

无源微波遥感用于地震预报的实验研究*

邓明德⁽¹⁾ 樊正芳⁽²⁾ 崔承禹⁽³⁾ 籍全权⁽²⁾ 耿乃光⁽⁴⁾

(1)国家地震局综合观测中心, 北京, 100039;

(2)国家航天局第二研究院二〇七所, 北京, 100854;

(3)中国科学院遥感应用研究所, 北京, 100101;

(4)国家地震局地球物理研究所, 北京, 100081)

摘要 对无源微波遥感用于地震预报在理论研究的基础上对不同岩性不同结构的岩石试件进行了加载实验, 测量了岩石试件的微波辐射随载荷的变化. 实验得出: 岩石试件的微波辐射能量随岩石应力状态变化而显著变化; 而且, 不同的波段变化的幅度不同; 同一波段不同极化方式的波随应力变化的变化量也不同; 微波辐射能量的变化能够被卫星微波遥感探测器探测到. 实验还发现, 岩石试件临破裂前出现明显的微波辐射异常.

关键词 岩石, 应力, 微波辐射, 异常信息.

引言

我们在理论研究的基础上, 首先开展了红外遥感用于地震预报的实验研究, 发现了岩石红外辐射能量和岩石内部的温度随岩石应力状态变化而显著变化的物理现象, 这为红外遥感用于地震预报提出了实验依据^[1~4]. 红外遥感的优点之一是对物质的温度十分敏感, 它的不足之处是受天气的影响大, 据统计, 地球上经常有 40~60% 的地区被云层覆盖, 在这样的地区, 红外遥感不能进行对地观测.

微波能穿透云层、雪、雨和天然植被, 并能穿透一定深度的土壤和岩石, 微波遥感能进行全天候和全天时观测, 因此, 微波遥感技术发展十分迅速. 我们开展了无源微波遥感用于地震预报的实验研究. 无源微波遥感用于地震预报要求微波辐射能够随地表及其地下一定深度处介质受力状态而变化. 地震的孕育和发生, 从力学角度讲, 多数人认为是一种机械力作用过程和结果. 机械力能否引起介质的微波辐射发生变化, 迄今未见报道.

我们从理论上研究认为: 机械能可以激发构成物质的分子的转动态, 当转动能级间发生跃迁时, 物质的微波辐射能量随之发生改变. 根据这一认识, 我们进行了实验验证. 实验得出岩石的微波辐射能量随岩石受到的压力变化而显著变化的多项结果, 这是继岩石的红外辐射能量随岩石压力变化的物理现象发现之后, 又一新的发现.

* 国家科委、地震科学联合基金资助项目

本文 1995 年 3 月 6 日收到, 修改稿 1995 年 10 月 19 日收到

1 实验

1.1 试件

在野外现场选取具有普遍性的花岗岩、闪长岩、片麻岩、白云岩和砂岩等 13 种岩性的岩石,为了保持岩石原来的性质,由人工从完整的岩体上取下岩石,再由人工制作成 $12\text{cm} \times 20\text{cm} \times 36\text{cm}$ 的岩石试件,试件的两受力面磨成平面,偏离平行误差小于 0.05mm ,四个侧面为粗糙平面.我们选取不同岩性不同结构的 22 块岩石标本进行实验.

1.2 测量仪器

测量仪器有 10cm 、 2cm 和 8mm 三个不同波段微波辐射计,其精度均为 0.1K ;压力机,轴向最大载荷为 500t ,误差 $\leq 1\%$;声发射测试仪,测量试件的声发射率的误差 $\leq 2\%$;位移计测量试件的轴向位移,误差 $\leq 1\%$,函数记录器,误差 $\leq 0.5\%$.

1.3 实验方法

在 500t 岩石压力机下,沿试件长轴方向单轴加压至试件破裂,加载应变率为 $10^{-5}/\text{s}$,为避免岩石试件破裂时产生的岩石碎片击坏微波天线,天线置于离试件 3m 以外.加载之前,测量试件的辐射量 1min ,以此值为基准,然后开始加载,在加载的过程中同时测量微波辐射量和力学量.微波辐射量的测量由微机磁盘记录,每秒采样一次,力学量的测量为模拟自动记录,测量直到试件破裂.

2 实验结果和讨论

以片麻岩、石英闪长岩和花岗闪长岩为例,说明实验结果.

2.1 微波辐射能量在不同波段随试件应力的变化

图 1 和图 2 分别为片麻岩水平极化和石英闪长岩垂直极化时微波辐射能量在 10cm 波段随试件应力的变化.图中纵坐标为微波辐射能量的变化量,用亮度温度 T 的变化量 ΔT 表示, ΔT 的变化就是微波辐射能量的变化.图中一条横坐标(下)为加载时间,另一条横坐标(上)为应力,应力随时间变化是非均匀的.图中 OA 段为未加载荷时记录的试件固有微波辐射量,以此值为基准.从 A 点开始给试件施加载荷并记录试件辐射的变化量(ΔT).由图 1 可见,在低应力状态下辐射能量基本上不随应力变化,当应力增至 57MPa 时,辐射能量随应力增加迅速增加,当应力增至破裂应力 88% 高应力状态时,亮度温度的增量 ΔT 增至 0.96K ,试件临破裂前,亮度温度随应力增加而下降,由 0.96K 下降至 0.82K ,试件破裂.试件的峰值应力为 137.8MPa ,破裂应力为 131.9MPa ,亮度温度最大增量 ΔT 为 0.96K .

由图 2 见,石英闪长岩的微波辐射能量随应力增加呈波动式迅速增加,当应力增至 61.4MPa 以后,上升速率减慢,当应力增至破裂应力 93% 极高应力状态时,亮度温度 ΔT 增至最高值 1.40K ,随应力再增加,亮度温度 ΔT 迅速下降至 1.05K ,试件破裂.试件的破裂应力为 132.5MPa .

图 3 是 2cm 波段片麻岩水平极化微波辐射能量随试件应力的变化,图 3 中纵坐标为试件亮度温度的绝对温度.由图 3 可见,微波辐射能量随试件应力增加而增加,当应力增至

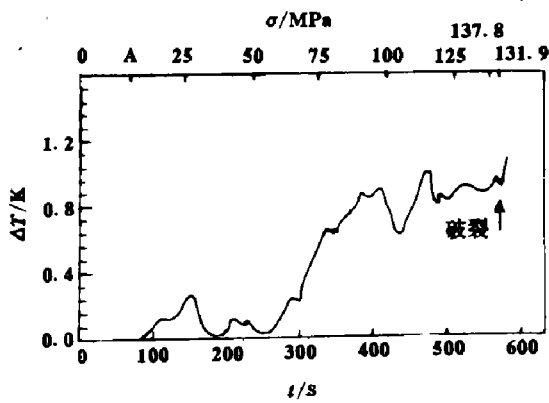


图 1 10cm 波段片麻岩微波辐射
(水平极化)随试件应力的变化

Fig. 1 The gneiss microwave radiation
varying with stress at the 10cm wave
band with horizontal polarization

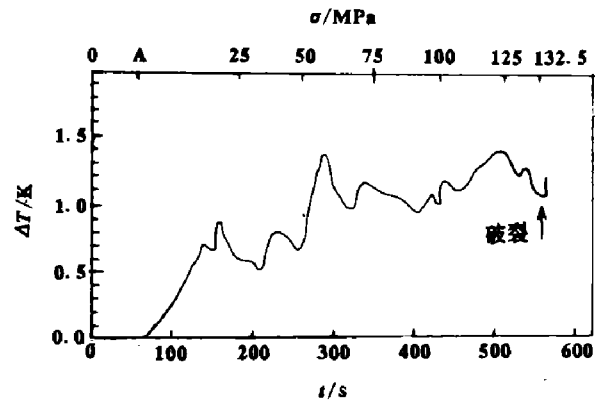


图 2 10cm 波段石英闪长岩微波辐射
(垂直极化)随试件应力的变化

Fig. 2 The quartz diorite micowave radiation
varying with stress at the 10cm wave
band with vertical polarization

94.1MPa 时,亮度温度由初始温度 297.45K 增至 299.45K,此后,亮度温度随应力增加缓慢下降,当应力增至 107.3MPa 时,亮度温度降至 298.9K,此后,亮度温度随应力增加而增加,当应力增至 125MPa 时,温度增至 299.3K,试件破裂前,应力急剧下降,亮度温度随即由 299.3K 急速下降至 298.1K,试件破裂. 试件峰值应力为 137.4MPa,破裂应力为 69.5MPa,亮度温度最大增量 ΔT 为 2.0K.

图 4 是 8mm 波段花岗闪长岩垂直极化微波辐射能量随试件应力的变化. 由图 4 可见,在低应力状态下辐射能量不随应力变化,当应力增至 45MPa 时,辐射能量随试件应力增加而波动式上升,直到试件破裂. 试件峰值应力为 75.7MPa,破裂应力为 65.4MPa,亮度温度最大增量 ΔT 为 0.5K.

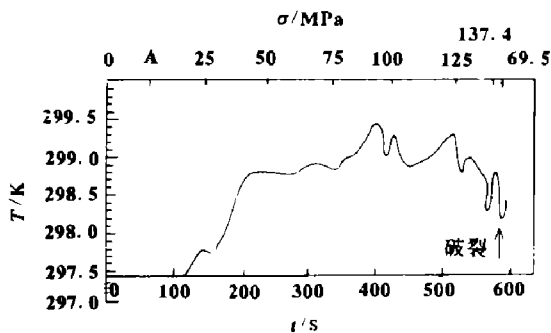


图 3 2cm 波段片麻岩微波辐射
(水平极化)随试件应力的变化

Fig. 3 The gneiss microwave radiation
varying with the stress at the 2 cm
wave band with horizontal polarization

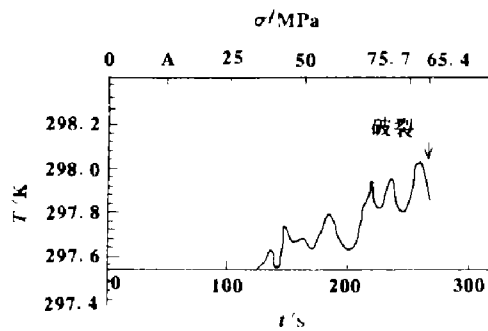


图 4 8mm 波段花岗闪长岩微波辐射
(垂直极化)随试件应力的变化

Fig. 4 The granitic diorite microwave
radiation varying with the stress at the
8mm wave band with vertical polarization

2.2 岩石破裂的微波辐射前兆

岩石试件在临破裂前出现明显的微波辐射异常前兆,而且在不同波段异常的大小和形态不同,以粗粒花岗岩为例,试件的破裂应力为 78.9MPa.

10cm 波段,当试件应力增至 77.7MPa 时,亮度温度的变化量 ΔT 增至最高值 0.78K,随应力再增加而 ΔT 下降,试件临破裂前 ΔT 由 0.78K 急速下降到 -0.14K,试件破裂,其 ΔT 下降了 0.92K.

2cm 波段,当试件应力增至 75.7MPa 时,亮度温度的变化量 ΔT 降到最低值 -3.2K,应力再增加, ΔT 随之增加,试件临破裂前, ΔT 由 -3.2K 急剧增高到 1.4K,此时试件破裂.其 ΔT 增高了 4.6K.

8mm 波段,当试件应力增至 77.7MPa 时,试件的亮度温度增至最高值 298.04K,应力再增加,亮度温度下降,试件临破裂前,亮度温度由 298.04K 急速下降到 297.71K,此时试件破裂,其 ΔT 下降了 0.33K.

10cm、2cm 和 8mm 三个波段出现破裂异常前兆的应力状态分别是 77.7、75.7 和 77.7MPa,几乎是同时出现异常,2cm 波段异常量最大,10cm 波段次之,8mm 波段最小.

实验的岩石试件中,大多数试件在临破裂前都出现明显的微波辐射异常前兆,不同波段异常形态不同,总的来说,异常形态主要表现为试件临破裂前亮度温度急速下降,急速上升和由变化转为恒定 3 种基本形态.在这 3 种基本形态中,下降型为多数.

2.3 极化方式不同辐射变化量不同

不同的探测目标辐射电磁波能力不同,同一探测目标处于水平极化状态的波和处于垂直极化状态的波携带的能量不同,采用不同极化方式的波能够增加目标的微波遥感信息,提高微波遥感的探测和识别能力.我们对不同岩性的岩石试件进行了垂直和水平两种极化实验,其结果如下:

2.3.1 变化幅度

不同极化状态的波在不同波段的变化幅度不同.在 10cm 波段,多数岩石水平极化波的亮度温度变化大于垂直极化波的亮度温度变化,例如,砂岩和片麻岩水平极化波的亮度温度的最大变化量 ΔT 分别是 0.72K 和 0.92K,而垂直极化波的 ΔT 分别是 0.46K 和 0.22K.在 2cm 波段,绝大多数岩石垂直极化波的亮度温度变化大于水平极化波的亮度温度变化,例如,白云岩和花岗岩垂直极化波的亮度温度的最大变化量 ΔT 分别是 1.70K 和 3.20K,而水平极化波的 ΔT 分别是 0.90K 和 0.95K.

在我们实验的不同岩性不同结构的岩石标本中,多数岩石标本在 10cm 和 8mm 二个波段,水平极化波的变化量比垂直极化波的变化量大 1~2 倍.绝大多数岩石标本,在 2cm 波段,垂直极化波的变化量比水平极化波的变化量大 1~3 倍,甚至更大.

2.3.2 变化规律

在实验的多数岩石标本中,同一岩性的岩石试件,其垂直极化波和水平化波随试件压力的变化规律是不同的.当垂直极化波随压力变化为线性或类似线性变化时,水平极化波随压力变化呈现类似正弦波动变化.反之,当水平极化波为线性或类似线性变化时,垂直极化波则呈现类似正弦波动变化.这一特征在 10cm 波段尤为明显.

2.4 不同波段亮度温度的变化量级

不同极化状态的波携带的能量不同,不同波段辐射微波能量的能力也不同,在 10cm 波段亮度温度变化量 ΔT 在 0.2K~1.5K 范围,多数标本的变化量 ΔT 在 0.4K 以上.2cm 波段亮度温度的变化量 ΔT 在 0.3K~6.0K 范围,在实验的 22 块岩石标本中, ΔT 大于 0.5K

的占 86%。8mm 波段亮度温度的变化量 ΔT 均在 0.6K 以下。

在 10cm、2cm 和 8mm 三个波段中,无论是垂直极化波还是水平极化波,绝大多数岩石在 2cm 波段的变化量最大,最大变化量 ΔT 达到 5.6K,10cm 波段次之,8mm 波段最小。

3 结论

通过实验结果的分析研究,可得出如下初步结论:

(1) 岩石的微波辐射能量随岩石应力状态变化而显著变化。在我们实验的 13 种岩性 22 块标本中,无论是火成岩、沉积岩还是变质岩都无一例外。这表明岩石的这一物理现象具有一定的普遍性。

(2) 在 10cm 和 8mm 二个波段,岩石的微波辐射能量随应力变化,多数岩石水平极化波的变化量大于垂直极化波的变化量。在 2cm 波段,绝大多数岩石垂直极化波的变化量大于水平极化波的变化量。

(3) 在 10cm、2cm 和 8mm 三个波段中,微波辐射能量随应力变化,无论是垂直极化还是水平极化,绝大多数岩石在 2cm 波段变化量最大,8mm 波段变化量最小。

(4) 有相当一部分岩石在临破裂前,出现明显的临破裂微波辐射异常前兆,前兆的表现形式为在岩石临破裂前,微波辐射急剧下降或急剧增加,随即岩石破裂。以急剧下降型的居多。

(5) 微波辐射能量的变化量级能够被卫星微波遥感探测器探测到。

(6) 通过遥感探测到的微波辐射能量的变化量,可以反推出对应的应力值。

岩石的微波辐射能量随岩石应力变化而变化的物理现象的发现,为微波遥感用于地震预报和用卫星微波遥感观测地球表面应力场的分布、演变及其过程提出了实验依据,奠定了物理基础,为探索地震新前兆和观测地球表面应力场开拓了新手段、新方法和新途径,为地震预报研究开创了新的研究领域,并将有可能导致产生地震预报新的理论,为微波遥感拓宽了应用领域。

致谢 参加此项工作的有 王亭慧、林奇、郝晋升、支毅乔、张瑞兵、马力、刘晓红、李纪汉、王众、侯秋平、张晋开、吕霖、赵德刚、胡扬学、沈祖福、朱晓芳、董燕华等同志,在此一并致谢。

参考文献

- 1 邓明德,等. 中国地震,1993,9(2):163~169
- 2 崔承禹,等. 科学通报 1993,38(6):538~541
- 3 耿乃光,等. 地震学报,1992,14 增刊:645~652
- 4 邓明德,等. 红外与毫米波学报,1994,13(6):425~430
- 5 谢寿生,等. 微波遥感技术与应用,北京:电子工业出版社,1987,80~133
- 6 汪国铎,等. 微波遥感,北京:电子工业出版社,1989,35~92
- 7 徐亦庄. 分子光谱理论,北京:清华大学出版社,1988,196~292

THE EXPERIMENTAL STUDY FOR EARTHQUAKE PREDICTION BY PASSIVE MICROWAVE REMOTE SENSING *

Deng mingde⁽¹⁾ Fan Zhengfang⁽²⁾ Cui Chengyu⁽³⁾

Ji Quanquan⁽²⁾ Geng Naiguang⁽⁴⁾

(1) *Comprehensive Observation Centre, State Seismological Bureau, Beijing 100039, China.*

(2) *Institute No. 207 of the Second Academy, State Aerospace Bureau, Beijing 100854, China.*

(3) *Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China.*

(4) *Institute of Geophysics, State Seismological Bureau, Beijing 100081, China.)*

Abstract On the basis of theoretical study, experiments on passive microwave remote sensing used in the earthquake prediction were carried out. Loading experiments on rock samples of different properties and structures were made. It was obtained that the microwave radiation energy of rock samples changes obviously along with the change of stress state. The amplitudes of the change are different in different wave bands. The amount of variation with stress of different polarization is different. The variation of microwave radiation energy can be measured by microwave remote sensor on satellite. The obviously anomalous information of microwave radiation before rock failure was also discovered by experiments.

Key words rock, stress, microwave radiation, anomalous information.

* The project supported jointly by the Foundation of State Science and Technology Committee of China and Seismological Science Foundation