

# 岩石的红外波段辐射特性研究\*

邓明德<sup>1)</sup> 崔承禹<sup>2)</sup> 耿乃光<sup>3)</sup> 支毅乔<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 国家地震局综合观测队, 北京, 100039

<sup>2)</sup> 中国科学院遥感应用研究所, 北京, 100101

<sup>3)</sup> 国家地震局地球物理研究所, 北京, 100081)

**摘要** 提出了波段辐射特性这一物理概念, 并对岩石的红外波段辐射特性进行了测量和研究. 得到的结果对于选取遥感波段、建立遥感信息的判读标志、建立由岩石应力变化引起岩石红外辐射能量的变化量与相应应力的定量关系等具有重要的意义.

**关键词** 岩石, 红外, 波段辐射, 岩石破裂.

## 引言

实验已证实<sup>[1~3]</sup> 当岩石所处的应力状态发生改变时, 岩石红外光谱面辐射强度随着岩石应力增加而增加, 岩石的辐射温度随着岩石应力变化而变化. 为进一步研究这一物理现象并用于实际, 首先需要研究, 对于一确定的波段, 岩石的红外光谱面辐射强度随岩石应力状态变化的规律, 我们把这种规律称为岩石的波段辐射特性. 这是岩石辐射电磁波能量随着岩石的应力变化而变化的物理现象发现之后, 提出的一个新的物理概念和一个新的研究领域, 将可成为探索预报地震的新途径、新方法; 还可用于矿爆、岩爆的监测和预报; 水库大坝的安全监视; 油田及矿山应力测量等方面, 并可通过遥感技术实现上述应用的遥感观测. 因此, 对岩石的波段辐射特性的研究, 是一项十分重要的基础研究.

我们对花岗岩、闪长岩、片麻岩、白云岩、石灰岩和砂岩等不同岩性岩石的红外波段辐射特性进行了测量和研究, 得到了很好的结果.

## 1 岩石波段辐射特性测量方法

将采集的岩石制作成 14 cm×14 cm×28 cm 试件, 在 500 t 岩石压力机下对试件单轴加载至破裂, 载荷值由压机读出, 测力误差在 1% 以内. 根据公式

$$\sigma = F/S \quad (1)$$

换算成应力. 式 (1) 中  $\sigma$  为应力, 单位为 Pa;  $F$  为施加的载荷, 单位为 N;  $S$  为试件受

\* 地震科学联合基金资助项目

本文 1993 年 11 月 19 日收到, 修改稿 1994 年 8 月 12 日收到

力面积, 单位为  $\text{m}^2$ .

用红外光谱辐射计测量岩石试件的红外分谱面辐射强度, 测量的波长范围为  $8.0141 \sim 15.096 \mu\text{m}$ , 分成 86 个波段, 1 ~ 82 波段平均波长宽度  $\Delta\lambda = 0.0765 \mu\text{m}$ , 83 ~ 86 波段的波长宽度  $\Delta\lambda = 0.270 \mu\text{m}$ , 仪器的噪声等效功率密度  $NEI = 0.15948 \times 10^{-9} \text{W}/\text{cm}^2$ , 视场为  $0.5^\circ$ .

在试件加载前测量试件零载荷时的面辐射强度为  $L(\sigma_0)$ , 以此值为基准, 在应力  $\sigma = \sigma_i$  时, 测得的面辐射强度为  $L(\sigma_i)$ , 依次直到试件破裂. 分谱面辐射强度随应力的变化量  $\Delta L(\sigma_i)$  由下式算出

$$\Delta L(\sigma_i) = L(\sigma_i) - L(\sigma_0), \quad (2)$$

式 (2) 是波段辐射特性的计算公式.

## 2 岩石的红外波段辐射特性测量结果和分析

对花岗岩等 26 种岩石的红外波段辐射特性进行了测量, 每块岩石标本测量分为 86 个波段, 即测量出 86 条波段辐射特性曲线. 对测量出的 2924 条波段辐射特性进行了分析和研究. 虽然不同的岩石具有不同的变化规律, 但被测量的 26 种岩石总的变化规律主要有下列 4 种类型. 本文给出每类变化的一种岩石的几个波段的波段辐射特性曲线.

### 2.1 第一类波段辐射特性及特征

第一类波段辐射特性的变化规律是线性和近似线性变化. 其特征是在一部分波段在某个应力值时出现恒定辐射 (不随应力变化) 或吸收 (辐射随应力增加而下降), 在绝大多数波段中, 出现恒定辐射和吸收均出现一次. 属于这类变化的岩石有砂岩、大理岩、石灰岩和粗粒石英砂岩等. 这类变化的岩石的破裂强度都较低, 破裂强度一般在  $100 \text{MPa}$  以下. 以粗粒石英砂岩为例, 其波段辐射特性如图 1 所示. 图 1 中纵坐标为面辐射强度的变化量  $\Delta L$ , 横坐标为应力  $\sigma$ , 图 1 中每一条波段辐射特性曲线末端的数字为波段序号. 波段 3、16、17、45、和 57 的中心波长分别是  $8.1566$ 、 $9.1685$ 、 $9.2484$ 、 $11.426$  和  $12.344 \mu\text{m}$ .

由图 1 可知, 这类岩石波段辐射特性的变化规律主要有 4 种基本形态. 波段 16 为线性变化; 波段 3 为近似线性变化; 波段 57 和波段 17 分别当应力增至  $75 \text{MPa}$  和  $100 \text{MPa}$  时, 出现恒定辐射; 波段 45 当应力增至  $100 \text{MPa}$  时, 出现吸收. 砂岩、大理岩和石灰岩这类破裂强度很低 (小于  $50 \text{MPa}$ ) 的岩石的波段辐射特性几乎全部是线性和近似线性变化, 只是不同波段的斜率不同.

### 2.2 第二类波段辐射特性及特征

第二类波段辐射特性的变化规律基本是近似线性变化. 其特征是几乎所有的波段在某些应力值时均出现恒定辐射或吸收, 呈现线性变化的波段极少. 属于这类变化的岩石有闪长岩、石英二长岩、角闪片麻岩和细粒石英砂岩等破裂强度高的岩石, 它们的破裂强度均在  $100 \text{MPa}$  以上. 以细粒闪长岩为例, 其波段辐射特性如图 2 所示. 由图 2 可见, 这类岩石的波段辐射特性的变化规律, 主要有 5 种基本变化形态. 波段 46 当应力增至  $75 \text{MPa}$  和  $100 \text{MPa}$  时, 出现连续恒定辐射; 波段 5 当应力增至  $50 \text{MPa}$  和  $125 \text{MPa}$  时, 出现恒定

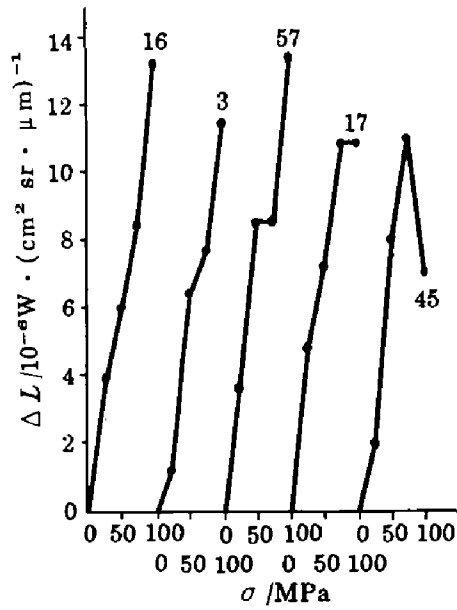


图 1 粗粒石英砂岩波段辐射特性  
Fig. 1 The waveband radiation characteristics of the coarse quartz sandstone

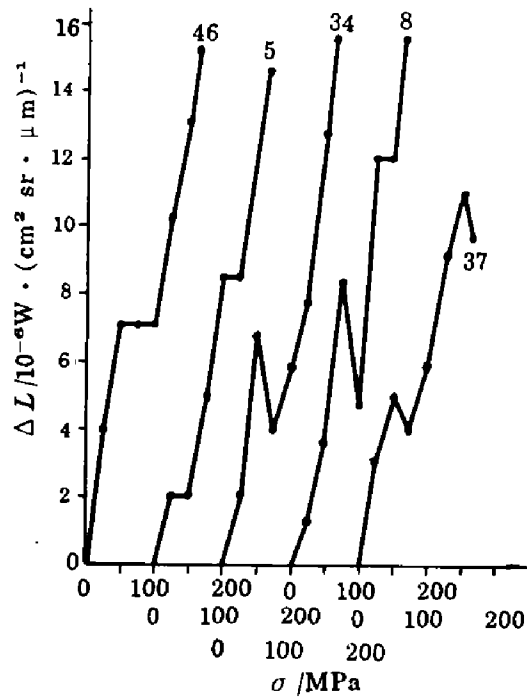


图 2 细粒闪长岩波段辐射特性  
Fig. 2 The waveband radiation characteristics of the fine grain diorite

辐射；波段 34 当应力增至 75 MPa 时出现吸收；波段 8 当应力增至 100 MPa 和 150 MPa 时，分别出现吸收和恒定辐射；波段 37 当应力增至 75 MPa 和 175 MPa 时出现吸收。图 2 中，波段 5、8、34、37 和 46 的中心波长分别是 8.3069、8.5324、10.571、10.803 和 11.503 μm。

2.3 第三类波段辐射特性及特征

第三类波段辐射特性的变化规律是非线性变化，并且出现多次吸收，很少有线性变化的应力区间，在某种应力状态下在一些波段出现强吸收或强辐射。属于这类变化规律的岩石，主要是花岗岩类。以碱性花岗岩为例，其波段辐射特性如图 3 所示。由图 3 可见，这类岩石的波段辐射特性比较复杂，其变化规律主要有图 3 所示的 6 种基本形态。波段 1 当应力增至 25 MPa (A 点)、波段 16 当应力增至 50 MPa (B 点) 和波段 69 当应力增至 50 MPa (D 点) 时，出现强吸收。波段 34 当应力增至 150 MPa (C 点) 和波段 69 当应力增至 150 MPa (E 点) 时，出现强辐射。图 3 中，波段 1、4、12、16、54 和 69 的中心波长分别是 8.0141、8.2317、8.8494、9.1685、12.112 和 13.236 μm。

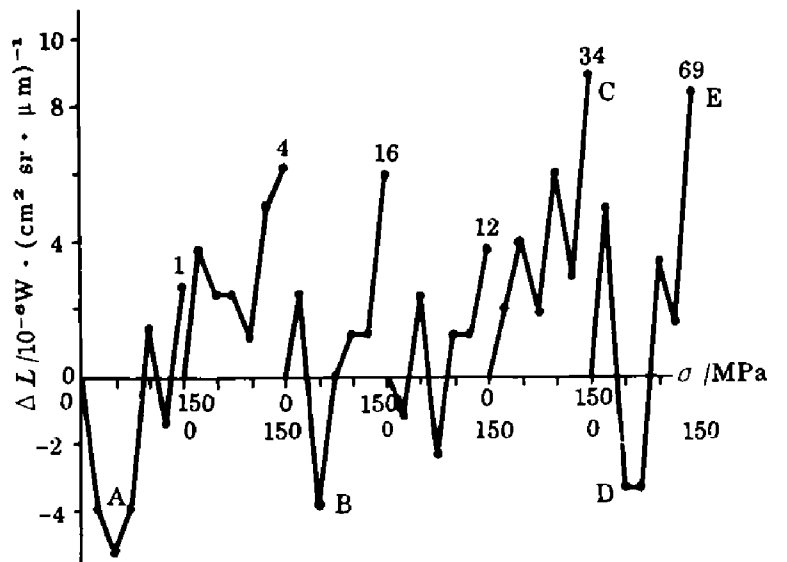


图 3 碱性花岗岩波段辐射特性  
Fig. 3 The waveband radiation characteristics of the alkali granite

## 2.4 第四类波段辐射特性及特征

前三类波段辐射特性是短波波段的波段辐射特性, 在长波 ( $\lambda \geq 14.0 \mu\text{m}$ ) 波段, 绝大多数岩石出现极强吸收和极强辐射波段, 比短波波段的吸收和辐射大几倍到十几倍. 以细粒闪长岩为例, 其波段辐射特性如图 4 所示. 波段 83 和波段 86 的吸收分别达到  $-10.0 \times 10^{-6} \text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$  和  $-41.0 \times 10^{-6} \text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$ , 波段 85 的辐射达到  $34.5 \times 10^{-6} \text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$ . 图 4 中, 波段 83、85 和 86 的中心波长分别是  $14.286$ 、 $14.826$  和  $15.096 \mu\text{m}$ .

## 2.5 预报岩石破裂的遥感特征波段

在岩石临破裂前的一段应力区间, 出现显著的遥感前兆特征信息, 以粗粒石英砂岩为例 (见图 5), 这些岩石临破裂前的遥感特征信息是: (1) 线性或近似线性变化的波段一直保持线性或近似线性变化, 直到岩石破裂, 如图 5 中波段 37 所示. (2) 当应力增至破裂应力 75% 左右时, 辐射急聚增强直到岩石破裂, 如图 5 中波段 46AB 所示. (3) 当应力增至破裂应力 75% 左右时, 辐射增强 (见波段 2CD); 应力增至临破裂应力时, 由强辐射转为恒定辐射直到岩石破裂, 如图 5 中波段 2DE 所示. (4) 当应力增至破裂应力 75% 左右时, 出现强吸收直到岩石破裂, 如图 5 中波段 55FG 所示. (5) 当应力增至破裂应力 50% 左右时, 辐射增强 (见图 5 中波段 74HI), 应力达到破裂应力 75% 左右时, 辐射由增强到减弱 (见图 5 中波段 74IJ), 当应力接近破裂应力时, 辐射急剧增强直到岩石破裂, 如图 5 中波段 74JK 所示.

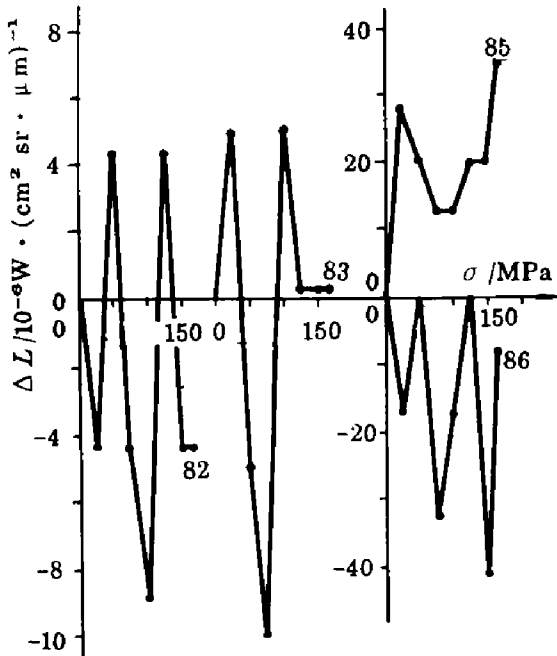


图 4 细粒闪长岩长波波段的辐射特性  
Fig. 4 The long-wave waveband radiation characteristics of the fine grain diorite

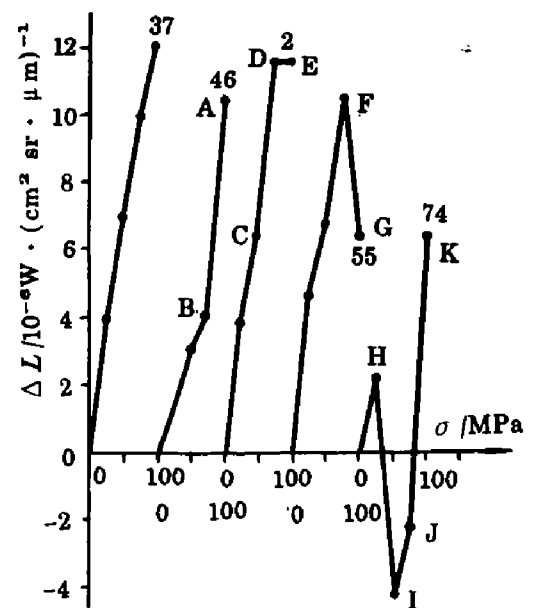


图 5 粗粒石英砂岩的遥感特征波段  
Fig. 5 The remote sensing characteristic waveband of the coarse quartz sandstone

具有第一和第二类波段辐射特征的岩石的破裂遥感特征波段的形态和特征如图 5 所示. 具有第三类波段辐射特性的花岗岩类的破裂遥感特征波段则是另一种形态和特征. 这种破裂遥感特征波段在 86 个波段中表现在许多波段. 岩石破裂遥感特征波段的存在为预

报岩石破裂的时间提供了判据和可能.

### 3 结语

经过对已测出的 2924 条波段辐射特性的分析与研究, 可得出:

(1) 对于一块岩石标本, 在 86 个波段中没有完全相同的波段辐射特性. 被测量的不同化学成分不同结构的岩石标本中也没有完全相同的波段辐射特性. 即不同成分不同结构岩石的波段辐射特性是不同的.

(2) 尽管波段辐射特性是不同的, 但就总的变化规律、形态和特征而言, 主要为图 1~图 4 所示的变化规律、形态和特征. 破裂应力低于 50 MPa 岩石的波段辐射特性为线性和近似线性.

(3) 岩石电磁辐射随应力变化的变化量与岩石破裂应力大小的关系不密切, 但波段辐射特性的形态和特征与岩石破裂应力大小的关系密切.

(4) 对于不同波段, 在不同的应力区间, 辐射能量随应力变化的速率不同.

(5) 绝大多数岩石标本从波长  $14.135 \mu\text{m}$  左右的长波波段出现极强辐射和极强吸收, 比小于  $14.135 \mu\text{m}$  波长的辐射和吸收大几倍到十几倍.

(6) 绝大多数岩石都存在预报岩石破裂的遥感特征波段.

上述研究结果对于选取最佳遥感波段及波段数、对于建立遥感信息的判读标志及判读、对于建立辐射能量的变化量与相应应力值的定量关系、对于建立预报岩石破裂的判据及预报指标等都具有重要的意义.

### 参考文献

- 1 崔承禹, 邓明德, 耿乃光. 科学通报, 1993, 38(6): 538~541
- 2 耿乃光, 崔承禹, 邓明德. 地震学报, 1992, 14(增刊): 645~652
- 3 邓明德, 崔承禹, 耿乃光. 中国地震, 1993, 9(2): 163~169

## STUDY ON THE INFRARED WAVEBAND RADIATION CHARACTERISTICS OF ROCKS\*

Deng Mingde<sup>1)</sup> Cui Chengyu<sup>2)</sup> Geng Naiguang<sup>3)</sup> Zhi Yiqiao<sup>2)</sup>

*<sup>1)</sup>Comprehensive Observation Brigade, State Seismological Bureau, Beijing 100039, China*

*<sup>2)</sup>Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*

*<sup>3)</sup>Institute of Geophysics, State Seismological Bureau, Beijing 100081, China)*

**Abstract** The physical concept of the band radiation characteristics is put forward and its measurement and study have been performed on the infrared band radiation characteristics of rocks, from which satisfactory results have been obtained. These results are of great significance to the selection of the remote sensing wave bands, setting up of the judging marks of remote sensing information and building up of the quantitative relationship between the variation of infrared radiation energy of rocks due to the change of stress exerted on them and the corresponding stress.

**Key words** rock, infrared, waveband radiation, rock fracture.

---

\*The project supported by the Earthquake Scientific Associated Funds