

混凝土破裂与渗水过程的红外辐射特征

刘善军^{1,2}, 张艳博², 吴立新¹, 李国良², 陈群龙²

(1. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110004; 2. 河北理工大学 资源与环境学院, 河北 唐山 063000)

摘要: 对内含水体的混凝土试样进行单轴压缩加载, 利用红外热像仪并辅以声发射仪, 观测加载过程中试样的红外辐射与声发射变化特征, 研究混凝土破裂与渗水的红外异常前兆。实验结果显示, 随着应力的阶段性发展, 试样表面的红外辐射呈现早期整体性均匀上升、中期局部高温异常、后期低温异常的主要特征, 声发射相应出现早期微量增加、中期均匀增加、后期快速增加的特征。加载中、后期红外热像出现的局部辐射温度“先升后降”现象是混凝土破裂-渗水的重要红外异常前兆, 其出现的时间要早于应力和声发射前兆。整个破裂与渗水过程中, 高温区域包围低温区域的温度场分布是热像的主要特征。基于实验结果, 分析试样红外辐射阶段性变化以及破裂、渗水异常前兆的机制, 讨论应力、红外及声发射灾变前兆时间差异性的原因。实验结果对水库大坝以及其他储水混凝土工程破裂与渗水的遥感监测与灾变预警具有重要的意义。

关键词: 遥感-岩石力学; 混凝土; 渗水; 红外辐射; 安全监测

中图分类号: TU 45

文献标识码: A

文章编号: 1000-6915(2009)01-0053-06

INFRARED RADIATION FEATURE OF CONCRETE DURING FRACTURING AND WATER SEEPAGE PROCESS

LIU Shanjun^{1,2}, ZHANG Yanbo², WU Lixin¹, LI Guoliang², CHEN Qunlong²

(1. College of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang, Liaoning 110004, China;

2. College of Resources and Environment, Hebei Polytechnic University, Tangshan, Hebei 063000, China)

Abstract: To study the variation features of infrared radiation(IR) and acoustic emission(AE) of concrete during the fracturing and water seepage process, a concrete block is pressurized with embodied water to uniaxially compressive stress. The changes of its IR radiation and AE are measured using an infrared thermal imager and a AE instrument. The experimental results show that IR radiation of the sample's surface regularly varies with the stress in different stages. The IR radiation shows an overall rise in early term, then partial high temperature in medium term, and partial low temperature in late term. The corresponding AE shows a little increase in the early term, then steadily increase in the medium term, and rapidly increase in the late term. It is revealed that the IR radiation experiences decreasing after early increase is the anomalous precursor of the fracturing and water seepage of concrete. The IR anomalous precursor happens earlier than stress and AE anomalous precursor. The thermal images of the sample also show that the low-temperature areas are surrounded by the high-temperature areas during the fracturing and water seepage process, which is the main feature of radiation temperature field. The mechanism of IR radiation variation in the loading process and the IR anomalous precursor of fracturing and water seepage are analyzed. The time difference between stress precursor, IR radiation precursor and AE precursor is also discussed. The experimental results are useful for the remote sensing monitoring and disaster

收稿日期: 2008-06-04; 修回日期: 2008-07-31

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(50774017); 国家杰出青年基金资助项目(50525414); 河北省自然科学基金资助项目(E2008000410)

作者简介: 刘善军(1966-), 男, 博士, 1988年毕业于河北矿冶学院采矿工程系, 现任教授, 主要从事遥感-岩石力学及地震遥感方面的教学与研究。E-mail: liusjdr@126.com

forecasting on concrete dam and other concrete engineering.

Key words: remote sensing-rock mechanics; concrete; seeping; infrared radiation; safe monitoring

1 引言

许多混凝土工程,如水库大坝、尾矿库、电厂储灰池等,其破裂与渗水是造成工程失稳从而引起灾变的主要问题,对其进行动态监测和灾变预警是保证工程正常运行以及防灾减灾的关键。20世纪90年代初,一些学者^[1~3]为了解地震前的红外异常机制,进行了岩石加载过程的红外观测实验研究,发现岩石红外辐射随应力发展呈阶段性变化,8.3~10.1, 10.3~12.2, 13.0~15.1 μm 波段的变化尤为显著,3.0~5.0和8.0~14.0 μm 波段的大气窗口是适用的监测波段。耿乃光等^[4]发现,岩石破裂前在未来破裂位置出现不同性质的前兆,低温前兆对应张性破裂,而高温前兆对应剪性破裂。刘善军等^[5~7]对岩石破裂前的红外前兆研究发现,岩石破裂存在平均红外辐射温度-时间曲线异常和热像异常2种形式,分别反映前兆的时、空特征,热像异常分为高温条带和低温条带2种类型,平均红外幅射温度-时间曲线异常分为降温、升温加速和降温转升3种类型,前兆出现在岩石载荷峰前(0.77~0.87) σ_c 的应力区间内,高围压和压性强的剪性破裂出现前兆的几率要大于低围压和压性弱的剪性破裂,岩石破裂出现红外前兆的机制是岩石的热弹效应和摩擦热效应的综合作用。

为了解煤岩破坏过程的红外前兆特征,L. X. Wu等^[8, 9]开展了煤岩单轴压缩过程的红外热像观测实验,发现煤岩屈服过程中有3类辐射热像特征和3类辐射温度异常特征,分别对应3类屈服前兆信息,0.79 σ_c 可作为煤岩稳定性监测的应力警戒区。

混凝土是岩石的相似材料,为了解混凝土受力及破裂过程的红外辐射变化特征,以探索利用红外热成像技术进行混凝土工程破裂与失稳动态监测的可能性,M. P. Luong^[10, 11]利用热成像技术研究了混凝土在疲劳和破坏过程中的热红外辐射特征,利用力-热耦合效应,分析了混凝土在疲劳、损伤、破裂和破坏等过程中伴随的热现象,监测损伤和破坏过程中微裂纹出现、发育和增长过程,判断内部损伤的出现位置,进行疲劳强度评价等。邓明德等^[12, 13]进一步进行了混凝土加载过程的红外辐射观测实验,发现红外辐射随应力变化而显著变化,

在试件临破裂前出现异常前兆,异常位置对应破裂位置。

在建筑行业,利用红外技术进行混凝土材料及结构的无损检测,是红外热成像技术应用的一个重要领域,如进行桥梁的缺陷检测^[14]、混凝土结构的无损检测^[15, 16]以及建筑结构的渗水检测^[17]等,而对于混凝土在受载情况下破裂与渗水整个过程的红外动态监测还未见报道。

鉴于此,本文利用红外热像仪并辅助声发射仪,对内含水体的混凝土试样进行了加载过程的红外与声发射观测实验,探索混凝土在破裂与渗水过程中的红外辐射特征,重点捕捉混凝土破裂与渗水的红外异常前兆,为利用红外热成像技术进行储水混凝土工程的失稳监测预警奠定实验基础。

2 实验设计

2.1 实验设备

实验采用WAW-2000微机控制电液伺服万能试验机,其最大载荷为2000 kN,实验中采用单轴加压的方式进行加载。红外辐射探测装置采用德国VarioSCAN3021ST型红外热像仪,其光谱范围为8~12 μm ,温度灵敏度为0.03 $^{\circ}\text{C}$,图像分辨率为360 pixel \times 240 pixel,图像最大采集速率为5 fps。声发射仪采用SDAES 2通道声发射检测仪,其中心频率为50 kHz,采集速度为2.5 MHz,增益40 dB,带宽10~2000 kHz。

2.2 实验试样制作

选择普通混凝土作为试样材料,制作边长为150 mm的立方体,然后在顶面距边缘2 cm处垂直钻 ϕ 25 mm的圆孔。圆孔不钻透,底部留下20~30 mm的壁厚。之后,使用不透水漆对孔壁进行涂抹,在漆晾干后向内注水,并在上部留下3 cm的空间,便于使用速凝混凝土封盖,形成内含水体的混凝土试件。整个试样的制作标准是要求孔内的充水在未加载前不向外渗水。

2.3 实验方法

利用加载试验机对试样在孔的封盖端进行加载,记录载荷和位移数据。将热像仪安装在距试样约1 m处,进行加载过程中试样表面的红外温度场变化观察和数据采集;在试样背面安装2个声发射

探头, 利用声发射仪记录加载过程中试样的声发射事件; 利用数码相机拍摄加载过程中的可见光照片。实验前, 对上述实验装置的时间记录进行校对, 确保时间同步变化。实验时, 各实验装置同时开始记录, 且同时结束记录。压力机的加载速度为 0.3 mm/min, 热像仪的热像采集速度为 1 fps。为防止实验中环境因素对试样红外辐射的干扰, 实验前除特殊情况, 要求试样的制备过程在加载实验室进行, 确保加载前试样与环境的温度保持一致; 实验中禁止人员走动, 以防止人体辐射的不确定性干扰。图 1 给出了试样加载现场照片。

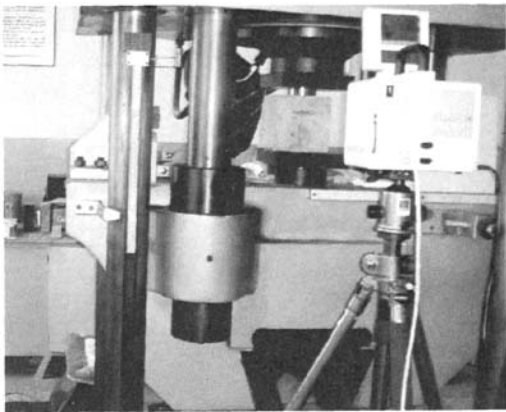


图 1 试样加载现场照片
Fig.1 Field loading photo of sample

3 实验结果

3.1 加载过程中应力变化分析

图 2 给出了载荷和辐射温度随时间的变化曲线。从载荷曲线可看出: 60 s 前, 由于压头与试样间存在间隙, 压头虽移动, 但无载荷, 曲线保持水平; 之后, 压头与试样发生接触, 载荷开始上升, 并经过了初期的空隙压密阶段和弹性变形阶段; 在 198 s 时(对应图 2 中的点 c)载荷上升减缓, 曲线发生向上弯曲, 表明试样进入塑性变形阶段, 微裂隙开始发育; 在 241 s(对应图 2 中的点 d)时载荷达到峰值; 之后载荷逐渐下降, 并具有较长的残余应力阶段。

3.2 加载过程中红外辐射变化特征

图 3 给出了试样加载过程中热像仪获得的热像变化情况。热像显示, 在 112 s(对应图 2 中的点 a)之前, 试样辐射温度总体未发生变化。112 s 之后, 试样辐射温度整体性上升, 到 180 s(对应图 2 中的

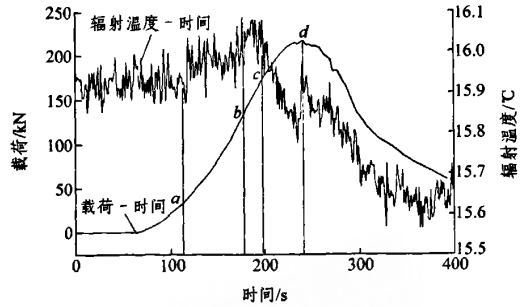


图 2 载荷和辐射温度随时间的变化曲线
Fig.2 Variation curves of load and radiation temperature with time

点 b)时增幅约为 0.08 °C。180 s 时在试样中部偏右位置出现一点状高温异常, 之后点发展为垂直方向的短条带, 并在其左下方又出现一点状高温异常(见图 3(b))。之后高温异常区域的温度逐渐升高, 并在 198 s 时达到最高点, 最早出现高温异常的部位温度转为下降, 202 s 时出现 3 个串珠状低温点, 并逐渐连成带, 温度不断下降, 一直持续到 236 s 达到最低点。对照可见光图像, 表明降温点对应渗水点。即降温是由于有水渗出所造成。之后, 降温点的温度又回升, 在点 d(241 s)达到回升后的最高点, 继而再转为下降, 一直持续到加载结束。

上述情况表明, 由于混凝土材料的弹塑性特征, 在试样达到峰值应力点之前局部就已经出现破裂并渗水, 导致点 c 较早出现在点 d 之前, 这也为利用红外手段进行混凝土的破裂与渗水监测提供了时间。

为定量反映渗水点在加载过程的温度变化情况, 对最早出现渗水的位置(见图 3(e)中点 P)绘制该点辐射温度随时间的变化曲线(见图 2), 该曲线很好地反映了渗水点部位在整个加载过程的温度变化情况。

对试样整个加载过程的热像变化进行分析, 发现主要存在以下特征: (1) 在加载早期, 试样表面的红外辐射温度随载荷的增加呈整体均匀性上升, 不存在局部异常现象; (2) 在加载中期, 局部出现点状、条带或串珠状的高温异常现象, 异常随着载荷的上升具有扩展和迁移特征, 且温度不断升高; (3) 在加载后期, 某些高温异常部位的温度不再上升而转为下降, 降温幅度不断增大, 并在临近峰值应力点时还会出现短暂性的上升反弹现象, 而

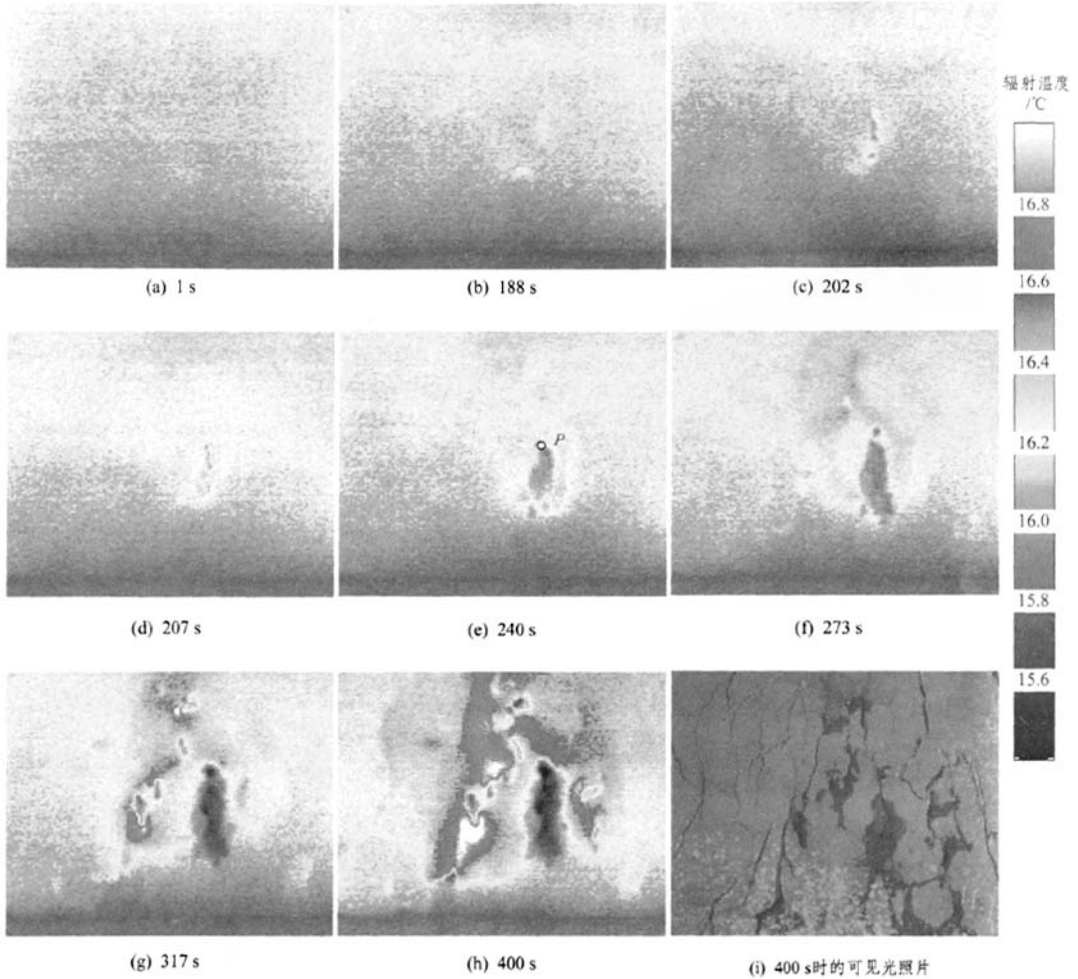


图3 加载过程中试样的热像变化
Fig.3 Thermal images variation in loading process

在整个降温过程中，低温区域始终被高温区域所包围。

3.3 加载过程中声发射变化特征

图4给出了加载过程中试样声发射事件数-时间关系，从图中可以看出：在60s之前，无声发射；60~112s，声发射微量；113~198s，声发射均速上升；199s~226s，声发射加速上升；227s时声发射减弱，241s时到谷点；之后又上升，270s时声发射到顶，之后缓慢下降。

将图4中的声发射与图2中的红外辐射变化进行对比，发现二者有一定的对应关系：在加载早期(相当于60~112s)，声发射事件微量增加，此阶段红外辐射变化不大；中期(相当于图2中的ac阶段)，

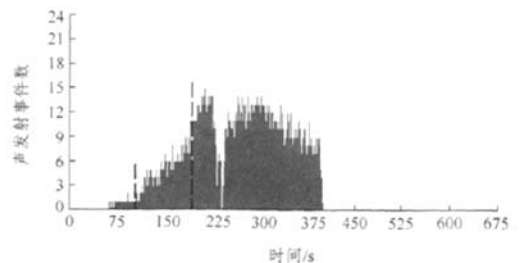


图4 加载过程中试样声发射事件数-时间关系
Fig.4 Acoustic emission events-time relation of sample in loading process

声发射事件均匀增加，红外辐射强度先慢速增加再到快速增加，点b为拐点；在加载后期(相当于图2

中的 cd 阶段), 声发射事件加速增加, 红外辐射温度则快速下降。比较二者的变化特征, 可以发现在变化步调及趋势上存在差异: 当红外辐射在 180 s (对应点 b) 出现加速上升时, 声发射没有趋势性变化, 仍保持原速上升; 当红外辐射的高温异常点在点 c 后出现转折性的温度下降时, 声发射数量呈快速增加; 当载荷临近峰值时, 红外辐射由降温趋势转为上升, 发生反弹, 而声发射则由强转为弱, 到峰值载荷时降到谷点。

4 讨论

(1) 加载过程中红外辐射阶段性变化的物理机制

① 加载初期, 试样处于弹性变形阶段而存在热弹效应^[18], 受压温度上升的变化量与应力变化量成正比, 其表达式为

$$\delta T/T = -K_0 \delta \sigma \quad (1)$$

式中: T 为固体单元的绝对温度, δT 为温度变化量, $\delta \sigma$ 为主应力和的变化量, K_0 为热弹系数。

因此, 试样在加载初期随着载荷上升, 表面辐射温度呈现整体、均匀性上升变化, 即是由热弹效应所致。

② 加载中期, 试样因局部应力集中产生微破裂, 裂隙表面错动摩擦产生热效应, 形成点状、条带状和串珠状等高温辐射区域。随破裂扩展及应力集中迁移, 高温异常随之发生扩展迁移。因此, 加载中期试样局部出现的高温异常是微破裂摩擦热效应所致。

③ 加载后期, 随着破裂的发育和裂隙加宽, 试块内部水体开始渗出。由于水的热容、热惯量较混凝土大, 且水存在蒸发效应, 故在相同条件下, 水的温度比其周围物体的温度低, 在热像仪中呈冷色调。随着渗水量增加, 温度不断下降。

(2) 试样局部的“先升后降”温度变化是混凝土破裂与渗水重要的红外异常前兆

实验结果表明, 混凝土在破裂及渗水过程中红外辐射显示异常变化, 特征为: 原来整体、均匀的热像背景中出现局部性的高温异常, 呈点状、条带状和串珠状等, 并具有逐渐扩展、迁移的特征。局部高温异常表明混凝土局部出现了微破裂现象, 其

时空演化代表了微破裂的时空发展。其后, 高温异常部位出现点状或散点状低温异常, 表明破裂处出现了渗水现象。随着破裂的继续发育, 渗水量及区域不断扩大, 导致低温异常区域不断扩大, 温度不断下降。

(3) 应力、红外及声发射灾变前兆的时间差异性

对照图 2~4 可以发现: 当红外热像在 180 s (63%峰值载荷) 局部出现高温异常时, 载荷曲线以及声发射图像并未发生明显的异常变化, 只有在 198 s (84%峰值载荷) 时二者才出现明显的异常变化, 载荷上升减缓, 声发射事件数量加速增加, 表明此时有大量的破裂产生。由此可见, 红外前兆出现的时间要早于应力和声发射, 这对于大坝破裂及灾变监测预警是非常有利的。

对照图 2~4 还可发现: 在点 c 后, 声发射出现先升后降、再上升的变化, 而渗水点处的红外辐射出现先降后升、再下降的变化, 变化趋势正好相反。分析原因认为, 这是由于在点 c 后试样先出现大量破裂、之后在临近峰值应力点发生短暂闭合(应力闭锁)、然后在峰值应力点破坏(解锁)所导致。破裂的闭合使得渗水量减少, 导致声发射减少和红外辐射强度的增加。

5 结论

本文针对混凝土工程破裂渗水问题, 利用红外热像仪、单轴加载试验机并辅以声发射仪, 对内含水体的混凝土试样进行了加载过程红外观测实验研究, 结果表明:

(1) 随着应力的阶段性发展, 试样表面的红外辐射呈现早期整体均匀上升、中期局部高温异常、后期低温异常的主要特征; 声发射则呈现早期事件数量微量增加、中期均匀增加、后期快速增加的特征。

(2) 试样局部呈现的辐射温度“先升后降”现象可作为混凝土材料破裂-渗水的红外异常前兆, 且红外前兆出现的时间要早于应力和声发射前兆。

(3) 整个破裂及渗水过程中, 热像呈现高温区域包围低温区域的温度场特征。

(4) 热力耦合分析结果表明, 加载过程中红外辐射的时空变化实际反映了应力场的时空变化, 高

温异常预示破裂产生,而低温异常表明已出现裂隙渗水现象。

实验结果为混凝土工程(如水库大坝、尾矿库、电厂储灰池等)破裂与渗水的遥感监测与灾变预警提供了实验基础。

参考文献(References):

- [1] 耿乃光, 崔承禹, 邓明德, 等. 岩石破裂实验中的遥感观测与遥感岩石力学的开端[J]. 地震学报, 1992, 14(增): 645 - 652.(GENG Naiguang, CUI Chengyu, DENG Mingde, et al. Remote sensing detection on rock fracturing experiment and the beginning of remote sensing rock mechanics[J]. Acta Seismologica Sinica, 1992, 14(Supp.): 645 - 652.(in Chinese))
- [2] 崔承禹, 邓明德, 耿乃光. 在不同压力下岩石光谱辐射特征研究[J]. 科学通报, 1993, 38(6): 538 - 541.(CUI Chengyu, DENG Mingde, GENG Naiguang. Rock spectral radiation signatures under different pressures[J]. Bulletin of Science and Technology, 1993, 38(6): 538 - 541.(in Chinese))
- [3] 邓明德, 崔承禹, 耿乃光, 等. 岩石的红外波段辐射特性研究[J]. 红外与毫米波学报, 1994, 13(6): 425 - 430.(DENG Mingde, CUI Chengyu, GENG Naiguang, et al. Study on the infrared waveband radiation characteristics of rock[J]. Journal of Infrared Millimeter Waves, 1994, 13(6): 425 - 430.(in Chinese))
- [4] 耿乃光, 于萍, 邓明德, 等. 热红外震兆成因的模拟实验研究[J]. 地震, 1998, 18(1): 83 - 88.(GENG Naiguang, YU Ping, DENG Mingde, et al. The simulated experimental studies on cause of thermal infrared precursor of earthquake[J]. Earthquake, 1998, 18(1): 83 - 88.(in Chinese))
- [5] 刘善军, 吴立新, 王川晏, 等. 遥感-岩石力学(VIII)——论岩石破裂的热红外前兆[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(10): 1 621 - 1 627.(LIU Shanjun, WU Lixin, WANG Chuanying, et al. Remote sensing-rock mechanics(VIII)—TIR omens of rock fracturing[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(10): 1 621 - 1 627.(in Chinese))
- [6] WU L X, LIU S J, WU Y H, et al. Precursors for rock fracturing and failure—part I: IRR image abnormalities[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2006, 43(3): 473 - 482.
- [7] WU L X, LIU S J, WU Y H, et al. Precursors for rock fracturing and failure—part II: IRRT-curve abnormalities[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2006, 43(3): 483 - 493.
- [8] WU L X, WANG J Z. Infrared radiation features of coal and rocks under loading[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 1998, 35(7): 969 - 976.
- [9] WU L X, CUI C Y, GENG N G, et al. Remote sensing rock mechanics(RSRM) and associated experimental studies[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2000, 37(6): 879 - 888.
- [10] LUONG M P. Infrared observation of failure processes in plain concrete[C]// Durability of Building Materials and Component, 4 DBMC. Singapore: Pergamon, 1987: 870 - 878.
- [11] LUONG M P. Infrared thermovision of damage processes in concrete and rock[J]. Engineering Fracture Mechanics, 1990, 35(1/3): 127 - 135.
- [12] 邓明德, 樊正芳, 耿乃光, 等. 混凝土的微波辐射和红外辐射随应力变化的实验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1997, 16(6): 577 - 583.(DENG Mingde, FAN Zhengfang, GENG Naiguang, et al. Testing study of the variation of microwave and infrared radiation in concrete with stress[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1997, 16(6): 577 - 583.(in Chinese))
- [13] 邓明德, 钱家栋, 尹京苑, 等. 红外遥感用于大型混凝土工程稳定性监测和失稳预测研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(2): 147 - 150.(DENG Mingde, QIAN Jiadong, YIN Jingyuan, et al. Research on the application of infrared remote sensing in the stability monitoring and unstability prediction of large concrete engineering[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2001, 20(2): 147 - 150.(in Chinese))
- [14] ABDEL-QADER I, YOHALI S, ABUDAYYEH O, et al. Segmentation of thermal images for non-destructive evaluation of bridge decks[J]. NDT and E International, 2008, 41(5): 395 - 405.
- [15] BREYSSE D, KLYSZ G X, DÉROBERT C, et al. How to combine several non-destructive techniques for a better assessment of concrete structures[J]. Cement and Concrete Research, 2008, 38(6): 783 - 793.
- [16] MAIERHOFER C, ARNDT R, RÖLLIG M. Influence of concrete properties on the detection of voids with impulse-thermography[J]. Infrared Physics and Technology, 2007, 49(3): 213 - 217.
- [17] 赵为民, 赵鸿, 赵鸣. 红外热像技术在检测建筑物渗漏中的应用[J]. 住宅科技, 2004, (5): 38 - 40.(ZHAO Weimin, ZHAO Hong, ZHAO Ming. Application of infrared thermal image technology to building leakage detection[J]. Housing Science, 2004, (5): 38 - 40.(in Chinese))
- [18] THOMSON W. On the dynamical theory of heat[J]. Transactions of the Royal Society of Edinburgh, 1853, 20: 83 - 261.

作者: 刘善军, 张艳博, 吴立新, 李国良, 陈群龙, LIU Shanjun, ZHANG Yanbo, WU Lixin, LI Guoliang, CHEN Qunlong
作者单位: 刘善军, LIU Shanjun(东北大学, 资源与土木工程学院, 辽宁, 沈阳, 110004; 河北理工大学, 资源与环境学院, 河北, 唐山, 063000), 张艳博, 李国良, 陈群龙, ZHANG Yanbo, LI Guoliang, CHEN Qunlong(河北理工大学, 资源与环境学院, 河北, 唐山, 063000), 吴立新, WU Lixin(东北大学, 资源与土木工程学院, 辽宁, 沈阳, 110004)
刊名: 岩石力学与工程学报 **ISTIC EI PKU**
英文刊名: CHINESE JOURNAL OF ROCK MECHANICS AND ENGINEERING
年, 卷(期): 2009, 28(1)
引用次数: 1次

参考文献(18条)

1. 耿乃光, 崔承禹, 邓明德. 岩石破裂实验中的遥感观测与遥感岩石力学的开端[期刊论文]-地震学报 1992(增)
2. 崔承禹, 邓明德, 耿乃光. 在不同压力下岩石光谱辐射特征研究 1993(06)
3. 邓明德, 崔承禹, 耿乃光. 岩石的红外波段辐射特性研究 1994(06)
4. 耿乃光, 于萍, 邓明德. 热红外震兆成因的模拟实验研究 1998(01)
5. 刘善军, 吴立新, 王川婴. 遥感-岩石力学(VIII)——论岩石破裂的热红外前兆[期刊论文]-岩石力学与工程学报 2004(10)
6. WU L X, LIU S J, WU Y H. Precursors for rock fracturing and failure-part I:IRR image abnormalities 2006(03)
7. WU L X, LIU S J, WU Y H. Precursors for rock fracturing and failure-part II:IRRT-curve abnormalities 2006(03)
8. WU L X, WANG J Z. Infrared radiation features of coal and rocks under loading 1998(07)
9. WU L X, CUI C Y, GENG N G. Remote sensing rock mechanics(RSRM) and associated experimental studies 2000(06)
10. LUONG M P. Infrared observation of failure processes in plain concrete 1987
11. LUONG M P. Infrared thermovision of damage processes in concrete and rock 1990(1/3)
12. 邓明德, 樊正芳, 耿乃光. 混凝土的微波辐射和红外辐射随应力变化的实验研究 1997(06)
13. 邓明德, 钱家栋, 尹京苑. 红外遥感用于大型混凝土工程稳定性监测和失稳预测研究[期刊论文]-岩石力学与工程学报 2001(02)
14. ABDEL-QADER I, YOHALI S, ABUDAYYEH O. Segmentation of thermal images for non-destructive evaluation of bridge decks 2008(05)
15. BREYSSE D, KLYSZ G X, D ROBERT C. How to combine several non-destructive techniques for a better assessment of concrete structures 2008(06)
16. MAIERHOFER C, ARNDT R, ROLLIG M. Influence of concrete properties on the detection of voids with impulse-thermography 2007(03)
17. 赵为民, 赵鸿, 赵鸣. 红外热像技术在检测建筑物渗漏中的应用[期刊论文]-住宅科技 2004(05)
18. THOMSON W. On the dynamical theory of heat 1853

相似文献(1条)

1. 期刊论文 吴立新, 李国华, 吴焕萍. 热红外成像用于固体撞击瞬态过程监测的实验探索 -科学通报2001, 46(2)

基于热辐射应力图像分析技术(SPATE)和遥感岩石力学(RSRM)的比较分析,提出了用热红外成像技术(TIR imaging)进行固体撞击瞬态过程监测的思路.利用高速和高精度的TVS-8100MKII TIR成像系统,对大理石、花岗岩、混凝土、钢板、有机玻璃板和木板共6类固体材料进行了落球击过程的TIR成像实验.实验发现:(1)撞击瞬间靶元有明显的TIR辐射升温现象;(2)球体大小不变时,升温幅度与落球势能(高度)线性相关;(3)升温幅度与靶元材料及其表面光洁度有关,幅度大小依次为混凝土、未抛光大理石、钢板、木板、抛光花岗岩、抛光大理石和有机玻璃板;(4)脆性材料撞击后TIR辐射逐渐衰减,而塑性材料撞击后有滞后增强现象.可以推断,一旦研究确定了与弹体特征和靶体材料相对应的撞击势能-靶元辐射强度的关系函数与技术参数,就可以基于TIR遥感成像技术实现固体撞击瞬态过程的遥感侦测与反分析.此外,TIR成像技术还对构造地震的前兆机理学研究及其卫星遥感预报有科学意义.

引证文献(1条)

1. 曹玉东, 颜雷, 孙永强. 混凝土土工建筑物冻融破坏与防治[期刊论文]-水利科技与经济 2009(9)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_yslxygxcb200901007.aspx

下载时间: 2010年5月28日