

# 基于热红外辐射的花岗岩岩爆实验研究

王洪建, 刘大安, 崔振东, 牛晶蕊

中国科学院地质与地球物理研究所, 中国科学院工程地质力学重点实验室, 北京, 100029

## 1 引言

岩爆是岩土工程中经常遇到的危害极大的地质灾害之一(He M.C, 2006)。而各类的岩石工程已经在人类的生存、发展中起到举足轻重的作用,而且将来会越来越重要。对岩体工程的稳定性的研究及对岩石工程失稳灾害的预测预报也越来越成为关系到国运民生的重要课题。

将遥感(主要为热红外和微波)用于岩石力学研究,即遥感监测岩石在受力至破裂过程中红外辐射特征的变化时近 10 年的事情。众所周知,构造地震的发生与岩石破裂有密切关系,所以许多学者(吴立新, 1998, 2002)进行了岩石破裂过程的红外监测实验研究,发现大部分岩石存在破裂的红外前兆(吴立新, 王金庄, 1998)。苗金丽等(苗金丽, 宫伟力, 李德建, 2008)对煤和花岗岩在单轴压缩条件下的红外热像与声发射特征进行二次分析,并以能量转化为主线解释破坏机理。

以上研究工作者对红外遥感在地震及岩石力学方面的研究作出了很大贡献,岩石破裂的红外异常作了深入探讨。然而,这些研究大多是从单轴加载及单轴循环加卸载条件下的角度观察实验结果,不能准确地模拟复杂地质条件下岩石的破坏特征。基于上述问题本文探讨真三轴加载条件下岩石破坏特征,总结了高地应力条件下,发生岩爆时的红外热像特征。对分析和讨论花岗岩试件的破裂过程和岩爆发生机理有一定的借鉴意义。

## 2 实验系统及试件

### 2.1 实验系统

利用深部岩土力学与地下工程国家重点实验室(北京)的深部岩爆过程模拟实验系统(何满潮,

苗金丽, 李德建, 2007),进行了花岗岩的岩爆实验。实验系统配备了高速采集仪及 TVS-8100MK II 型红外摄像系统。TVS-8100MK II 型红外摄像系统由摄像机、采集系统和分析成像系统三部分组成。温度灵敏度为  $0.025^{\circ}\text{C}$ , 图像采集速度最大可达 60 帧/秒。根据热力耦合原理和斯蒂芬-波尔兹曼定律,物体的红外辐射强度表达式为  $M = \kappa\sigma T^4$  ( $T$  为物体的绝对温度,  $\kappa$  为物体的发射率,  $\sigma$  为 Stefan-Boltzman 常数),所以可以通过探测物体表面的红外辐射温度变化来监测其在力作用下的变形破坏特征。

### 2.2 实验试件

本文研究所用的试样为莱州花岗岩,试样尺寸约为  $150\text{mm}\times 60\text{mm}\times 30\text{mm}$ ,密度为  $2.59\text{g}/\text{cm}^3$ 。岩块致密坚硬,呈肉红色,其矿物成分主要有石英(36.6%)、钾长石(28.9%)、斜长石(26.7%)、以及粘土矿物(7.8%,以高岭石为主);样品较完整,无原生裂纹。

## 3 花岗岩岩爆实验过程分析

### 3.1 实验结果和现象

卸载岩爆实验用于判断岩体在三向应力组合作用下,卸载某一方向的应力后可能发生的岩爆特征,最终得到该类岩体的岩爆临界深度及临界载荷。在进行初始加载前,先对试件表面拍摄两张红外图像,作为实验的起始状态。本次实验过程有七次加载和两次单面卸载,整个实验大概持续了一个小时:在加载初期,有轻微响声,然后趋于平静;第六级加载后试件进行第一次卸载,此时的三向应力值为  $\sigma_1=120\text{MPa}$ 、 $\sigma_2=60\text{MPa}$ 、 $\sigma_3=0\text{MPa}$ 。此次卸载岩样并没有马上发生岩爆,而是有细小的碎屑颗粒弹出;随着垂直方向  $\sigma_1$  不断增大,当进行第

注:本文为国家重点基础研究发展计划 973 资助项目(编号 2011CB707303)。

收稿日期: 2013-03-13; 改回日期: 2013-03-31; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 王洪建,男,1986 年生。河南信阳人,博士研究生。主要从事地质工程和地质灾害方面的研究工作。Tel: 18911585399; E-mail: wanghongjian@mail.iggcas.ac.cn。

二次卸载后, 试件表面的应力集中更加明显, 出现了快速、大范围的碎屑、块弹射和抛掷, 岩爆发生相当剧烈, 响声很大。发生岩爆的三向应力值最终为  $\sigma_1=140\text{MPa}$ 、 $\sigma_2=60\text{MPa}$ 、 $\sigma_3=0\text{MPa}$ 。

### 3.2 岩爆过程红外热像特征分析

岩石跟其它固体材料一样, 在弹性限度内, 受到压力作用时温度会上升, 而受到拉力作用时温度会下降, 即热弹效应; 在塑性变形阶段即发生热力耦合效应(吴立新, 唐春安, 钟声, 2006)。根据上述红外热像原理, 对岩爆实验过程进行实时红外测量, 记录试件表面温度场变化。卸载及应力加载过程中, 共计拍摄红外图像 400 幅。

如图 1 所示, 图(a)是第一次卸载拍摄的红外图像, 从图中可以看出试件大部分呈现浅蓝色, 只有试件上部区域呈现浅黄色, 有少许红色斑点, 表明在第一次卸载时试件并没有发生岩爆, 而是只有上部有少许碎屑弹出。第二次卸载红外辐射图像, 如图 1(b~f)所示: 试件上部的黄色和红色区域明显增多, 而且扩展到试件中部, 出现了应力集中; 出现了两条异常条带, 一个高温异常条带如图 1(f)中的红外直线标出, 另一个低温异常条带如图 1(f)中的蓝色直线标出。岩石在三轴加载后突然单面卸载, 引起红外辐射异常变化是应力致热的红外辐射效应。在弹性阶段岩石出现大面积整体性的升温是热弹效应; 在后期就会出现不同性质的条带状红外异常, 并迁移扩展, 反应了岩样中微破裂产生、迁移、发展的时空过程, 最后连通并迅速发展为宏观可见的破裂, 最终导致岩爆发生。红外热

像同实验过程中拍摄的可见光照片能很好的吻合。

## 4 结论

(1) 根据岩爆试件表面红外测试结果, 分析了高应力作用下花岗岩岩爆破坏过程中的红外热像特征, 表明花岗岩在单面卸载后产生明显的应力重分布和应力集中;

(2) 局部热红外辐射高温和低温条带与花岗岩试件的破裂贯通走向相一致, 并且与试件表面宏观破裂位置相吻合;

(3) 实验中热像仪反应的热分布的非均匀及其时空演化特征则是由于正应力分布的非均衡以及正应力场的时空变化造成的。

## 参考文献 / References

- 吴立新, 王金庄.1998.煤岩受压红外热像与辐射温度特征实验.中国科学: D 辑, 28(1): 41~46.
- 苗金丽, 宫伟力, 李德建.2008.基于信息融合技术的岩石单轴压缩破坏特征.矿业研究与开发, 28(3): 22~24.
- 何满潮, 苗金丽, 李德建.2007.深部花岗岩试样岩爆过程实验研究.岩石力学与工程学报, 26(5): 865~867.
- 吴立新, 唐春安, 钟声.2006.非连续断层破裂红外辐射与声发射、应力场的对比研究.岩石力学与工程学报, 25(6):1111~1117.
- He M C. 2006. Rock Mechanics and Hazard Control in Deep Mining Engineering in China[C].ISRM International Symposium. 4th Asian Rock Mechanics Symposium. Rock Mechanics in Underground Construction, 29~46, Singapore. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. NEW JERSEY. LONDON.SINGAPORE.BEIJING etc.

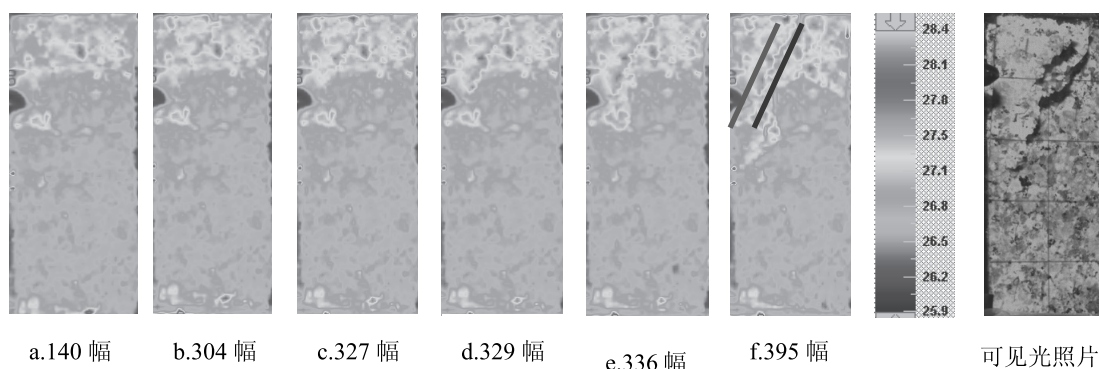


图 1 花岗岩岩爆实验过程中红外热像