DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2018.01.014
何爱林, 王志亮, 毕程程. 华山花岗岩热力损伤特性及机理研究[J]. 水利水运工程学报, 2018(1): 95-101. (HE Ailin, WANG Zhiliang, BI Chengcheng. Experimental study on thermal damage characteristics and mechanism of Huashan granite[J]. Hydro-Science and Engineering, 2018(1): 95-101. (in Chinese))

华山花岗岩热力损伤特性及机理研究

何爱林, 王志亮, 毕程程
(合肥工业大学 土木与水利工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 为研究花岗岩的热力损伤特性及机理,借助超声检测分析仪与钨灯丝扫描电镜,分析了不同温度作用后岩石纵波波速衰减规律、损伤演化模型及细观机理。结果表明:温度低于 500 ℃时,花岗岩试样纵波波速随处理温度升高而缓慢降低,当温度接近 573 ℃,纵波波速呈迅速下降状态,最终渐趋于稳定;随着加热温度的升高,岩样的超声波波幅锐减,"拍"的长度变短;花岗岩内部热损伤与所经历的温度之间符合 logistic 曲线模型;温度在 20~500 ℃范围内, 花岗岩试样中主要产生晶间裂纹,裂纹数量随温度升高而增加;加温至 700 ℃时,岩样中产生晶内裂纹或穿晶裂纹,温度达到 900 ℃时,岩样出现宏观分岔裂隙。

关 键 词: 花岗岩; 处理温度; 热损伤; 宏观响应; 细观机理
中图分类号: TU451 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-640X(2018)01-0095-07

岩石是由天然的、具有稳定外形的固态矿物或岩屑在地质作用下按一定规律聚集而成的自然体,其类型、组成、围压、温度、应变率与含水量等都会影响岩石的物理力学性质。温度是影响岩石力学性能的主要因素之一,确保岩体工程在高温作用下的稳定与安全十分重要,例如煤与油页岩的现场气化、遭受火灾后的隧道工程修复、石油天然气的地下开采和储存等都需要考虑温度的影响[1]。为了更好地对岩体工程进行设计,需要明确岩石的物理力学性质随温度升高而产生的变化。

前人研究指出当温度高于阈值后,内部矿物会脱水或发生相变,微裂纹端部会产生水堆积和水解作用及其他物理化学反应,微裂纹快速扩展,使岩石内孔隙结构发生改变[2-3]。近年来,国内外学者在研究岩石热力学特性方面成果颇丰:朱合华等[4]对高温前、后熔结凝灰岩、花岗岩及流纹状凝灰角砾岩这 3 种岩石进行了单轴压缩试验,分析了高温后 3 种岩石的强度和变形特性;刘洋等[5]在搜集国内外相关文献资料的基础上,从超声波速、声衰减系数、频率、频谱、尾波等几个方面对岩石声学参数与应力相关性的研究现状进行了详细阐述;左建平等[6]通过大量试验实时在线观察,研究了不同温度作用下细观尺度砂岩的热开裂现象;倪骁慧等[7]通过单轴压缩试验和细观损伤特征量试验,对经历 20,100,300,450 和 600 ℃共 5 种温度循环作用后的四川锦屏大理岩试样的宏观力学性质及相应的细观损伤特征进行了研究;支乐鹏等[8]采用非金属超声检测分析仪和液压伺服试验系统装置,测试了高温后花岗岩的超声波特性,分析了花岗岩的热力学性能;Zhang 等[9]研究了不同温度下岩石内部水的逸出条件和物理力学性质的变化;Tiskatine 等[10]通过试验得出石英和方解石是控制岩石物理力学性质的主要矿物,花岗岩裂纹的产生是大晶体石英热膨胀导致的;Zhu 等[11]研究了带裂隙的砂岩高温后物理力学特性,指出随温度升高砂岩体积膨胀、密度减小,其破坏模式不但受温度影响很大,而且还与内部裂隙的倾角有关。

首先把制备好的花岗岩试样分别加热到 100,300,500,700 和 900 ℃,自然冷却至室温后进行超声波检

收稿日期: 2016-10-26
基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51379147,51579062)
作者简介: 何爱林(1992—), 女, 安徽合肥人, 硕士研究生, 主要从事岩石动力学研究。
E-mail: 1943275346@qq.com 通信作者:王志亮(E-mail:cvewzL@hfut.edu.cn)

测,通过分析超声波波速与波形的变化规律来研究岩石的热力损伤特性。接着,利用 Logistic 函数模型来拟合热力损伤与温度间关系,揭示其在表征花岗岩热损伤规律方面的适用性和可行性。最后,借助扫描电镜,从细观角度上探究岩石温度损伤机理,并将花岗岩随温度变化产生的裂纹大体分为晶间裂纹、穿晶裂纹和宏观分岔裂隙。

1 温度损伤试验过程

1.1 原材料与试样加工

试验采用的花岗岩石材取自陕西华山,呈灰白色块状构造,为粗粒黑云母花岗岩。该花岗岩的密度为 2 600 kg/m^3,吸水率为 0.57%,平均弹性模量和单轴抗压强度分别约为 50 GPa 和 138 MPa。其矿物成分主要有微斜长石(40%)、斜长石(25%)、石英(20%)和黑云母(8%)等。试样尺寸为 Φ50×100 mm,试件两端面的不平整度不大于 0.05 mm,试件高度上误差不大于 0.3 mm。

1.2 加热炉与测试设备

试验采用 SX2-4-10 箱式电阻炉对花岗岩试样进行加热,该设备采用硅炭棒元件加热和高性能纤维保温,可以实现自动升温和控温,最高设计温度为 1 000 ℃。试验中温度设置为 20,100,300,500,700 和900 ℃共 6 个温度等级,每组 3 个试样。以 10 ℃/min 的速度加热至预设温度后,恒温 2 h,然后在炉膛中自然冷却至室温,最后得到不同加热温度后的花岗岩试样。

所有花岗岩试样在加热前均进行质量和尺寸量测,然后采用中岩科技有限公司生产的 RSM-SYS5 超声检测分析仪对经历不同温度后的岩样进行超声纵波检测。平面超声换能器主频为 50 kHz,脉宽为 20 μs,采样精度设为 0.1 μs。纵波测试时采用凡士林作为耦合剂,消除探头与岩样间的空气,并压紧换能器,使换能器与岩体间的耦合层减至最薄,收到的讯号能量增大。

1.3 不同温升后岩样形态

花岗岩试样经历不同温度后的外观形态见图 1,常温下为灰白色,云母黑点密集分布;随温度升高,试样色调变暖。如 25~300 ℃试样从灰白色变到淡黄色;当温度升高到 500 ℃时,试样内部化学成分发生变化,点状黑云母分布变得稀少;500~900 ℃试样总体呈暖色调,体积略有增长、脆性增强,升温至 700 ℃后试样表面开裂且有碎屑掉落,能感觉到花岗岩内部结构已严重破坏。

(a) 20 ℃ (b) 100 ℃ (c) 300 ℃ (d) 500 ℃ (e) 700 ℃ (f) 900 ℃

图 1 不同温度作用后岩样照片

Fig. 1 Photos of samples under different temperatures

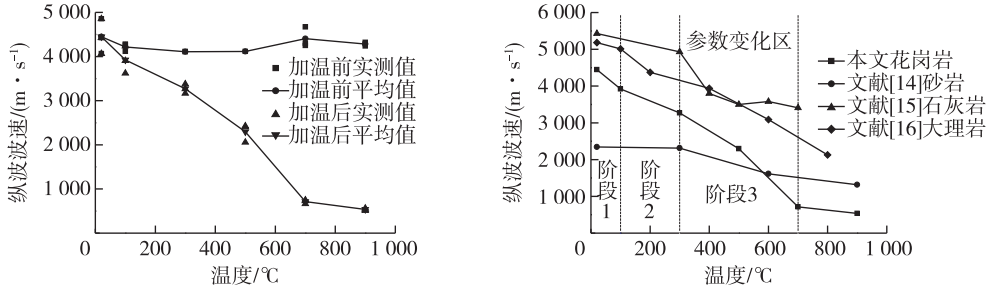
2 花岗岩热损伤宏观响应分析

2.1 超声波速与温度关系

岩体声波测试是以声波在岩体中的传播特性与岩体物理力学参数的相关性为基础。研究表明,岩体弹性波速与岩体的密度和完整性有关。升温作用后,岩石自身结构特性会发生很大改变,热损伤造成了岩石弹性性能的劣化,可以用超声时域和频域特征的变化来分析岩石损伤程度[12]。图 2(a)为不同温度作用后花岗岩试样超声纵波波速与温度之间的关系,从图中看出花岗岩纵波波速随加热温度的升高整体呈下降态势,平均纵波波速由常温下的 4 482 m/s 下降到 900 ℃的 535 m/s。温度低于 500 ℃时,波速随温度升高下降平缓,而温度接近 500 ℃后,随着温度升高,岩样纵波波速快速下降,700 ℃后逐渐趋于稳定。

为更好地探究不同类别岩石的纵波波速与温度之间的关系,图 2(b)把试验得到的花岗岩(岩浆岩)的

波速变化，同大理岩（变质岩）与石灰岩和砂岩（沉积岩）进行了综合对比，可以看出三大类岩石试样的波速基本都随温度升高呈下降趋势：第 1 阶段内，各岩石波速均有不同程度的下降；第 2 阶段为 100～300 ℃范围内岩石结构水丧失，波速均继续下降；第 3 阶段即 300～700 ℃范围内，因岩石矿物成分发生变化，波速差异特征明显。已有研究指出 573 ℃附近石英发生相变[13]，故 600 ℃前后花岗岩波速出现快速下降段；砂岩内部含有大量胶结物质，加热过程中这些胶结物质强度降低，其波速以相对平缓的趋势逐渐减小；石灰岩在加热到 380 ℃左右时会发生晶变[15]，所以此温度后波速快速降低。



(a) 加热前后花岗岩纵波波速　　(b) 典型岩石波速与温度关系

图 2　岩石纵波波速与加热温度间关系

Fig. 2　Relationships between longitudinal wave velocities and treated temperatures

研究表明，升温过程中岩石内部各种矿物成分热膨胀率的差异是产生大的热应力、应变和高应变能的主要原因，并促使岩石内部或表面裂纹起裂、扩展和分岔等，这可从高温后岩样表面肉眼观察到许多微裂纹得到证实。超声波传播遇到裂隙则不能通过，而是绕裂隙断点传播，导致纵波波速不断减小。另外，随着温度的升高试样内部水分散失，使原有的裂纹进一步增长，也会造成纵波波速减小。席道瑛等[17]研究指出石英在 573 ℃左右将由 α 相转变为 β 相，使得岩样内部出现严重的热损伤，导致岩石宏观力学性质劣化，这种相变可解释花岗岩在 500～ 700 ℃范围内超声波波速迅速降低的现象。

2.2　花岗岩热损伤模型

超声波作为理想的信息载体，在介质中传播时与介质相互作用，接收与岩石物理力学性质相关的各种信息。所以，岩样高温作用后自身内部的性质变化可用超声波加以表征，波速的显著下降正由于材料特性发生了显著变化[18]。为描述温度对岩石损伤特性的影响，采用纵波波速来定义花岗岩的热力损伤因子 D：

$$D = 1 - c_1^2/c_0^2 \tag{1}$$

式中：c_0 和 c_1 分别表示岩样经过温度作用前后的纵波波速。

为更好描述岩石温度损伤变化情况，采用 Logistic 函数曲线来进行拟合，该曲线具有单调递增性和有界性等特点，且呈 S 型。Logistic 曲线模型的一般表达式[19]为：

$$y = \frac{k}{1 + a\exp(-bx)} \tag{2}$$

式中：y 为变量 x 的对应量；a，b 和 k 均为待定系数。

将式(2)应用到温度载荷下岩石热损伤演化模型时，x 可用岩样升高的温度 T 表示，y 表示热损伤 D。为验证 Logistic 曲线模型在表征花岗岩热损伤方面的合理性，图 3 为华山花岗岩随温度损伤曲线。

图 3 还给出了本文试验结果与文献[8]和[20]测试的花岗岩试验数据进行了比较。可以看出，3 种花岗岩的拟合相关系数 R 均大于 0.97，说明 Logistic 曲线模型在揭示花岗岩热损伤规律方面具有良好的适用性和

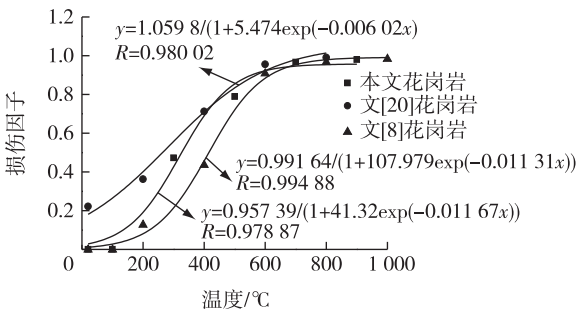


图 3　花岗岩损伤与温度关系

Fig. 3　Relationships between rock damages and different temperatures

可行性。整体规律是一开始损伤缓慢发展,接着随温度升高而快速增大,最后损伤演化逐渐稳定下来,并且损伤值接近 1.0(完全破碎)。

2.3 超声波信号中温度效应

发射换能器向被测试件中发射的超声波脉冲的特点是:从发射超声波那一刻开始,波幅按指数规律先增长到最大值再衰减到 0,波形呈“纺锤”形。这样一段脉冲通常称之为一“拍”(见图 4)。对于均匀密实的试件,声波传播路径简单,波形也较为规律;如果试件均质性较差(存在较多裂隙、孔洞等),声波将会在这些部位发生反射、折射与绕射等现象,波形就会较凌乱。图 5 分别为 20,100,300,500,700 和 900 ℃后花岗岩试样的超声波信号测试结果,对比不同温度等级下的波形图可以发现,随着温度升高,经岩样后接收波波幅减小,“拍”的长度随之缩短,这反映出随着温度升高,试样内部出现了阻碍声波传递的裂纹孔隙,这些缺陷主要来自于温度载荷诱发的损伤。

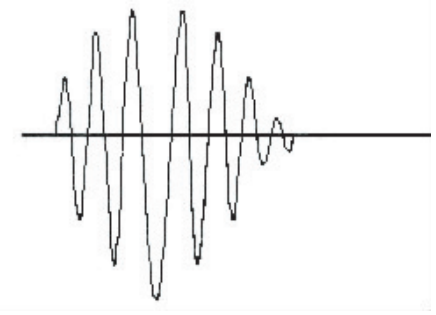
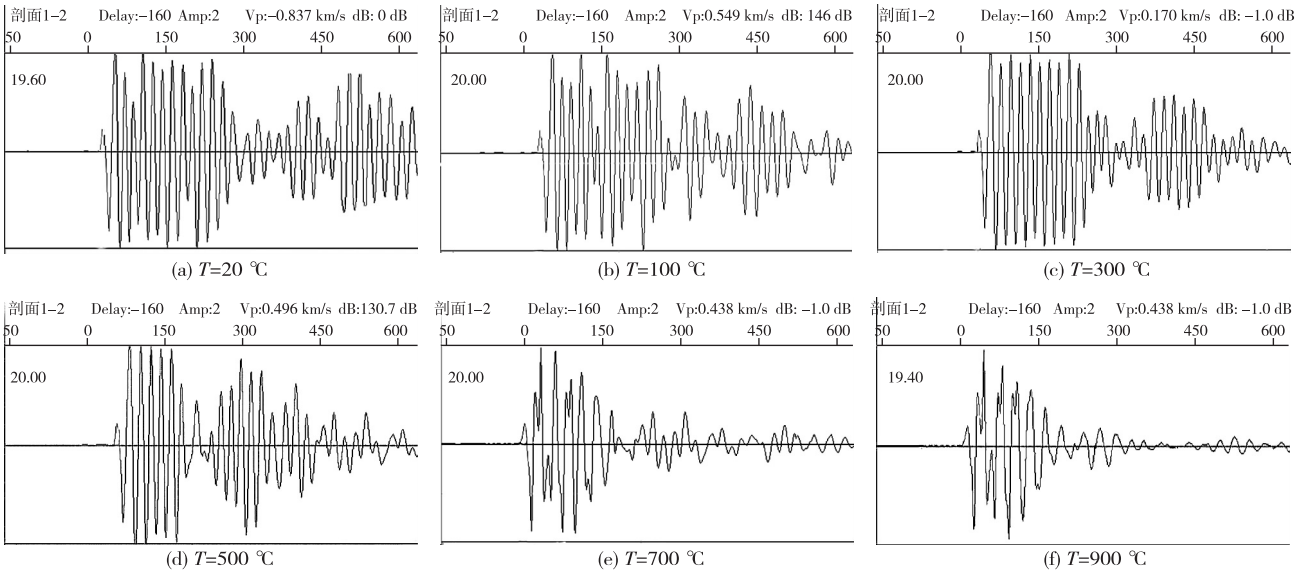


图 4 超声波换能器发射的“拍”信号

Fig. 4 “Beat” signal emitted by ultrasonic transducer



(a) T=20 ℃ (b) T=100 ℃ (c) T=300 ℃

(d) T=500 ℃ (e) T=700 ℃ (f) T=900 ℃

图 5 不同高温作用后岩样超声波测试信号

Fig. 5 Ultrasonic testing signal of sample under different temperatures

图 5 显示 500 ℃及以下,花岗岩波形图变化差异较小,超过 500 ℃的波形图变化十分明显,即波幅锐减且“拍”的长度缩小,可推测 500~700 ℃间存在温度阀值,一旦超过此值,花岗岩内部矿物发生了剧烈的相位变化,岩石出现严重的损伤破坏,这与文献[17]结论基本一致。

3 花岗岩热损伤细观机理分析

目前,扫描电子显微镜(SEM)技术现已广泛应用于岩土工程领域,它具有制样简便、分辨率高、立体感强和损伤小等特点。试验采用 JSM-6490LV 型钨灯丝扫描电子显微镜(见图 6),其点分辨率达到 3 nm,能很好地观察材料表面的微细组织、断口形貌。将高温作用后花岗岩切割成大小合适的尺寸,并将其粘接在电镜的样品座上,如图 7 所示,然后放入真空室中进行观察。为了得到清晰准确的细观图像,试样要作前期处理,如用丙酮或酒精清洗,并进行表面抛光和喷金等。

图 6　钨灯丝扫描电子显微镜

Fig. 6　Tungsten filament scanning electron microscope

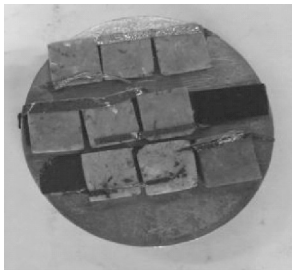
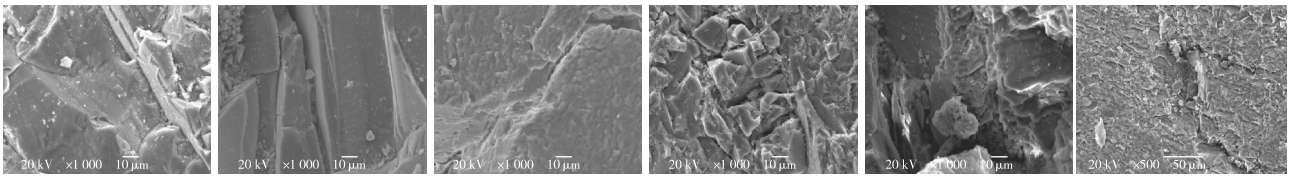


图 7　观察前样品照片

Fig. 7　Photos of samples before observation

图 8(a)(b)为不同温度作用后花岗岩试样在放大 1 000 倍下的细观结构，可见常温下视野区域内晶粒形状保持不变，但存在天然原生裂纹(图 8(a))；温度为 300 ℃时岩样有新裂纹出现，裂纹呈条纹状，破裂形式主要为晶粒滑动断裂或晶间裂纹，而晶内微裂纹等缺陷的萌生和扩展并不明显(图 8(b))；温度 500 ℃时(见图 8(c))，微裂纹数量明显增多，视野区域内裂纹呈根状、河流状，伴随有晶内裂纹和穿晶裂纹；当升温到 700 ℃时，矿物成分开始大量分解，结构从晶态向非晶态的过程转变，岩矿颗粒受热膨胀的差异使得颗粒间的结构热应力明显增强，在岩石中将形成更多新的微裂纹，并使原生裂纹进一步扩展和连通，导致花岗岩的力学性质迅速发生劣化[21](图 8(d))；细察 900 ℃时的细观结构，可见端口细观形貌为明显的粗糙晶体表面、韧窝及热破裂特征，晶内裂纹继续增长，晶间裂纹变宽，形成良好的裂纹网络(图 8(e))，同时，在图 8(f)中可以看出，经 900 ℃高温后，花岗岩的主破裂面节点处已出现宏观次生裂纹，可将这种裂纹称为分岔裂隙。综上所述，加热后花岗岩出现的裂纹种类主要有 3 大类：20～500 ℃温度范围内主要产生晶间裂纹；温升至 700 ℃时，产生穿晶裂纹；当加热温度达到 900℃时，宏观裂纹中衍生出分岔裂隙。



(a) T=20 ℃　(b) T=300 ℃　(c) T=500 ℃　(d) T=700 ℃　(e) T=900 ℃　(f) T=900 ℃

图 8　不同温度作用后花岗岩试样细观形貌

Fig. 8　Meso-morphology of granite samples under different temperatures

4　结　语

岩石是一种成分复杂的天然材料，研究其温度损伤效应具有重要的工程意义，基于宏观测试与细观观察，得出以下几点结论：

(1)温度低于 500 ℃时，花岗岩中纵波波速随温度升高而平缓下降；温度超过 500 ℃，花岗岩组分石英发生相变，纵波波速随温度升高而迅速下降；700 ℃高温后，岩样损伤严重，波速衰减渐趋平缓。

(2)岩石温度损伤呈缓慢发生→快速发展→平稳结束趋势，研究发现随着温度的递增，花岗岩的温度损伤规律符合 Logistic 增长曲线模型。

(3)随温度的升高，花岗岩试样的超声波“拍”长度变短；500 ℃高温后波形图变化显著，波幅减小，超声波波形图的形状反映出温度作用下岩样内部裂隙的变化过程。

(4)SEM 图像显示，20～500 ℃温度范围内花岗岩中主要产生晶内裂纹；随着温度升高，裂纹数量增加，甚至连接贯通；升温至 700 ℃岩样中产生晶内裂纹或穿晶裂纹，裂纹的宽度和密度也随之大幅增加；加热温

度达到 900 ℃时,岩样宏观裂纹中出现分岔裂隙。

参 考 文 献:

[1] 吴晓东, 刘均荣, 秦积瞬. 热处理对岩石波速及孔渗的影响[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2003, 27(4): 70-72, 75. (WU Xiaodong, LIU Junrong, QIN Jishun. Effects of thermal treatment on wave velocity as well as porosity and permeability of rock[J]. Journal of the University of Petroleum, China(Edition of Natural Science), 2003, 27(4): 70-72, 75. (in Chinese))

[2] LIU Shi, XU Jingyu. An experimental study on the physico-mechanical properties of two post-high-temperature rocks[J]. Engineering Geology, 2015, 185(2): 63-70.

[3] 徐小丽, 高峰, 沈晓明, 等. 高温后花岗岩力学性质及微孔隙结构特征研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(6): 1752-1758. (XU Xiaoli, GAO Feng, SHEN Xiaoming, et al. Research on mechanical characteristics and micropore structure of granite under high-temperature[J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(6): 1752-1758. (in Chinese))

[4] 朱合华, 闫治国, 邓涛, 等. 3 种岩石高温后力学性质的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(10): 1945-1950. (ZHU Hehua, YAN Zhiguo, DENG Tao, et al. Testing study on mechanical properties of tuff, granite and breccia after high temperatures[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(10): 1945-1950. (in Chinese))

[5] 刘洋, 赵明阶. 岩石声学参数与应力相关性研究综述[J]. 重庆交通学院学报, 2006, 25(3): 54-58. (LIU Yang, ZHAO Mingjie. Research overview of the relation between ultrasonic parameters and stress on rock[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2006, 25(3): 54-58. (in Chinese))

[6] 左建平, 谢和平, 周宏伟, 等. 不同温度作用下砂岩热开裂的实验研究[J]. 地球物理学报, 2007, 50(4): 1150-1155. (ZUO Jianping, XIE Heping, ZHOU Hongwei, et al. Experimental research on thermal cracking of sandstone under different temperature[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2007, 50(4): 1150-1155. (in Chinese))

[7] 倪骁慧, 李晓娟, 朱珍德. 不同温度循环作用后大理岩细观损伤特征的定量研究[J]. 煤炭学报, 2011, 36(2): 248-254. (NI Xiaohui, LI Xiaojuan, ZHU Zhende. Quantitative test on meso-damage characteristics of marble after different temperature [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(2): 248-254. (in Chinese))

[8] 支乐鹏, 许金余, 刘军忠, 等. 花岗岩高温后的超声特性及力学性能研究[J]. 地下空间与工程学报, 2012, 8(4): 716-721. (ZHI Lepeng, XU Jinyu, LIU Junzhong, et al. Research on ultrasonic characteristics and mechanical properties of granite under post-high temperature[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2012, 8(4): 716-721. (in Chinese))

[9] ZHANG W, SUN Q, HAO S, et al. Experimental study on the variation of physical and mechanical properties of rock after high temperature treatment[J]. Applied Thermal Engineering, 2016, 98: 1297-1304. (in Chinese))

[10] TISKATINE R, EDDEMANI A, GOURDO L, et al. Experimental evaluation of thermo-mechanical performances of candidate rocks use in temperature thermal storage[J]. Applied Energy, 2016, 171: 243-255.

[11] ZHU T, JING H, SU H, et al. Physical and mechanical properties of sandstone containing a single fissure after exposure to high temperatures[J]. International Journal of Mining Science and Technology, 2016, 26(2): 319-325.

[12] 王鹏, 许金余, 刘石, 等. 热损伤砂岩力学与超声时频特性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(9): 1897-1904. (WANG Peng, XU Jinyu, LIU Shi, et al. Mechanical properties and ultrasonic time-frequency characteristics of thermally damaged sandstone[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, 33(9): 1897-1904. (in Chinese))

[13] 吴晓东, 刘均荣, 秦积瞬. 热处理对岩石波速及孔渗的影响[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2003, 27(4): 70-72, 75. (WU Xiaodong, LIU Junrong, QIN Jishun. Effects of thermal treatment on wave velocity as well as porosity and permeability of rock[J]. Journal of the University of Petroleum, China(Edition of Natural Science), 2003, 27(4): 70-72, 75. (in Chinese))

[14] 李建林, 陈星, 党莉, 等. 高温后砂岩三轴卸荷实验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(8): 1587-1595. (LI Jianlin, CHEN Xing, DANG Li, et al. The triaxial unloading experiment research of sandstone after high temperature[J]. Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011, 30(8): 1587-1595. (in Chinese))

[15] 秦本东, 何军, 谌伦建. 石灰岩和砂岩高温力学特性的实验研究[J]. 地质力学学报, 2009, 15(3): 253-261. (QIN Bendong, HE Jun, CHEN Lunjian. Experimental research on mechanical properties of limestone and sandstone under high temperature[J]. Journal of Geomechanics, 2009, 15(3): 253-261. (in Chinese))

[16] 刘石, 许金余, 刘志群, 等. 温度对岩石强度及损伤特性的影响研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2013, 30(4): 583-588. (LIU Shi, XU Jinyu, LIU Zhiqun, et al. Temperature effect on strength and damage property of rock mass[J]. Journal of

Mining and Safety Engineering, 2013, 30(4): 583-588. (in Chinese))

[17] 席道瑛. 花岗岩中矿物相变的物性特征[J]. 矿物学报, 1994, 14(3): 223-227. (XI Daoying. Physical characteristics of mineral phase transformation in the granite[J]. Acta Mineralogica Sinica, 1994, 14(3): 223-227. (in Chinese))

[18] 赵洪宝, 谌伦建. 石灰岩热膨胀特性实验研究[J]. 岩土力学, 2011, 32(6): 1725-1730. (ZHAO Hongbao, CHEN Lunjian. Limestone thermal expansion characteristics experimental study[J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(6): 1725-1730. (in Chinese))

[19] 王志亮, 郑明新, 吴勇, 等. 增加曲线模型在路基沉降预测中的应用研究[J]. 岩土力学, 2004, 25(6): 901-903, 912. (WANG Zhiliang, ZHENG Mingxin, WU Yong, et al. Study on application of logistic curve model to settlement prediction of roadbed subjected to multilevel loadings[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(6): 901-903, 912. (in Chinese))

[20] 杜守继, 马明, 陈浩华, 等. 花岗岩经历不同高温后纵波波速分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(11): 1803-1806. (DU Shouji, MA Ming, CHEN Haohua, et al. Testing study on longitudinal wave characteristics of granite after high temperature[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(11): 1803-1806. (in Chinese))

[21] 何国梁, 吴刚, 黄醒春, 等. 砂岩高温前后超声特性的试验研究[J]. 岩土力学, 2007, 28(4): 779-784. (HE Guoliang, WU Gang, HUANG Xingchun, et al. Experimental study on ultrasonic properties of sandstone before and after high temperature [J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(4): 779-784. (in Chinese))

Experimental study on thermal damage characteristics and mechanism of Huashan granite

HE Ailin, WANG Zhiliang, BI Chengcheng

(*School of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei* 230009, *China*)

Abstract: In order to study the characteristics and mechanism of thermal damage of the granite, the analyses of attenuation law of longitudinal wave, damage evolution model and the mesoscopic mechanism of rock under different temperatures are carried out by using the ultrasonic testing analyzer and tungsten-filament scanning electron microscope (SEM). The analysis results show that when the temperature is lower than 500 ℃, the longitudinal wave velocity of the granite sample slowly decreases with the increase of treatment temperature; and when the temperature is near 573 ℃, the wave velocity drops rapidly and is gradually tends to be stable at last. With the increase in heated temperature, the amplitude of wave declines, the length of "beat" becomes shorter and the relationships between the thermal damage and the heated temperatures well follow the logistic curve model. In the range of 20 ℃ to 500 ℃, the inter-granular crack predominates; and as the temperature rises to 700 ℃, the number of microcracks increases, and the intracrystalline and transgranular crack occur. When the treatment temperature reaches up to 900 ℃, the macroscopic branching fissure appears in the sample. The research results can provide a referrence for construction of rockmass engineering after higher temperature.

Key words: granite; treated temperature; thermal damage; macroscopic response; meso-mechanism