

混凝土材料损伤的声发射动态检测试验研究*

纪洪广¹ 张天森² 蔡美峰¹ 张志勇³

(¹北京科技大学资源工程学院 北京 100083) (²中煤建设集团公司 北京 100713) (³山东科技大学 泰安 271019)

摘要 在实验基础上,给出了定量描述声发射活性的特征函数,导出了声发射参数同损伤参量之间的关系及用声发射参数表示的损伤演化方程和本构方程,并通过实验,验证了演化方程的正确性。探讨了根据混凝土受载后的声发射特征来动态评价和估计混凝土材料的损伤程度问题,为混凝土损伤的研究和损伤因子的测试提供了一种新的方法和新的途径。

关键词 混凝土材料,声发射,损伤演化,动态监测

分类号 TU528

文献标识码 A

文章编号 1000-6915(2000)02-0165-04

1 引言

近年来,有关混凝土损伤的研究十分活跃,并取得了丰硕成果。但由于混凝土材料本身结构的复杂性,对混凝土损伤机理的研究、对混凝土损伤与其本身固有力学特性之间关系的研究以及如何用损伤理论对结构进行评价等方面的研究进展缓慢。其中最大的难点之一是对损伤因子缺少有效的测试方法和测试手段^[1]。

声发射是材料变形、裂纹开裂及扩展过程的伴生现象^[2~6],而且声发射过程同力学过程之间有着密切的相关性。本文结合实验,给出了定量描述声发射活性的特征函数,导出了声发射参数同损伤参量之间的关系及用声发射参数表示的损伤演化方程,并通过实验,验证了演化方程的正确性。本文的目的是根据混凝土受载后的声发射特征来动态评价和估计混凝土材料的损伤程度,从而为混凝土损伤的研究和损伤因子的测试提供一种新的方法和新的途径。

2 损伤演化方程的声发射活性参数表示

文^[7]通过对混凝土材料声发射机理的分析,得出混凝土材料损伤的声发射模式,即

$$D(i) = kN(i) \quad (1)$$

式中: i ——加载顺序;

$N(i)$ ——第 i 次加载过程中的声发射事件数;

$D(i)$ ——第 i 次加载过程中的损伤扩展量;

k ——试验系数。

该式表明:混凝土材料的损伤程度与声发射事件数成正比。

将式(1)代入混凝土材料的本构方程^[8],则有

$$\sigma = \epsilon E(1 - D) = \epsilon E[1 - kN(i)] \quad (2)$$

式中: σ ——应力 /Pa;

ϵ ——应变;

E ——弹性模量 /Pa。

式(2)便为用声发射事件数表示损伤因子后所得到的混凝土在单轴应力状态下的本构方程。

材料在一定的力学过程中或在一定的应力状态下所具有的声发射能力称为声发射活性。材料的声发射活性可以用所发出的声发射事件数表示。试验表明,材料的声发射活性同时受到多种因素的影响。就混凝土材料而言,尽管其声发射信号主要产生自变形和裂纹的开裂,但由于其内部含有的原生裂隙的多少与大小会因配比的不同、施工条件的差异、损伤程度的不同等而相差很大,因而使得声发射活性呈现出很大变化。为了定量表达混凝土材料的声发射活性,需先建立声发射活性函数。

若定义材料在从相对应力水平 $\sigma(\%)$ 到 $\sigma + d\sigma(\%)$ 这一过程中产生声发射事件的概率密度函数为 $f(\sigma)$,则有

1998年12月14日收到初稿,1999年3月9日收到修改稿。

* 国家教委博士点基金资助项目。

作者 纪洪广 简介:男,36岁,博士,1984年毕业于山东矿业学院土木系土木工程专业,现为副教授,主要从事岩土工程测试、声发射技术研究与应用方面的研究工作。

$$f(\sigma)d\sigma = \frac{dN}{N} \quad (3)$$

式中: N 为自初始状态到应力水平 $\sigma(\%)$ 所产生的声发射事件总数同试块的极限荷载的比值。

可进一步假设概率密度函数 $f(\sigma)$ 具有以下形式^[9]:

$$f(\sigma) = \frac{a}{\sigma} + b \quad (4)$$

式中: a 和 b 为试验参数。

由式(3)和式(4)可得到声发射事件数 N 同应力水平 $\sigma(\%)$ 之间的关系为

$$N = c \sigma^a \exp(b\sigma) \quad (5)$$

式中: c 为积分常数。式(5)称为混凝土材料声发射的活性函数。

显然, 当 $f(\sigma)$ 为常数时, 则有

$$N = c \exp(b\sigma) \quad (6)$$

之所以声发射事件概率密度函数 $f(\sigma)$ 采用式(4)的形式, 是因为该式反映出了声发射同应力水平之间的两种关系模式, 如图 1 所示。

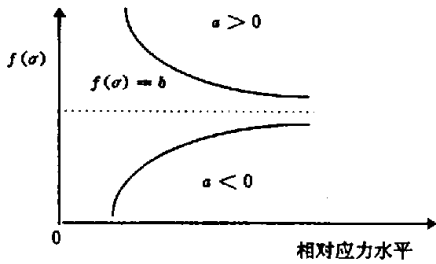


图 1 $f(\sigma)$ 表示的声发射同应力水平之间关系的两种模式

Fig. 1 Two modes of relationship between AE and stress level indicated by $f(\sigma)$

当 $a < 0$ 时, 在低应力下声发射率很低, 这与不包含或包含少量裂隙的材料声发射性能相对应。而当 $a > 0$ 时, 在低的应力水平下便有着高的声发射率, 这正是材料含有大量裂隙的情况。因此, a 值的大小便反映出了材料内部含有裂纹的多少。

图 2 为利用混凝土试块在单轴压缩条件下测得的声发射活性试验曲线。

混凝土试块规格为: $7\text{ cm} \times 7\text{ cm} \times 7\text{ cm}$, 配合比为: 水泥: 砂: 石子: 水 = $1 : 1.6 : 3.2 : 0.6$, 最大骨粒粒径 1 cm , 标准养护, 28 d 龄期。对 12 个混凝土试块的声发射活性实验数据进行统计回归处理得: $a = 1.0532$, $b = 0.0133$, $c = 0.403$ 。所以, 对试验用的混凝土材料其声发射活性函数为

$$N = 0.403 \sigma^{1.0532} \exp(0.0133 \sigma) \quad (7)$$

砂浆试块规格为: $7\text{ cm} \times 7\text{ cm} \times 7\text{ cm}$, 配合比为: 水泥: 砂: 水 = $1 : 2.63 : 0.43$, 标准养护, 28

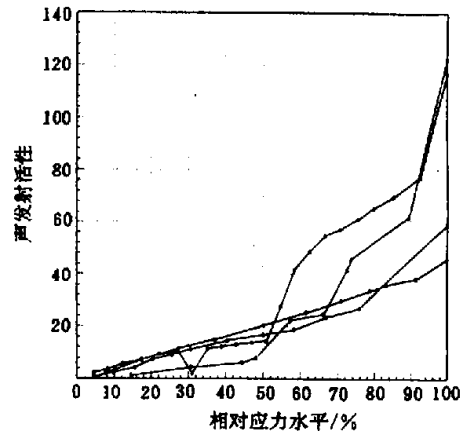


图 2 混凝土块声发射活性曲线

Fig. 2 AE activity curves in concrete

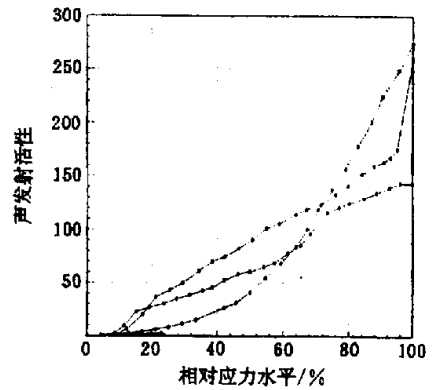


图 3 砂浆试块声发射活性曲线

Fig. 3 AE activity curves in mortar

d 龄期。图 3 为利用砂浆试块在单轴压缩条件下测得的声发射活性曲线, 得到的声发射活性函数为

$$N = 0.017 \sigma^{2.437} \exp(-0.016 \sigma) \quad (8)$$

将式(5)代入式(1)和(2), 则得

$$D(i) = k N = k c \sigma^a \exp(b\sigma) \quad (9)$$

$$\sigma = \epsilon E [1 - k c \sigma^a \exp(b\sigma)] \quad (10)$$

式(9), (10) 便为用声发射参数表示的损伤演化方程和本构方程; 其中 a, b, c 为声发射试验参数。

式(10)中只包含了 ϵ, σ, E 三个基本参数。只是引入了几个声发射实验参数, 得到的却是混凝土非线性的本构关系。因此, 对于某种结构, 只要通过声发射检测, 求得相应的试验参数 k, a, b, c , 损伤因子便只为应力分量的函数, 进而可以动态预报不同应力水平下的损伤程度。

由式(10)可得

$$1 - D = 1 - k c \sigma^a \exp(b\sigma) \quad (11)$$

令 $R(\sigma) = 1 - D$, 则得

$$R(\sigma) = 1 - k c \sigma^a \exp(b\sigma) \quad (12)$$

则 $R(\sigma)$ 便为可靠度函数。显然, $R(\sigma) = 1$ 即可靠度

为 100% 时, $\sigma = 0$ 。因此, 若已测得诸试验参数, 就可以求出某一可靠度下的应力值, 进而可以进行结构的可靠度设计。

将式(7)代入式(9)和(10)得

$$D(i) = k 0.403 \sigma^{1.0532} \exp(0.0133\sigma) \quad (13)$$

$$\sigma = \varepsilon E [1 - k 0.403 \sigma^{1.0532} \exp(0.0133\sigma)] \quad (14)$$

式(13), (14)便为试验所用混凝土试块的损伤演化方程和本构方程。

因此, 只需求得参数 k , 便可求得损伤演化方程和本构方程。试验中, 将实验应力应变值代入式(14), 求得各测点对应的 k 值, 并求出它们的平均值。对实验所用的混凝土试块其 k 值近似为 $2^{[7]}$ 。

水利水电部成都勘测设计研究院 1995 年编的“全级配混凝土力学性能研究”建议, 对于混凝土的受压过程可以采用如下的本构方程:

$$\sigma = \frac{E \varepsilon}{\left[1 + a_1 \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{pk}} \right) + a_2 \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{pk}} \right)^2 + a_3 \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{pk}} \right)^3 \right]} \quad (15)$$

式中: E ——初始弹性模量;

ε ——应变;

ε_{pk} ——峰荷应变;

a_1, a_2, a_3 ——待定系数。

由应变表示的损伤演化方程为

$$D = 1 - \frac{E \varepsilon}{\left[1 + a_1 \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{pk}} \right) + a_2 \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{pk}} \right)^2 + a_3 \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{pk}} \right)^3 \right]} \quad (16)$$

利用混凝土试块单轴压缩时测得的应力应变值, 采用最小二乘法可得诸参数为: $E = 25.52 \times 10^3$ MPa, $a_1 = 0.6388$, $a_2 = 0.5586$, $a_3 = 0.2007$ 。

图 4 为用声发射法和应变法测得的损伤演化曲线。图 5 则为直接测得的应力应变值及用应变法和声发射法测得的应力-应变曲线。

可以看出, 用声发射法测得的应力-应变曲线同直接实测的结果基本吻合。

作为对比, 还利用砂浆试块进行了实验。图 6 为对 $7 \text{ cm} \times 7 \text{ cm} \times 7 \text{ cm}$ 砂浆试块进行了单轴压缩时用声发射法和应变法测得的应力-应变曲线。可以看出, 用声发射法测得的应力-应变曲线同直接测得的结果也基本吻合。

3 结 论

通过实验及分析, 得出以下几个结论。

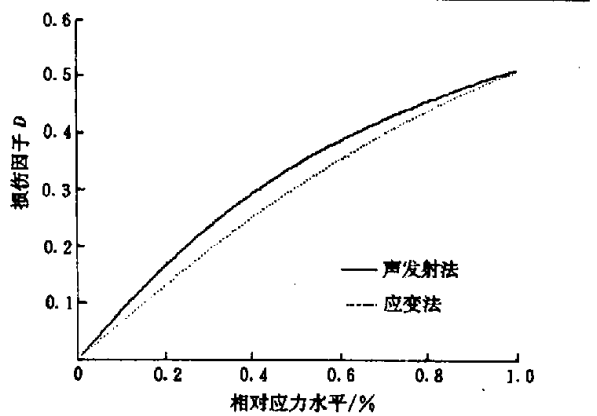


图 4 用声发射法和应变法测得的损伤演化曲线
Fig. 4 Damage evolution curves measured through AE and strain methods

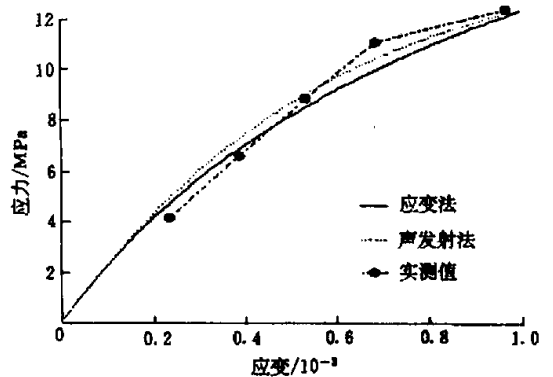


图 5 直接测得的及通过应变法和声发射法测得的混凝土应力-应变曲线
Fig. 5 Stress-strain curves in concrete measured by direct method and through strain and AE methods

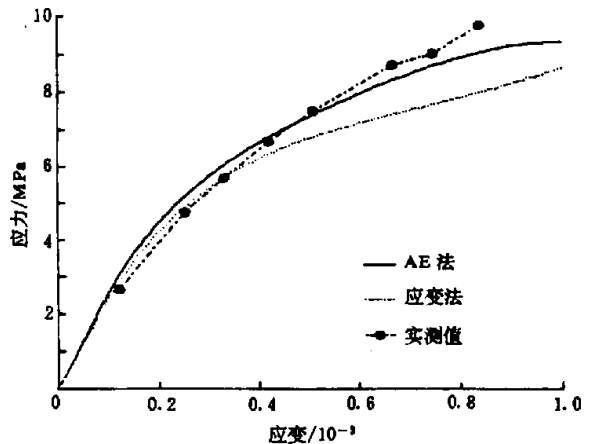


图 6 用声发射和应变法测得的砂浆试块的应力-应变曲线

Fig. 6 Stress-strain curves in mortar measured through strain and AE methods

(1) 声发射事件数与累积损伤程度之间有着密切的相关关系。

(2) 反映声发射事件数与损伤因子之间关系的参数 k , 集中反映了试件尺寸、材料性能、裂隙种类及尺寸、设备性能、实验条件及应力水平等诸多因素对声发射参数与损伤因子之间关系的影响。因此, 对某一类结构, 若能测得其在相应条件下的 k 值, 则可实现对该类结构的损伤评价、损伤检测和可靠性预报。

(3) 试验研究表明, 用声发射活性函数估计损伤因子而得到的混凝土在单轴应力状态下的损伤演化曲线和应力应变曲线与实验数据及其他方法的测试结果相一致。

(4) 声发射技术用于混凝土的损伤研究, 方便、简单, 且可做到实时、动态, 有着良好的可操作性。

(5) 需要说明的是, 根据材料的声发射特性评价结构的损伤演化和可靠性程度, 同时会受到材料性能、检测仪器、试验条件等多种因素的影响。实际应用中, 应当根据具体材料、具体结构和实际条件进行具体分析。

参 考 文 献

- 1 于天庆, 钱济成. 损伤理论及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1993
- 2 陈忠辉, 傅宇方, 唐春安. 岩石破裂声发射过程的围压效应[J]. 岩石力学与工程学报, 1997, 16(1): 65~70
- 3 陈 勉, 陈治喜, 金 衍. 用斜井岩芯的声发射效应确定深层地应力[J]. 岩石力学与工程学报, 1998, 18(3): 311~314
- 4 陈静曦. 裂纹扩展速度监测分析[J]. 岩石力学与工程学报, 1998, 17(4): 425~428
- 5 纪洪广. 混凝土材料单向拉伸时声发射机理探讨[J]. 东北大学学报, 1995, 16(6): 301~306
- 6 纪洪广, 蔡美峰. 混凝土材料断裂的声发射自相似性识别特征[J]. 岩石力学与工程学报, 1999, 18(2): 157~160
- 7 纪洪广. 混凝土材料损伤的声发射模式[J]. 声学学报, 1996, 17(增): 531~536
- 8 尹双增. 断裂·损伤理论及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1992
- 9 Matsuyama K, Ishibashi A, Ohtso M. Rate process analysis of AE activity in core test of deteriorated concrete[A]. In: Ohtso M ed. Progress in Acoustic Emission VI [C]. Japan: The Japanese Society for NDI, 1992

EXPERIMENTAL STUDY ON CONCRETE DAMAGE BY DYNAMIC MEASUREMENT OF ACOUSTIC EMISSION

Ji Hongguang¹ Zhang Tiansen² Cai Meifeng¹ Zhang Zhiyong³

(¹ College of Resources Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083 China)

(² Coal Construction Group Corp. of China, Beijing 100713 China)

(³ Shandong University of Science and Technology, Tai'an 271019 China)

Abstract On the basis of experiments, the characteristic function is given for quantitative description of acoustic emission(AE) activity. The relationship between AE parameters and damage variables, the equation of damage evolution and the constitutive equations presented by AE parameters are derived. The rightness of the evolution equation has been verified through experiments. It is approached how to make dynamic assessment and estimation of damage degrees of concrete based on AE characterization under loading. A new way is provided for the study of concrete damage and the measurement of the damage factors.

Key words concrete matreial, acoustic emission, damage evolution, dynamic measurement

混凝土材料损伤的声发射动态检测试验研究

作者: [纪洪广](#), [张天森](#), [蔡美峰](#), [张志勇](#), [Ji Hongguang](#), [Zhang Tiansen](#), [Cai Meifeng](#), [Zhang Zhiyong](#)

作者单位: [纪洪广,蔡美峰,Ji Hongguang,Cai Meifeng\(北京科技大学资源工程学院,北京,100083\)](#), [张天森,Zhang Tiansen\(中煤建设集团公司,北京,100713\)](#), [张志勇,Zhang Zhiyong\(山东科技大学,泰安,271019\)](#)

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): 2000, 19(2)

引用次数: 25次

参考文献(9条)

1. 于天庆, 钱济成 [损伤理论及其应用](#) 1993
2. 陈忠辉, 傅宇方, 唐春安 [岩石破裂声发射过程的围压效应](#) 1997(01)
3. 陈勉, 陈治喜, 金衍 [用斜井岩芯的声发射效应确定深层地应力](#) 1998(03)
4. 陈静曦 [裂纹扩展速度监测分析](#) 1998(04)
5. 纪洪广 [混凝土材料单向拉伸时声发射机理探讨](#) 1995(06)
6. 纪洪广, 蔡美峰 [混凝土材料断裂的声发射自相似性识别特征](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 1999(02)
7. 纪洪广 [混凝土材料损伤的声发射模式](#) 1996(zk)
8. 尹双增 [断裂、损伤理论及其应用](#) 1992
9. Matsuyama K, Ishibashi A, Ohtso M [Rate process analysis of AE activity in core test of deteriorated concrete](#) 1992

相似文献(10条)

1. 期刊论文 [刘国华, 黄平捷, 杨金泉, 刘远, 周泽魁, LIU Guo-hua, HUANG Ping-jie, YANG Jin-quan, LIU Yuan, ZHOU Ze-kui](#) [基于高阶谱的混凝土材料断裂声发射特征提取](#) -[吉林大学学报\(工学版\)](#) 2009, 39(3)
 针对混凝土受载时声发射信号的非高斯特性, 提出了一种基于高阶谱技术的声发射信号特征提取的新方法. 通过对声发射信号的双谱分析, 提取了不同荷载阶段下信号的非高斯特征. 以信号双谱幅值的平均值作为特征值, 对不同荷载下信号偏离高斯分布的程度进行了定量分析, 并讨论了不同荷载强度的混凝土声发射信号的双谱特性及非高斯特征. 实验结果表明, 提取的特征值反映了信号偏离高斯分布的程度, 据此可以作为混凝土受载时断裂临界点的判据. 通过与声发射事件等常规参数的比较, 可以发现高阶谱参数具有更好的敏感性.
2. 期刊论文 [纪洪广, 蔡美峰, Ji Hongguang, Cai Meifeng](#) [混凝土材料断裂的声发射自相似性识别特征](#) -[岩石力学与工程学报](#) 1999, 18(2)
 将对材料声发射的研究, 力学过程的研究, 同对材料断裂损伤等破坏过程的研究相结合, 提出了声发射过程的概念. 给出定量考察声发射过程的自相似性特征函数. 并在此基础上, 根据混凝土试块的三点弯曲试验, 确定出了混凝土试块断裂的声发射自相似性识别特征.
3. 学位论文 [包太](#) [混凝土材料与结构破坏的声发射研究](#) 2001
 该文以声发射在混凝土材料与结上的应用, 并且声发射检测是一种动态无损检测技术, 而且声发射信号来自缺陷本身, 因此, 用声发射法可以判断缺陷的严重性. 由于材料的变形、裂纹的扩展存在不可逆性, 因此, 声发射亦存在不可逆性. 主要内容包括: 1、确定了试件形状和尺寸并设计了模具; 2、利用声发射确定了四种不同强度等级的混凝土试件的开裂和失稳点. 并确定了断裂破坏时的声发射判据. 3、对混凝土过去进行时断裂分析, 对四种不同强度的混凝土进行了断裂机理的研究, 表明了不同强度的混凝土的断裂差异. 4、利用声发射仪定量地确定混凝土损伤区. 5、试件强度与声发射特征.
4. 期刊论文 [黄承德, 刘茂军, HUANG Cheng-de, LIU Mao-jun](#) [混凝土材料声发射技术研究](#) -[广西大学学报\(自然科学版\)](#) 2008, 33(3)
 总结了混凝土材料声发射技术研究的历史及现状, 对混凝土材料声发射机理、声发射参数与力学参数间的关系、声发射在断裂力学中的应用、混凝土材料的凯塞效应以及新的理论与方法在声发射领域的应用等问题进行了评价与展望.
5. 学位论文 [张顺祥](#) [混凝土轴心受拉声发射Kaiser效应试验研究](#) 2007
 混凝土是一种具有微裂隙的非均质材料, 其受拉破坏过程比理想的脆性材料复杂得多, 而声发射技术能动态实时探测材料内部微观结构变化, 对探测混凝土拉伸破坏机理具有很大的促进作用. 然而声发射技术在混凝土拉伸领域中的应用还不成熟, 有许多问题亟待全面深入的研究和解决, 如混凝土Kaiser效应对其拉伸声发射特性的影响. 本文结合导师所承担的国家自然科学基金重点项目, 开展混凝土轴拉声发射特性试验研究, 就Kaiser效应对混凝土声发射特性的影响进行研究, 为应用声发射技术探讨混凝土拉伸破坏机理奠定基础, 同时也为Kaiser效应的工程实际应用提供参考.
 本文在总结国内外声发射Kaiser效应研究的基础上制定了可行的Kaiser效应试验方案, 通过70个试件的轴拉声发射试验研究混凝土Kaiser效应的存在性及其存在条件, 并就Kaiser效应的影响因素进行系统全面的分析, 最后探讨Kaiser效应的工程应用. 本文主要的研究内容如下:
 (1) 研究混凝土试件在往复循环拉伸加载条件下Kaiser效应的有效性及其存在的应力范围, 并对其产生机理进行解释; 探讨混凝土材料中Kaiser效应与Felicity效应的关系; 讨论Kaiser效应的记忆内容.
 (2) 就加载制度、加载速率、强度等级、试件大小、骨料粒径、应力水平、卸载后放置时间以及干湿条件等因素对Kaiser效应的影响进行研究.
 (3) 讨论Kaiser效应在声发射试验排噪检测、应力历史评定、混凝土材料损伤劣化水平评价以及混凝土材料可靠性评价中的应用.
 通过以上的研究工作, 得到以下几个主要结论: (1) 混凝土在轴拉试验中存在明显的Kaiser效应, 其产生的机理是混凝土材料损伤不可逆的结果; (2) Kaiser效应的存在是有条件的, 其声发射的不可逆性具有应力上限, 上限值约为极限抗拉强度的82%;
 (3) Felicity比是对材料声发射过程不可逆程度的更详细描述, 随着相对应力水平的提高而单调下降, 当达到较高的应力水平后, Felicity比迅速下降

, Kaiser效应衰退, 出现了Felicity效应; (4)混凝土Kaiser效应应具有记忆前期最大应力和前期最大应变的特性; (5)强度等级、试件大小、骨料最大粒径以及加载速率对混凝土轴拉声发射Kaiser效应基本没有影响; (6)加载制度、应力水平、卸载后放置的时间以及干湿条件对混凝土轴拉声发射Kaiser效应产生一定的影响; (7)Kaiser效应在声发射试验降噪检测、应力历史评定、混凝土材料损伤劣化水平评价以及混凝土材料可靠性评价中的应用具有一定的发展前景。

6. 期刊论文 [纪洪广, 王基才, 单晓云, 蔡美峰 混凝土材料声发射过程分形特征及其在断裂分析中的应用](#) - [岩石力学与工程学报](#) 2001, 20 (6)

为了寻求混凝土材料声发射过程与断裂演化之间的关系, 从实验入手, 首先给出了声发射过程关联分维函数的概念, 并通过实验, 证明了声发射过程分形特征的存在。然后, 通过混凝土试块的三点弯曲实验, 分析了材料断裂过程中声发射关联分维数的变化规律, 进而确定了混凝土试块在临界断裂时的分形特征识别模式。研究表明, 混凝土材料的声发射过程不仅具有明显的分形特征, 而且在临界状态下, 各声发射分形特征参数都表现出一定的异常“模式”, 这种识别模式可以作为材料出现临界断裂的识别特征。

7. 学位论文 [千力 基于声发射技术的混凝土损伤评估](#) 2005

混凝土问世已经有一百多年的历史了, 在结构的使用期限内, 在各种外界因素作用下, 混凝土的性能会发生退化。退化过程常伴随着混凝土材料中的孔隙、微裂缝和裂缝的发展。所以, 掌握混凝土材料的实际状态是掌握整个混凝土结构状态的必要条件, 同时也为混凝土结构缺陷的预防和修理提供了依据。声发射检测是一种动态无损检测方法, 而且声发射信号来自缺陷本身, 因此, 用声发射法可以判断缺陷的性质。不同的缺陷产生会有不同的声发射信号出现, 明确了来自缺陷的声发射信号特征, 就可以长期连续地监视缺陷的安全性, 这是其它无损检测方法难以实现的。为实现上述目的, 本文尝试建立混凝土材料在单轴受压状态下的声发射特征和混凝土损伤量之间的联系, 最终量化的评估混凝土材料的损伤量。在国家自然科学基金“基于压电智能和波谱单元模型修正的结构损伤识别”(50378041)的资助下本文开展了基于声发射技术的混凝土损伤评估研究。首先介绍了混凝土损伤力学基本原理和声发射技术基本理论, 重点阐述了应变等效性原理和声发射速率过程理论, 同时对声发射试验中常用的基本参数以及声发射仪器进行了介绍。然后基于LoIand损伤模型, 在损伤力学和声发射速率过程理论的基础上建立了混凝土损伤量化评估的具体方法。作为对试验结果的验证, 本文引入了Kaiser效应和Felicity效应, 用混凝土材料对受力历史的记忆特性来验证最终的评估结果。最后, 应用该法对河南信阳狮河桥混凝土芯样进行了实验室单轴压力下的声发射试验, 对实验数据进行了分析和处理, 完成了对该桥的混凝土损伤评估, 得出了混凝土的实际损伤量, 并对影响试验结果的各种因素如换能器、滤波带宽、采样模式等进行了分析和讨论。试验结果证明了声发射技术在混凝土损伤评估应用中的有效性和准确性。

8. 期刊论文 [纪洪广, 蔡美峰 混凝土材料断裂过程中声发射空间自组织演化特征及其在结构失稳预报中的应用](#) - [土木工程学报](#) 2001, 34 (5)

利用声发射定位检测技术, 对混凝土材料在三点弯曲断裂过程中, 声发射事件的空间分布规律进行了观测。通过给出的声发射事件的位置熵函数, 可以对这种空间演化规律进行定量描述。结合三点弯曲实验, 对声发射空间演化规律同临界断裂的关系进行了分析。试验结果表明, 混凝土试块在三点弯曲过程中, 相应的声发射过程的空间自组织程度, 随着应力状态的变化而变化。声发射空间位置的急剧下降, 预示着宏观断裂的到来。

9. 期刊论文 [纪洪广, 蔡美峰 混凝土材料声发射与应力-应变参量耦合关系及应用](#) - [岩石力学与工程学报](#) 2003, 22 (2)

在混凝土结构的可靠性检测中, 声发射是一种重要的可测信息。声发射同应力、应变一样, 也是表明材料力学特性的本构参量, 声发射参量与应力、应变参量之间存在着密切的相关关系。这种相关性可以通过耦合的本构方程来表达。由于声发射对于材料的受力历史具有独特的“记忆”特性, 因此, 可以通过声发射检测来确定材料所受过的最高荷载, 进而可以对材料或结构的可靠性进行评价。

10. 学位论文 [陈洋 不同骨料及掺合物混凝土单轴受压声发射特性试验研究](#) 2008

混凝土是非均质的复合体材料, 其受压破坏的机理远比理想脆性材料复杂得多。运用声发射技术, 可以实时地跟踪混凝土材料内部裂纹的开裂和发展情况, 是研究混凝土破坏机理的无损检测技术之一。然而声发射技术在混凝土研究领域还不够成熟, 尚有许多问题亟待深入研究。本文结合导师所承担的国家自然科学基金重点项目——“西部高拱坝抗震安全前沿性基础科学问题研究”, 并根据该课题的分工, 作为其中一个子课题, 研究了不同骨料及掺合物混凝土单轴受压破坏的声发射特性, 为应用声发射技术研究混凝土破坏机理提供参考。

本文在总结国内外混凝土声发射破坏机理研究的基础上, 制定了可行的试验方案, 通过对3组54个混凝土试件的单轴受压声发射试验, 运用Origin7.5数据处理软件对采集的试验数据进行整理、分析和绘制相关图形, 并基于参数分析的方法, 采用声发射幅度、振铃及能量等参数来描述、分析了普通混凝土、陶粒混凝土和钢纤维混凝土试件, 在静态加载条件下的应力-应变及应力-应变-声发射特征参数的耦合关系, 同时结合混凝土的宏观力学性能特性, 分析了不同强度、不同骨料及掺合物混凝土在单轴受压作用下的声发射特性产生差异的内在因素, 从细观层次揭示混凝土受压破坏的物理本质。

通过上述工作, 本文得到以下主要结论: (1) 声发射技术可以实时地跟踪混凝土材料内部裂纹的开裂和发展情况, 是研究混凝土破坏机理的有效手段。持续时间、能量计数、振铃计数、幅度等, 适合作为研究混凝土受压破坏机理的声发射参数。(2) 本文所涉及的声发射参数与宏观的应力-应变之间具有良好的相关性, 声发射信号的数量和强弱可以反映出混凝土宏观力学特征的变化情况。(3) 振铃和能量的累计数曲线在弹性极限与峰值应力之间快速上升, 计数率峰值基本对应于峰值应力附近, 反映了该应力阶段为混凝土裂纹开裂、发展的主要阶段。(4) 钢纤维混凝土的声发射率分布图形与普通混凝土相似, 呈现双峰形态, 而陶粒混凝土则呈现单峰形态。(5) 声发射幅度范围与材料特性有关, 陶粒被压坏的幅度在81~94dB之间, 而钢纤维被拉出的信号幅度值在81~97dB之间。试验条件相同的情况下, 声发射累计数的顺序为陶粒混凝土>钢纤维混凝土>普通混凝土。

引证文献 (25条)

1. [王立燕, 王超, 张亚梅, 马爱斌 运用声发射技术研究橡胶混凝土疲劳损伤过程](#) [期刊论文] - [东南大学学报 \(自然科学版\)](#) 2009 (3)
2. [黄承德, 刘茂军 混凝土材料声发射技术研究](#) [期刊论文] - [广西大学学报 \(自然科学版\)](#) 2008 (3)
3. [欧阳利军, 陆洲导, 赵艳林, 吕海波 混凝土结构声发射检测参数设置研究](#) [期刊论文] - [重庆建筑大学学报](#) 2008 (5)
4. [王明, 李庶林 基于声发射速率过程理论的岩石声发射特性研究](#) [期刊论文] - [厦门大学学报 \(自然科学版\)](#) 2008 (2)
5. [朱宏平, 徐文胜, 陈晓强, 夏勇 利用声发射信号与速率过程理论对混凝土损伤进行定量评估](#) [期刊论文] - [工程力学](#) 2008 (1)
6. [刘冬梅, 宋超业, 陈志勇 钢纤维混凝土断裂过程激光实时全息干涉法研究](#) [期刊论文] - [岩土力学](#) 2007 (9)
7. [蒋志 声发射技术在混凝土结构探伤和评估的应用](#) [期刊论文] - [沿海企业与科技](#) 2007 (9)
8. [胡世丽, 王观石 岩石与混凝土界面的损伤特性研究](#) [期刊论文] - [山西建筑](#) 2007 (23)
9. [肖红飞, 何学秋, 王恩元 受压煤岩破裂过程电磁辐射与能量转化规律研究](#) [期刊论文] - [岩土力学](#) 2006 (7)
10. [张娟霞 混凝土结构破坏机理的数值试验研究](#) [学位论文] 博士 2006
11. [左宇军 动静组合加载下的岩石破坏特性研究](#) [学位论文] 博士 2005

12. [刘强](#) [基于随机骨料模型的混凝土细观损伤与宏观强度研究](#)[学位论文]硕士 2005
13. [赵丽红](#) [混凝土弹-粘塑性动力本构模型及其在有限元分析中的应用](#)[学位论文]硕士 2005
14. [千力](#) [基于声发射技术的混凝土损伤评估](#)[学位论文]硕士 2005
15. [马怀发](#), [陈厚群](#), [黎保琨](#) [混凝土细观力学研究进展及评述](#)[期刊论文]-[中国水利水电科学研究院学报](#) 2004(2)
16. [肖红飞](#), [何学秋](#), [冯涛](#), [王恩元](#), [朱川曲](#), [郑百生](#) [单轴压缩煤岩变形破裂电磁辐射与应力耦合规律的研究](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2004(23)
17. [肖红飞](#), [何学秋](#), [冯涛](#), [王恩元](#), [郑百生](#) [FLAC在煤岩变形破裂力电耦合规律研究中的应用](#)[期刊论文]-[煤炭学报](#) 2004(6)
18. [刘庭金](#) [混凝土及岩土材料破坏过程的弹塑性各向异性损伤数值模型及其应用](#)[学位论文]博士 2004
19. [赵明阶](#), [徐容](#) [锚索预应力声测技术研究及工程应用](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2003(7)
20. [纪洪广](#), [蔡美峰](#) [混凝土材料声发射与应力-应变参量耦合关系及应用](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2003(2)
21. [石林珂](#), [孙懿斐](#) [声波层析成像技术](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2003(1)
22. [张全胜](#), [杨更社](#), [任建喜](#) [岩石损伤变量及本构方程的新探讨](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2003(1)
23. [俞缙](#) [岩石声波信号小波分析研究及其工程应用](#)[学位论文]硕士 2003
24. [纪洪广](#), [裴广文](#), [单晓云](#) [混凝土材料声发射技术研究综述](#)[期刊论文]-[应用声学](#) 2002(4)
25. [纪洪广](#), [王基才](#), [单晓云](#), [蔡美峰](#) [混凝土材料声发射过程分形特征及其在断裂分析中的应用](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2001(6)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_yslxygcxb200002008.aspx

下载时间: 2010年5月31日