

# 幂律奇异性：隐含在受载岩石声发射信号中的灾变前兆\*

金 渊<sup>1,2</sup> 夏蒙桢<sup>1</sup> 汪海英<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室, 100190)

(<sup>2</sup>中国科学院研究生院, 100190)

**摘要：**无序非均匀脆性岩石材料在灾变破坏前，会呈现出各种特征，了解和熟悉这些特征对预测灾变的发生具有重要意义。本工作通过对大理岩进行单轴压缩试验，探测试样在加载过程中的声发射信号，并试图给出受载岩石基于声发射信号的灾变前兆。

**关键词：**无序非均匀脆性介质，灾变，声发射，幂律奇异性

## 一、引言

非均匀脆性介质的灾变破坏现象通常发生于具有强烈破坏性的灾难事件中，因而也备受全社会的关注<sup>[1]</sup>；另一方面，由于灾变破坏现象的复杂性，也使之成为长期困扰力学界（并包括诸多学科的专家以及相关工程、技术界）的一个难题，特别是对于具有重要实际意义的灾变预测至今仍缺乏切实可行的有效手段<sup>[2-3]</sup>。

岩石、混凝土材料可归类为具有无序非均匀性的脆性介质，通常认为其灾变破坏可由内部微损伤的累积而触发，称为损伤演化诱致灾变<sup>[4]</sup>。从宏观表象上来看，微损伤累积的集体效应表现为等效弹性模量的折减，可采用损伤变量进行表征。理论上可以证明，对无序非均匀脆性介质进行准静态单调加载时，如果损伤变量随外界控制变量而连续、光滑增大，并符合触发灾变的条件，则当控制变量趋近灾变点时，损伤变量（以及一些与损伤变量相关的物理量）随控制变量的变化率呈现指数为-1/2的幂律奇异性<sup>[5]</sup>。这种灾变前兆，在一系列岩石和混凝土的应力-应变关系、及表面应变场演化的实验室观测中，大体上均得到验证，对于灾变预测有一定的参考意义；但对灾变前实验数据按幂律拟合时有不可忽略的误差，同时，拟合所得的幂指数不呈现为普适参数，而表现出显著的分散度，这表明某些重要的物理机理在连续损伤模型中未能得到反映。

由于相对于其它宏观观测量，声发射信号与微损伤事件之间有更直接本质的关联，因而可能对试样内部的损伤演化、以及趋近灾变临界状态的程度提供某些有价值的信息。本工作通过观测岩石试样加载过程中的声发射信号，研究灾变破坏的特征与机理，揭示灾变破坏的共性，试图为灾变的监测和预测提供新的思路和线索。

## 二、实验过程

实验采用尺寸为 $21.5\text{mm}\times 24\text{mm}\times 50\text{mm}$ 的大理石试样，加载系统为最大载荷为 $100\text{kN}$ 的MTS810液压伺服材料试验机，并测量试样变形及作用在试样上的力，声发射系统采用美国声学公司的四通道的PCI-2采集系统，此外，还对试样表面应变场的演化进行同步测量。

\*国家自然科学基金(Nos.11172311,11021262,10932011,10972218)资助

### 三、结论

对观测数据的处理和分析,表明声发射幅度的统计符合古登堡-克里特关系<sup>[6]</sup>。同时,还得到有关灾变前兆的若干值得注意的初步结果。

临近灾变时刻,声发射撞击率与能量率随时间的变化行为均呈现幂律奇异性趋势,这意味着随控制变量的演化也呈现幂律奇异性。实验数据拟合所得的幂指数有显著的分散性,并且声发射撞击率与能量率的幂指数分布在不同的数值范围。

趋近灾变点时,单位时间内的平均单个声发射撞击所对应的能量显著增高,呈现幂律奇异性趋势。

在临近灾变点的一个范围内,声发射信号的演化特征提示存在单个损伤事件的规模显著增大现象,这可能意味着损伤演化行为对连续损伤模型出现显著偏离。这也许可为灾变幂律奇异性的理想结论与观测结果之间的不可忽略的偏离提供一种可能的解释。

声发射信号的连续测量可作为一种易于实施的无损监测手段,趋向灾变点时,其释放的声发射信号近似的幂律奇异性给出对灾变的一种实时预测,对评估灾变危险性有参考意义。

### 参 考 文 献

- 1 D.Sornette. Critical Phenomena in Nature Sciences.2nd ed. Berlin: Springer Verlag, 2004: 1~3
- 2 S.W.Hao, H.Y.Wang, M.F.Xia, F.J.Ke, Y.L.Bai. Relation between strain localization and catastrophic rupture. Theoretical and applied fracture mechanics, 2007; 48: 41~49
- 3 Y.L.Bai, H.Y.Wang, M.F.Xia, F.J.Ke. Statistical mesomechanics of solid, linking coupled multiple space and time scales. Applied Mechanics Reviews, 2005; 58: 372~388
- 4 Y.L.Bai, C.S.Lu, F.J.Ke, M.F.Xia. Evolution induced catastrophe. Physics Letters A, 1994; 185:196~200
- 5 荣峰. 非均匀脆性介质损伤演化的多尺度数值模拟. 北京:中国科学院研究生院博士学位论文,2006: 84~86
- 6 Gutenberg B. Richter C.F. Frequency of earthquakes in California. Bull.Seismol.Soc.Am, 1944; 34: 185~188