

大地震孕震理论、预测方法与技术

I-01

大地震的幂律奇异性前兆及预测

薛 健¹⁾ 郝圣旺^{1,2)} 杨 荣¹⁾ 连尉平³⁾ 张永仙⁴⁾
卢春生⁵⁾ 柯孚久⁶⁾ 白以龙^{1)*}

1) 中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室, 北京 100190

2) 燕山大学建筑工程与力学学院, 秦皇岛 066004

3) 中国地震局发展研究中心, 北京 100045

4) 中国地震台网中心, 北京 100045

5) School of Civil and Mechanical Engineering, Curtin University, Perth, WA 6845, Australia

6) 北京航空航天大学物理学院, 北京 100191

中图分类号: P315.61 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.0253-4975.2019.08.002

地震是地壳中积累的大量弹性应变能突然释放的灾变破坏过程。对地震的预测(特别是短临预测)一直是地震学的一个巨大挑战,《Science》(2005)曾将其列为 125 个科学问题之一(Are there earthquake precursors that can lead to useful predictions?)。解决这一问题的关键点在于,是否存在与地震发生具有因果关联的、有物理基础的前兆现象?利用何种观测手段来探测并识别这种前兆现象?以及如何从噪声信号中将这种前兆信号分离出来?只有基于那些可测量的物理前兆,地震预测方法才能够建立起来。

地震的能量释放机理为地震前兆的研究提供了一个物理的基础和视角。大量的实验及理论分析表明,灾变破坏是一种能量自持的破坏过程,即系统演化过程中,其本身累积的能量足以提供破坏所需的耗散能时,灾变破坏就会发生,此时系统的破坏并不需要外界提供额外的能量,系统处于一种“能量自持”的状态。对于简单的单轴压缩情形,这种能量自持的灾变破坏就要求系统的荷载-变形曲线在灾变点处切线的斜率等于试验机的负刚度。这就导致由系统的响应量 u 与控制量 U 定义的响应函数 $R=du/dU$ (即系统响应量相对于控制量的变化率)将在灾变破坏点处发散,呈现出临界幂律奇异性,这是灾变破坏的一个典型的前兆特征。利用大理岩、花岗岩试样进行的准静态单轴压缩实验表明,响应函数临界幂律奇异性指数 β_F 的变化范围是 $-1/2$ — -1 。临界幂指数的这种分散性是系统演化邻近灾变破坏点时表现出的一种临界的本征属性:幂指数等于 $-1/2$, 对应于系统的演化开始能够(以有限曲率)接近能量自持的灾变破坏过程;而幂指数越接近 -1 , 则系统的演化(以高阶零曲率)越来越密切地接近能量自持的灾变破坏过程。

* 作者信息: 白以龙, 男, 研究员, 中国科学院力学研究所, Tel: 010-82543939, E-mail: baiyl@lnm.imech.ac.cn.

临界幂律奇异性的存在为灾变预测提供了一个具有物理基础的前兆特征,对于建立灾变预测方法至关重要。注意到 $-1/2$ 和 -1 分别是临界幂指数 β_F 的上界和下界,同时,基于试验实时数据推算出来的实时折算幂律奇异性指数 β_T 在灾变破坏前逐渐减小并趋近于临界幂指数 β_F ,因此,根据幂律奇异性指数的这些信息可以分别构造 3 个数值函数 R^{-2} 、 R^{1/β_T} 和 R^{-1} ,利用 R^{-2} (或 R^{1/β_T})的线性外推与时间轴相交将得到灾变破坏发生时间的下界;而 R^{-1} 的线性外推与时间轴的交点则提供灾变破坏发生时间的上界。随着数据采样点逐渐趋近于灾变破坏点,预测值逐渐向真实的破坏点靠拢,包含真实破坏点的预测区间也逐渐缩小。大量实验数据的预测检验表明了该方法的有效性。

基于灾变破坏的临界幂律奇异性建立起来的这种灾变预测方法,为大地震发震时间的预测提供了可能。响应函数可以由反映变形的几何量直接而方便的构造,而全球卫星定位系统(Global Positioning System, GPS)则为大地变形场的测量提供了有力的手段。利用龙门山断裂带附近的 GPS 连续观测站构成的三角形网格计算得到的垂直断裂带方向的响应函数表明,2008 年汶川地震($M_W 7.9$)、2013 年芦山地震($M_W 6.6$)前,响应函数均呈现出临界幂律加速演化的前兆特征,其临界幂律奇异性指数接近 -1 。这说明,汶川地震、芦山地震非常接近于能量自持的破坏过程。响应函数的加速演化行为大约在地震前 15—30 天开始出现,而利用 GPS 数据构造的 3 个数值函数 R^{-2} 、 R^{1/β_T} 、 R^{-1} 对汶川和芦山地震所做的后验性实时预测表明,预测区间包含地震真实的发震时间,并且随着采样的进行,预测区间逐渐缩小,有效的预测可以提前几天时间给出。

临界幂律奇异性是大地震的一个重要的物理前兆。基于这个前兆特征,并结合多种数据挖掘手段以及处理技术,将可能对地震预测(特别是短临预测)方法的建立起到重要的推动作用。

I-02

北京地区历史中强地震前的 显著地震活动研究

朱红彬*

(北京市地震局,北京 100080)

中图分类号: P315.5 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.0253-4975.2019.08.003

北京地处汾渭地震带、河北平原地震带和张渤地震带的交汇地区,活动构造发育,具备发生强烈地震的构造条件。依地震构造和地震活动,可以将北京地区划分为北京平原区和延怀盆地区。其中北京平原区为河北平原地震带与张渤地震带交汇区,延怀盆地区为汾渭地震带和张渤地震带交汇区。北京地区历史上曾发生 11 次 5 级以上中强地震(表 1),其中平谷、延庆、通州、大兴、海淀等地都曾发生 6 级以上强烈地震,甚至北京中心城区也曾发生 5.0 级地震。北京地区自 1765 年 7 月昌平西南 5.0 级地震后,已有 254 年未发生 5 级以上地震;自 1996 年 12 月

* 作者信息: 朱红彬,男,高级工程师,北京市地震局, Tel: 13681065916, E-mail: zhb65@sina.com.