

强震短临前兆异常共性特征的物理基础^{*}

陈立德, 付 虹, 邬成栋

(云南省地震局, 昆明 650224)

摘要: 强震短临阶段前兆异常的共性特征是“一多、二大、三广、四平静”。通过讨论“一多、二大、三广”这三项微观前兆异常特征的物理基础, 提出用“软包体模型”和信息论中系统处于临界点附近时信息会突然增强的理论, 可以对上述共性特征做出解释。

关键词: 强震; 短临前兆异常; 共性特征; 物理基础

中图分类号: P315.72 文献标志码: A 文章编号: 1000-0666(2008)02-0099-04

0 引言

1996年2月3日丽江7.0级地震发生前约1个半月, 笔者曾在一次震情会商会上指出, 云南境内的前兆异常当时具有“一多、二大、三广、四平静”的特征。后来经过进一步的研究, 笔者在《地震预报基础与实践》(陈立德等, 2003)一书中又将这一特征作为强震短临前兆的共性特征提了出来。

本文主要讨论强震短临阶段前兆异常“一多、二大、三广”的共性特征, 前兆异常机理及异常共性特征的物理基础。讨论前兆异常特征的物理基础时, 笔者提出用“软包体模型”和信息论中系统处于临界点附近时信息会突然增强的理论可以对上述共性特征做出解释。根据“软包体模型”理论, 在强震发生前几个月的短临阶段, 区域应力场会有一个增强过程, 因为强震震源所处的大断裂带是剪切模量较低的软弱带, 而两侧块体为剪切模量较高的地区, 所以在区域应力增强的作用下, 块内应力比断裂带应力要高几倍, 呈现高围压环境。信息论观点认为, 临界点附近系统的信息输出随控制变量的变化会显著增强, 过临界点后又剧烈下降, 信息在临界点附近出现巨涨落。此外, 同一时期系统的响应信息 I 与附加信息振幅 σ 成平方关系, 因此造成输出的响应信息呈非线性变化。下面作者将对上述论断进行详细论述。

1 短临前兆异常共性特征

作者提出的“一多、二大、三广、四平静”的强震短临前兆共性特征, 对于6级左右尤其是6.5级以上强震和大震更具有普适性。

短临阶段系指强震前大约1~2个月或稍长的一段时期。“多”是指该时段内异常台项数会突然增多, 一般可达台项总数的30% ($\pm 5\%$)左右; “大”是指会出现一定数量异常幅度特别巨大的“巨变异常”, 异常特征是观测值在几天甚至几小时内出现比正常值大(或小)几至几十倍的变化; “广”是指出现测值异常的台站分布范围广, 分布范围与未来地震震级大小成正相关, 异常范围半径 $R \approx (8 \sim 10)L$ (L 为震源破裂总长度, 单位km), 对6级左右地震 R 要偏小, 50~100 km; “平静”是指4级以上地震大范围平静(本文只讨论微观前兆异常“一多、二大、三广”等共性特征的物理基础)。

此外, 震源区(余震分布区)内前兆异常多出现在震前1个月至几十分钟的短临阶段, 因此前兆异常在时空演化上具有从外围向震源收缩的特征。对此, 笔者曾提出用“震源硬化模型”给予解释(陈立德, 2003)。

2 地震前兆异常机理

微观前兆中的地形变、地应力等测值异常,

* 收稿日期: 2007-10-09.

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAC01B03-02-01)资助。

是观测点及附近地壳介质受力后应力应变加剧变化的直接反应；地电异常是测线下方一定深度范围内地壳介质受力后裂隙、孔隙中含水量、水质成分发生改变引起电阻、电位发生变化的结果，故有形变电阻率之说；地磁异常除热磁效应说之外，还有压磁和膨胀磁效应说，可见电磁异常也被认为与地壳形变有直接或间接关系；同样，水位、流量、水温、水化学等测值异常，可被视为观测站及附近地壳中含流体的介质受力后其裂隙、孔隙、裂缝等发生变化，引起流体移动速度及物质交换发生变化的结果，其中水温和水氢的高低、升降异常，可能是含水层与新的不同温度 and 不同氢含量的水层发生联通和进行水体交换的结果。因此，水温、水氢异常同样与地壳应力应变有关。

据此可以推断，异常幅度（ A ）与应变幅度（ ϵ_A ）成正相关（ $A \propto \epsilon_A$ ），异常台项数与区域应力强度和应力集中点数成正相关。因此可以认为，短临阶段出现异常台项数增多、异常幅度增大和异常范围广等特征，是监视区内地壳应力水平增高、应力集中点增多的表现。因为强震是地壳介质发生大破裂的结果，大破裂的发生必定要有一个高的应力环境，这样才能启动大的宏观破裂。岩石破裂实验中样本的大破裂都发生在加载峰值之后一定时间就是证明。

综上所述，可以认为当监视区前兆异常出现“一多、二大、三广”等特征时，监视区已处于高应力状态，这一状态有利于区内地壳介质发生大破裂，因此将上述前兆异常特征视为区内可能发生大破裂的临界时段的表现特征是合理的。

3 短临前兆异常共性特征的机理分析和讨论

3.1 应力水平差异性增高的软包体模型

中国大陆 6 级尤其是 7 级强震一般都发生在大的断裂带上或附近地区，但是国内外的地应力测量表明，大断裂带的应力水平的确远低于断裂带两侧完整块体内的应力水平，并且一般要低几倍。如郯庐断裂带的应力值一般为 $(10 \sim 17) \times 10^5 \text{ Pa}$ ，而离断裂带 40~100 km 的块体内测值则高至 $(40 \sim 50) \times 10^5 \text{ Pa}$ ，后者比前者高 3~4 倍。美国圣安德列斯断裂也有类似结果（陈立德等，2003）。

这样，我们可以将大的断裂带视为一刚度大、

强度高的弹性块体内存在的一条刚度和强度均较低的软弱带。为定量研究方便，该软弱带可被抽象为在一剪切模量为 μ_0 的均匀弹性介质中，包含了一剪切模量为 μ_1 的软包体（球），且 $\mu_0 > \mu_1$ 。假定在比软包体尺寸大许多的地方施加一剪切应力 τ_A ，这时软包体球心处的剪切应力 τ_1 可由下式（卡特等，1989）求得：

$$\tau_1 = \frac{\tau_A \mu_1}{\mu_0 - \beta(\mu_0 - \mu_1)} \quad (1)$$

式中 τ_A 为在远处施加的剪应力， μ_0 为均匀弹性介质（块体内）的剪切模量， μ_1 为软包体（断裂带）的剪切模量， $\beta = 0.1333(4 - 5\nu_0)/(1 - \nu_0)$ ， ν_0 为软包体岩石的泊松比，当 $\nu_0 = 0.25$ 时， $\beta = 22/45 \approx 1/2$ 。

假设：

μ_1/μ_0 （软包体剪切模量/弹性介质剪切模量）为 1, 0.5, 0.1, 0.05, 0

则有： τ_1/τ_A （软包体球心剪应力/远处施加剪应力）为 1, 0.67, 0.18, 0.10, 0。

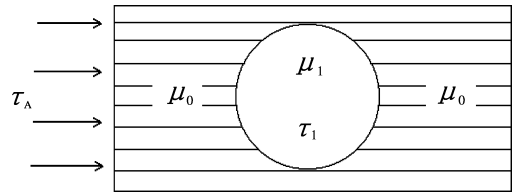


图 1 刚度大的均匀弹性介质中包含软包体模型示意图

如果不考虑 μ_1/μ_0 等于 1 和 0 两种特殊情况，从式（1）及有关结果可以看出，当区域应力（ τ_A ）增加时，软包体的剪切模量与块体的剪切模量之比（ μ_1/μ_0 ）越小，则软包体内应力与区域应力之比（ τ_1/τ_A ）越小。如 μ_1/μ_0 分别为 1/10 和 1/20 时，软包体内应力（ τ_1 ）分别仅为区域应力的 0.18 和 0.1 倍，即仅为区域应力的 1/5 和 1/10。反过来也可以说，要使断裂带上震源区的应力水平达到岩石滑动或破裂的临界值，就要求断裂带外围块体的应力水平有一个显著的增加，否则断裂带（软包体）的应力就达不到滑动或破裂的高应力状态。例如在前述剪切模量比的条件下，要使断裂带（震源区）上的应力水平比原来增加 $100 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，则块体内的应力水平要增大 $555 \times 10^5 \sim 1000 \times 10^5 \text{ Pa}$ 才能实现。面对块体内如此高的应

力状态，出现异常数量、幅度的增加和异常范围的增大，应该是一个符合逻辑的必然结果。同时，只有高应力环境才能启动大的宏观破裂。

3.2 临界点附近信息放大理论

水由液态变为气态、铁磁体因温度上升超过居里点失去磁性、某些材料因温度降低到某一极限电阻消失成为超导体等，这些现象均被称为相变。据此，我们可将某一材料或系统从一种状态突变为另一种状态，并获得新的结构、新的性质的现象称为相变，出现变化的极限点称为临界点或不稳定点。

哈肯（1988）在研究自组织信息系统时，对该系统在临界点附近信息强度的变化进行了分析，得出以下两点重要结论。

（1）临界点附近系统信息出现巨涨落

假设系统的控制变量为 α ，精度的度量为 ϵ ， $\alpha=0$ 时为临界点，在 $\alpha<0$ 和 $\alpha>0$ 的稳定区间内信息 I 的计算公式分别为

$$I = -\frac{1}{2} \ln|\alpha| + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \ln \epsilon - \ln \epsilon \quad (2)$$

和

$$I = -\frac{1}{2} \ln \alpha + \frac{1}{2} \ln \epsilon + \frac{1}{2} - \ln \epsilon. \quad (3)$$

哈肯取 $\epsilon=1$ ，计算出信息 I 的结果如图 2 所示。

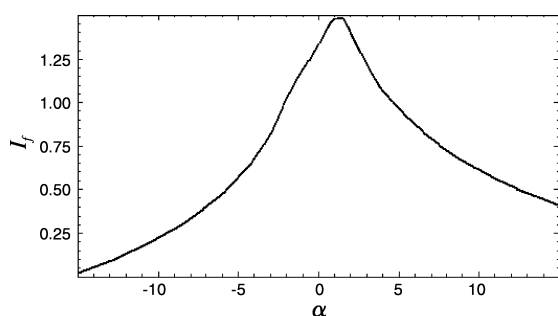


图 2 相对于 $\epsilon=1$ 时，信息 I 随 α 的变化

如果将 $\alpha=0$ 附近区域称为临界不稳定区，那么 $\alpha \rightarrow \infty$ 和 $\alpha \rightarrow -\infty$ 则称为稳定区。从图 2 可见， $\alpha \rightarrow 0$ 时，在临界不稳定区附近系统的信息量随控制变量 α 增大而显著增大，过临界点（ $\alpha>0$ ）后又显著减小，系统信息在临界点附近出现巨涨落，临界点附近的最大信息强度为稳定区的 5.5 倍左右。

（2）临界点附近系统响应信息 I 与注入的附

加信息 σ 成平方关系

假设在不稳定点附近再注入一振幅为 σ 的附加信息，这时系统对附加信息会产生一个新的响应信息，其大小由下式给定：

$$I \approx I_0 - 0.1768 \beta^{-\frac{1}{2}} \epsilon \sqrt{\lambda} (\lambda - 0.7172 \epsilon^{0.906 \lambda}) \sigma^2. \quad (4)$$

式中 I_0 为无附加信息时系统的信息强度， λ 为控制变量 α 的变化区间，负号对应于 $\lambda>0$ （ $\alpha<0$ ），正号对应于 $\lambda<0$ （ $\alpha>0$ ）。可以看出，在临界点附近输出的响应信息 I 与输入的附加信息 σ 成平方关系，即响应信息呈非线性变化。

某一地区发生强震后，该地区就从高应力状态转入了低应力状态，地壳结构也发生了变化，因此可将大震发生过程类似地视为临界相变过程，大破裂发生时刻视为临界点，大震发生的短临阶段则视为临界点附近时段，这样上述信息论中临界点附近信息显著增大，响应信息与注入信息呈非线性增长等理论，就可作为大震的短临阶段前兆异常出现数量增多、同时伴随一定数量巨变异常和异常范围增大等共性特征的理论基础。

4 结论

（1）6 级特别是 6.5 级以上强震发生前 1~2 个月或稍长时间内的短临阶段，微观前兆异常具有“一多、二大、三广”的共性特征。

（2）微观前兆异常是监视区地壳应力增强作用下地壳介质产生应变和应力集中并达到一定量的结果和传递出的信息，其异常幅度与应变幅度成正相关，异常台项数和应力集中点数与区域应力强度也成正相关。

（3）上述短临前兆异常共性特征可用“软包体模型”解释；若将强震大破裂发生时刻视为临界点，就可用信息论中临界点附近系统信息随控制变量变化出现显著增大、输出的响应信息呈非线性变化等理论给予解释。

参考文献：

- 陈立德，付虹. 2003. 地震预报基础与实践 [M]. 北京：地震出版社.
- 哈肯 H. 1988. 信息与自组织 [M]. 成都：四川教育出版社.
- 卡特 N L. 1989. 地壳岩石的力学性状 [M]. 北京：地震出版社.

Physical Bases of Common Characteristics of Short Term and Impending Earthquake Precursor Anomalies before a Strong Earthquake

CHEN Li-de FU Hong WU Cheng-dong

(Earthquake Administration of Yunnan Province Kuming 650224 Yunnan China)

Abstract

The precursor anomalies in short term and impending earthquake period of a strong earthquake have common characteristics as follows: (1) the number of precursor anomalies is more than before; (2) the change amplitudes of some precursor anomalies are larger; (3) the distribution of precursor anomalies is wider; (4) the earthquakes ($M \geq 4$) are quiescent in a quite wide region. The first three characteristics are microcosmic precursor anomaly characteristics; we discussed their physical bases in this paper. We think the soft inclusion model and the theory of information increasing abruptly while the system has been at a critical point can explain these common characteristics.

Key words: strong earthquake; short term and impending earthquake precursor anomaly; common characteristic; physical base