的异常行为与微破裂特征有本质的联系。但是超声振动时,岩石的射气强度不能作为预测地震震级的判据,而振动结束后,其射气能力并无改变。

关键词 超声波;射气;微破裂

一、引言

地震是当构造应力超过岩体介质极限抗剪强度时,沿其老断裂重新错动或形成一定规模新断裂的突发事件。在孕震过程中,尽管地壳岩体所处的应力状态极为复杂且又经历着多变的应力途径,于震前常有前兆性声发射。模拟实验证实,岩石受压接近主破裂时,20—40KHz 范围内的弹性脉冲发射——超声振动在振动谱中踞位明显^[1];由于观测技术的改进,在现场已观测到高达 1KHz 的震前地震声^[2]。据此,为水文地球化学震兆的超声机理奠定了基础。

1977 年,Султанходжаев 等人,首先提出了氡震兆的超声机理。他们通过实验证实,岩石孔隙、裂隙中的氡、钍射气,大部分处于吸附状态,在超声作用下吸附力受到破坏,使其变为自由状态,靠扩散作用向外围空间析出,而岩石矿物仍保存其原有的完整性^[3,4]。

1980 年,冯玮等人继续开展了超声振氡的实验研究。用饱水含铀镭矿石的人工岩石作实验对象,通过扫描电镜观察和超声振氡过程曲线分析,得出:经超声振动的岩石样品,其微结构有明显的变化;超声振动不仅可以破坏吸附氡的束缚状态,还能释放封闭氡^[5]。

但是,该项实验研究所采用的人工岩石样品,与天然岩石样品比较,在结构、强度、品

1988 年 2 月 29 日收到本文初稿,1988 年 8 月 2 日决定采用。

本文由编委李钦祖推荐。

质因数以及射气母元素的分布状况等方面都有较大差异,而且用扫描电镜只观察到岩石样品受超声辐照的一面及其背面有微裂隙形成。由于当时技术条件的限制,还不能对微破裂特征做定量或半定量分析,所以尚无法确认,在超声作用下岩石射气的异常行为与其微裂隙的发育程度有无本质联系。

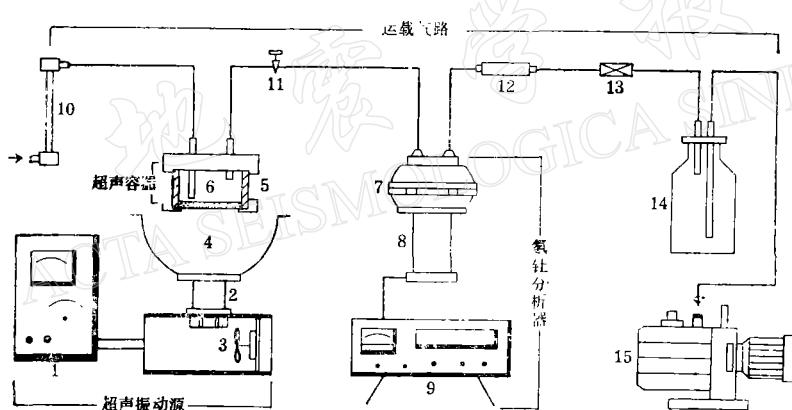
鉴此,有必要再实验、再研究,使氡震兆超声机理有更坚实的实验基础,并使这一机理得到补充和完善。

二、实验方法和结果

本实验选用含少量镭钍放射性元素、具似斑状结构的内蒙花岗岩作实验材料。将其制成直径 74.5mm、厚 5mm 的圆形样品;受超声辐照的一面磨成镜面。

1. 射气分析

在超声作用下,岩石射气的分析系统共分四部分(图 1):超声振动源(发生器输出功率 250W,电脉冲振幅 300V,换能器谐振频率 20KHz);超声容器;FD-125 氡钍分析器和运载气路。



超声振动源: 1.发生器; 2.换能器; 3.轴流风扇; 4.水槽

超声容器: 5.超声容器; 6.样品

氡钍分析器: 7.闪烁室; 8.探头; 9.定标器

运载气路: 10.流量计; 11.调节阀; 12.干燥管; 13.气阻; 14.缓冲瓶; 15.真空泵

图 1 超声振动源和射气分析实验系统

将饱水花岗岩样品嵌入超声容器底部,用高聚酶薄片封底并按规定时间封存。

实验前,将超声容器与运载气路串接,以 60ml/min 的空气流,连续运载射气通过闪烁室,定标器每分钟自动采样一次,记录脉冲计数率的变化。待射气趋于稳定后,连续测定 50 分钟,取均值作为振前的射气水平;继而将超声容器移入水槽,用流动冷水冷却,同时对样品振动 20 分钟并测量射气的变化;振动结束后,继续测量射气的恢复过程。最后把样品重新封存,备下次实验用。

实验分为四组。每组选用一块岩石样品,均按上述实验程序,重复进行四次。射气的测定值换算成相对单位,可直观射气水平的变化倍率。

在超声作用下,样品平均温升3℃,基本排除了超声热效应的影响.

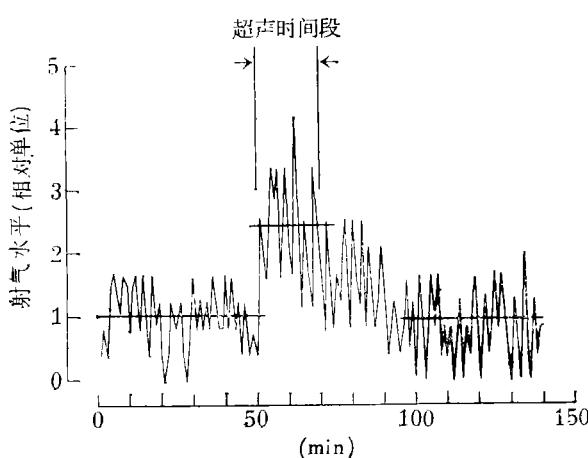


图2 经历第一次超声振动时 No. 1 样品的射气异常行为

取均值做图(图6),可以看出,岩石样品经历第一次超声振动时,射气增至1.9倍,经历第四次超声振动时,可增至3.4倍,而且射气异常水平与超声振动的次数有明显的正相关趋势.

2. 微破裂特征分析

本实验使用了麦吉斯肯2型图象分析系统(图7)及其交互式MENU程序.

对经历不同超声振动次数的岩石样品,在该系统的高倍显微镜下,仔细观察每个视域的微破裂特征,先取得初步印象.

然后选出若干典型视域¹⁾,逐一由电视摄像机提供原始图象,将其二维空间的全部坐标值和与之对应的灰度或亮度进行数字化——用二维光强度函数表示,并以矩阵形式在最高分辨率下存储于图象存储器.借助视频查寻

表修正图象对比度,用框划定图象的测量范围(照片16,见图版),称之为“场”,以校准过的单位给出准确的框面积,即场面积,并通过程序选择视频输入清单,经灰度图象处理、用光笔分割、二值图象修改等操作后,使场内的图象更臻于完善.修改后的图象,输入中央处理机并在监视器上显示,同时进行硬拷贝(照片1—15,见图版),供分析用.

在历次超声作用下,四组实验的氡钍射气异常行为(图2—5)都有以下特征:

- (1) 每次振动开始前,趋于稳定的射气平均值完全一致,代表自由射气水平;
- (2) 于振动过程中,射气水平显著提高并在高值上波动;
- (3) 每经历一次振动,射气强度都有更明显的增长;
- (4) 停振后,射气水平逐渐回复,以至略低于振前.

将四组实验所检知的射气异常水平,按超声振动的次数,分别

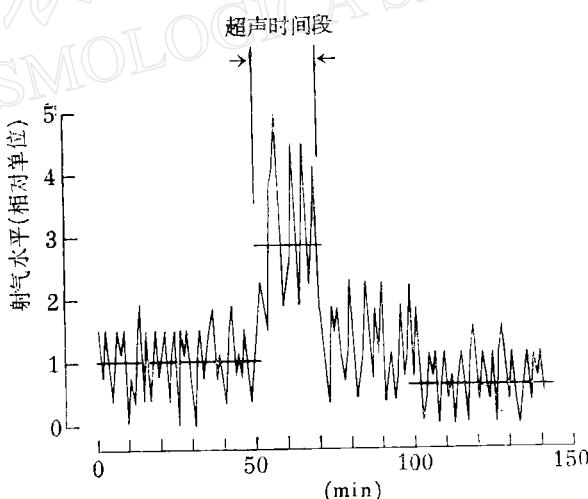


图3 经历第二次超声振动时 No. 1 样品的射气异常行为

1) 花岗岩样品具有似斑状结构,典型视域主要从“基质”部分选取.

随后,在 MENU 程序清单中,选出微孔隙裂隙长度 (L)、宽度 (B)、面积 (A) 的最小值和最大值,微孔隙裂隙长度和宽度的分布,它们的总长度 (L_{total})、总宽度 (B_{total}) 和总面积 (A_{total}) 以及总检测面积¹⁾与场面积的百分比 (k) 等项特征指标,对每个场进行测量。其结果在监视器和打印机上输出。

显微镜的观察结果表明:未经超声振动的样品,只有少数微裂隙或粒间接缝(照片 1—3);经过超声振动的样品,都出现了由振动产生的微孔隙——声蚀孔和微裂隙;每经历一次振动,这些微裂隙的尺寸都有明显的增长(照片 4—15)。

经麦吉斯肯图象分析系统,进一步给出微孔隙裂隙各特征指标的定量结果。

从所有的场中检出微孔隙裂隙尺寸的最小值和最大值列表表明(表 1): 凡经过超声振动的样

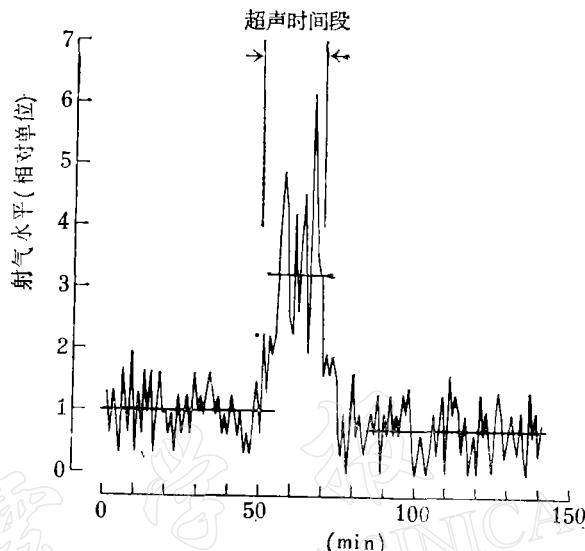


图 4 经历第三次超声振动时 No. 1 样品的射气异常行为

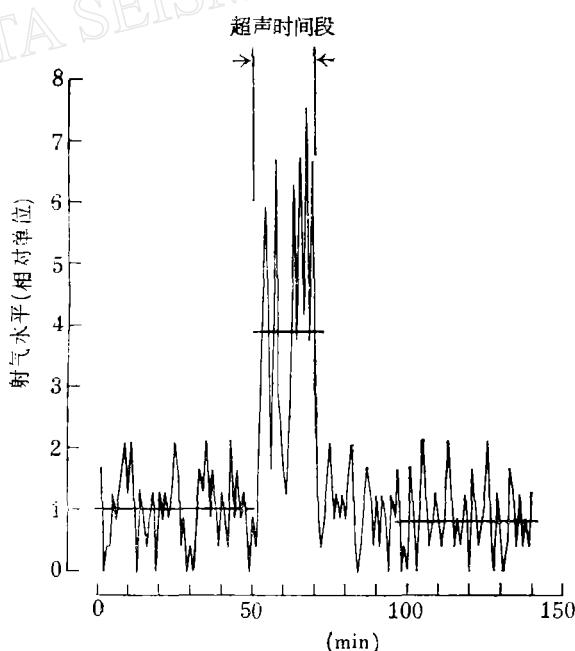


图 5 经历第四次超声振动时 No. 1 样品的射气异常行为

1) 总检测面积系场内微裂隙面积的和,不包含微孔隙面积。

品,都出现了最小尺寸的声蚀孔,每次超声振动所产生的最大微裂隙的尺寸都大于原有裂隙或粒间接缝的最大值,且随振动次数的增加而逐步增长。这些指标给出了微孔隙裂隙尺度的变化范围。

根据五个场的统计,微孔隙裂隙的长度、宽度分布(表 2,3)表明,无论是原有的微裂隙,还是经振动产生的声蚀孔、微裂隙,主要分布在 0—50 μm 长、0—10 μm 宽的范围内。

将每个场的微孔隙裂隙的总长度、总宽度、总面积以及总检测面积与场面积的百分比求出平均值: $\overline{L}_{\text{total}}$,

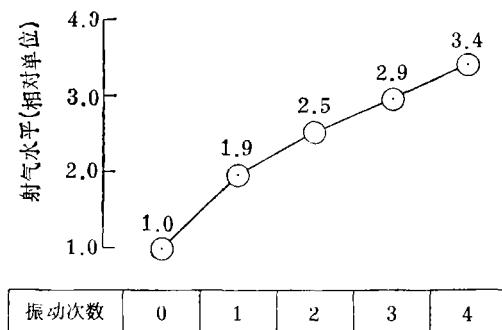


图 6 射气异常水平与超声振动次数的关系

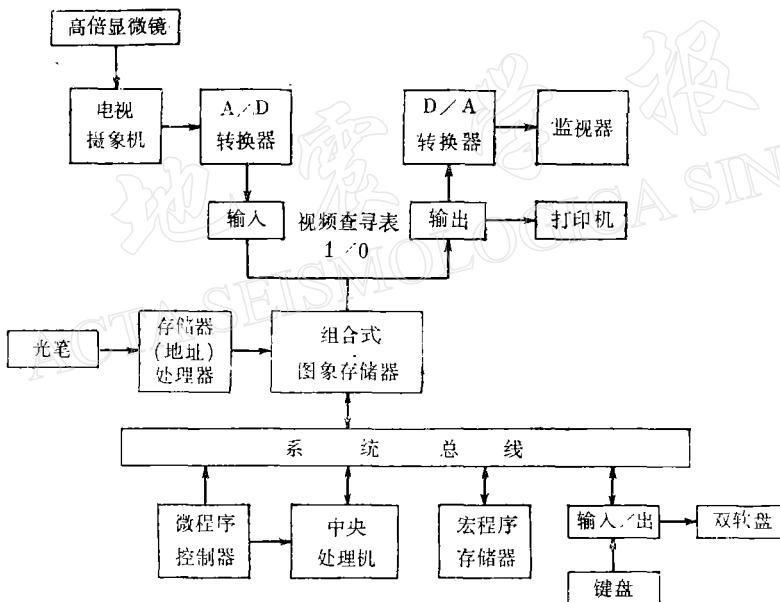


图 7 麦吉斯肯 2 型图象分析系统方框图

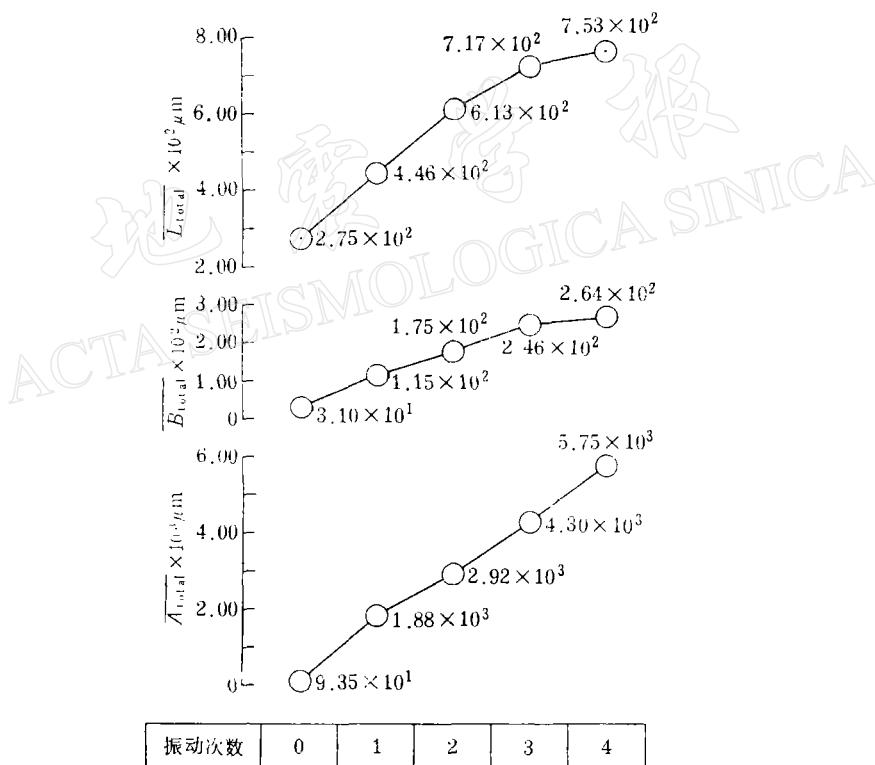
表 1 微孔隙裂隙尺寸的最小值和最大值

| 微孔隙裂隙尺寸 超声振动次数 | 长 度 (μm) | | 宽 度 (μm) | | 面 积 (μm^2) | |
|-------------------|--------------------------|--------|--------------------------|--------|----------------------------|---------|
| | 最小值 | 最大值 | 最小值 | 最大值 | 最小值 | 最大值 |
| 0 | 20.33 | 124.67 | 1.41 | 18.34 | 2.46 | 113.21 |
| 1 | 0.36 | 177.89 | 0.25 | 46.91 | 0.13 | 1575.41 |
| 2 | 0.36 | 181.30 | 0.25 | 57.44 | 0.13 | 2544.90 |
| 3 | 0.36 | 184.97 | 0.16 | 59.44 | 0.13 | 2629.26 |
| 4 | 0.36 | 200.28 | 0.16 | 100.50 | 0.13 | 4677.70 |

表 2 微孔隙裂隙的长度分布

| 超声振动次数 | 微孔隙裂隙数在不同长度范围内的分布 | | | 微孔隙裂隙总数 |
|--------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------|
| | 0—50 (μm) | 50—150 (μm) | >150 (μm) | |
| 0 | 18 | 5 | 1 | 24 |
| 1 | 106 | 9 | 2 | 117 |
| 2 | 141 | 14 | 2 | 157 |
| 3 | 174 | 14 | 2 | 190 |
| 4 | 218 | 23 | 3 | 244 |

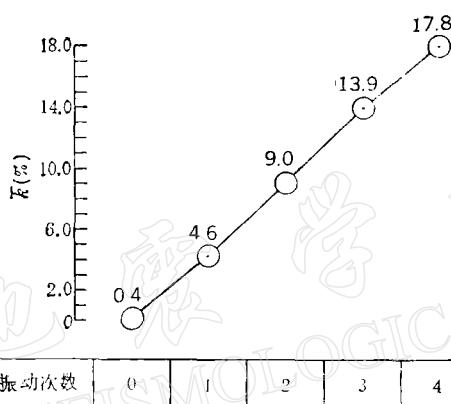
B_{total} , A_{total} , \bar{k} (图 8—9). 这四项指标表明: 岩石的微破裂程度与经历超声振动的次数有明显的正相关趋势。

图 8 L_{total} , B_{total} , A_{total} 与超声振动次数的关系

于此应当说明, 对经历第四次振动后的样品进行图象分析时, 观察到一些较宽大的微裂隙, 其长度已超出场的范围, 其宽度也不完全在场的范围内, 以至与第四次振动相对应的 L_{total} 和 B_{total} 偏低, 但是 A_{total} 受场边界的影响不甚明显, 尤其是表征微裂隙密度的 \bar{k} 值与振动次数有很好的线性关系。

表 3 微孔隙裂隙的宽度分布

| 超声振动次数 | 微孔隙裂隙在不同宽度范围内的分布 | | | 微孔隙裂隙总数 |
|--------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|---------|
| | 0—10 (μm) | 10—30 (μm) | >30 (μm) | |
| 0 | 20 | 4 | 0 | 24 |
| 1 | 112 | 4 | 1 | 117 |
| 2 | 135 | 19 | 3 | 157 |
| 3 | 150 | 23 | 11 | 190 |
| 4 | 211 | 20 | 13 | 244 |

图 9 \bar{K} 与超声振动次数的关系

三、讨 论

超声作用能否破坏岩石的完整性是涉及震兆超声机理的实质问题。假如, 经超声辐照后的岩石样品, 其完整性没有遭到任何破坏, 每次实验时, 样品的封存时间, 振动源的频率、强度以及振动的延续时间等实验条件又都严格一致, 则受超声激发所释放的吸附态射气也应保持一定水平。但实验结果表明, 无论是人工岩石样品^[4], 还是本实验所用的天然岩石样品, 每经历一次超声振动, 射气水平都有更明显的增长, 即岩石射气的异常水平与其接受振动的次数有明显的正变关系。

岩石样品的图象分析表明: 凡经过超声振动的样品, 都出现了声蚀孔和新生微裂隙, 而且它们的总长度、总面积以及微裂隙的密度——岩石微破裂的程度与其接受振动的次数也有明显的正变关系。

有理由认为, 在超声作用下, 不仅可以破坏岩石射气的吸附状态, 使之有可能向外围空间迁移, 由于微破裂的发生还为被封闭的射气打开了释放通道, 致使吸附态和封闭态射气可同时析出。当一次超声作用结束后, 新生微孔隙裂隙及原持有封闭态射气的空位, 将为岩石积聚更多的吸附态射气; 当进行另一次超声作用时, 就会有更多的吸附态射气被释放, 而随着微孔隙裂隙的进一步发育, 也会为封闭态射气提供更充分的释放通道。

根据以上分析，可以认定，在超声作用下，岩石射气的异常行为与微破裂特征有本质的联系。

但前兆性声发射本来就有凯瑟效应，即使与每次前兆性声发射有关的超声振动，在频率、强度和持续时间上都完全一致，而所激发的射气异常行为都会有明显的差别（图2—5）。因此，以超声机理观点，不能只根据前兆性射气强度（或异常幅度）判断地震的震级。

最后还应指出：振动微裂隙的宽度非常小，其最大宽度也只及氡射气的射程（在空气中的射程为100—200 μm ），封闭态射气即使获得了这种“通道”，与吸附态射气一样，也必须在超声振动或其它作用下，才能积极参与岩石的射气过程，所以振动停止后，射气水平立即下降并逐渐回复。这就是说，在超声作用下，岩石的微破裂并没有提高它的射气能力。至于镭、钍的自然衰变并不受超声作用的影响，射气加速释放后不能从放射源及时得到补充，乃至振后射气水平略低于振前，这需要较长的时间才能完全恢复。实验表明，每次振动前的射气水平能完全一致，也间接证实了岩石的射气能力并无改变。

四、结语

综上所述，可以确认：超声振动可使岩石发生微破裂；因此，在超声作用下不仅破坏射气的吸附状态，还能释放被封闭的射气，使它们有可能共同参与射气过程；岩石射气的异常行为与微破裂特征有本质的联系；但是，前兆性的射气强度不能作为预测地震震级的判据。

在图象分析技术方面，得到沈梅琴高级工程师的亲炙，谨此致以诚挚的谢意。

本实验研究系国家地震局地震科学联合基金资助项目。

参考文献

- [1] Mitiyasu Ohnaka and Kiyo Mogi, 1982. Frequency characteristics of acoustic emission in rocks under uniaxial compression and its relation to the fracturing process to failure. *J. Geophys. Res.*, **87**, 3873—3884.
- [2] 董树华、刘元壮, 1986. 地声观测研究. 地震学报, **4**, 439—443.
- [3] Султанходжаев А. Н. и др., 1977. О причинах аномального поведения радона в подземных водах сейсмоактивных районов. Узбекский геологический журнал, **2**, 29—37.
- [4] Султанходжаев А. Н. и др., 1979. Радиоактивные эманации при изучении геологических процессов, Изд. «ФАН» Узбекской ССР, 71—90.
- [5] 冯 珂、王永才、邓禹仁、侯彦珍, 1981. 饱水岩石超声振氡实验研究. 地震地质, **2**, 2, 1—8.

ANOMALOUS BEHAVIOR OF EMANATION AND MICROFRACTURING CHARACTERISTICS OF ROCK UNDER ULTRASONIC ACTION

FENG WEI, YANG SHUTIAN AND WANG GENGZHOU

(Seismological Bureau of Hebei Province)

Abstract

By experiments, it is confirmed that ultrasonic action may raise the emanation of rock to a higher level; the emanation is more obviously increased, when undergoing ultrasonic vibration each time. A quantitative analysis of fracturing characteristic of rock after ultrasonic vibration (u.v.) has been made for the first time by a Magiscan Type 2 image-analysis system, obtaining a clear positive correlation between the degree of microfracturing and the times of u.v.; thus it is affirmed that there is an essential relation between anomalous behavior of emanation and microfracturing characteristics of rock under ultrasonic action. This paper also discusses on the basis of experiments that rock did not increase its emanation ability, though microfracturing that occurred in it after u.v.; and emanation intensity can not be regarded as criterion for forecasting earthquake magnitude.