

从能量释放动态过程进行震源机理的实验研究^{*}

郑熙铭¹⁾ 高后秀²⁾ 杨渝钦²⁾ 杨敬宇²⁾ 李志雄³⁾

1) 中国天津 300021 天津市地震局
2) 中国天津 300072 天津大学
3) 中国北京 100036 国家地震局

主题词 地震活动 震源机理 动态过程 相似性 实验研究

震源机理的研究对地震的成因及其预报有着重要的意义。但由于目前的科学技术水平还不可能对震源状态进行直接的观测，所以至今主要还是采用岩石加压破裂实验来进行模拟。虽已取得了大批成果，但毕竟只是一种静态的实验，与实际震源状态的动态过程还有许多不同之处。

在国家自然科学基金资助下，本文作者之一的高后秀等近年来对Cu-Zn-Al合金的形状记忆功能进行了深入的研究，证实在该合金表面存在一种非人工的能量释放活动现象，该现象在时间、空间及能量方面均具有分形特征(高后秀等，1993)。他们的研究成果，已引起国内外材料学界的注视，如1992年美国金属文摘、化学文摘和1991年苏联科学院冶金文摘都相继摘录了他们发表的有关论文。

最近，我们将上述天然能量释放现象和我国大陆地震活动进行类比分析，发现两者有许多相似之处，从而为开展震源机理的实验研究以及地震活动规律的研究提供了一种动态的具有物理意义的新方法。

1 实验和观测方法

实验所用样本是将电解铜、工业用锌和铝锭按一定成分比例在石墨坩埚炉中于1250℃高温下熔炼成铸锭后空冷至室温，再经高温扩散退火之后热轧—中间退火—冷轧而成。其电子浓度为1.42。金相样品尺寸为20 mm×5 mm×1 mm，在800℃箱式电炉中，保温10 min油淬，然后对金相试样磨光抛平。

观测采用Leite Metallu×3金相显微镜进行，并应用连接在该显微镜上的Panasonic F₁₀摄像机拍录存在于样本表面的天然能量释放动态过程，然后将其输入MICRO II-75计算机图象处理系统，进行分形动力学过程的研究和分析，并对产生振荡的内部和外部条件开展实验和观测。

目前完成的具体实验观测内容主要有：①采用FRANK型硬度计测定有振区和无振区的显微硬度；②用电子电位差计记录记忆合金表面能量释放事件之间的时间间隔；③从不同时间拍录的记忆合金表面能量释放事件照片上量测有振区的大小及相互间的距离，并用Sand box方法计算它们的时、空分维值；④在不同的环境温度下，观察记忆合金表面能量释放过程的差异性。

2 实验结果与分析

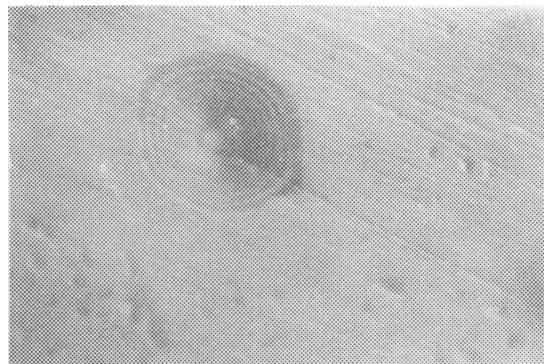
目前已观测到的在形状记忆合金表面发生的能量释放现象主要有如下的结果：(1)单点能量释放图形

* 国家自然科学基金资助课题。国家地震局85-04-7-6课题。
1996-02-12收到初稿，1996-10-15收到修改稿并决定采用。

为深浅色带交替出现的近似同心圆或不规则多边形(照片 1), 以不同的周期由内向外, 尔后由外向内以类似波的传播方式波动、振荡。

(2) 能量释放点的时空分布均呈不均匀分布(照片 2), 且都有很好的分形特征(图 1)。

(3) 能量释放区的硬度试验结果表明, 在无振区的压痕周围诱发出一些矛头状的马氏体浮凸, 而在有振区则未发现这种现象。另外, 有振区的硬度一般比无振区硬度要高(表 1)。



照片 1 单点能量释放图形($4500\times$)

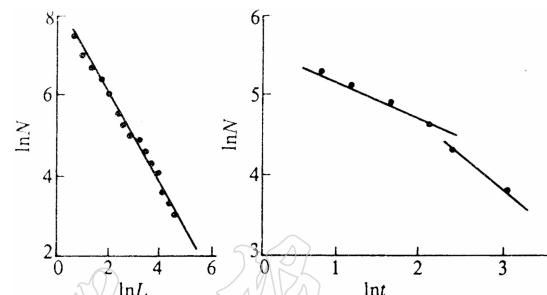


图 1 能量释放点的空间分形(左)和时间分形(右)特征



照片 2 不同时间视场内能量释放点的分布($4500\times$)

表 1 有振区和无振区的显微硬度测定结果

位 置	样 本 号			均 值
	I	II	III	
有振区	152.0	141.5	127.0	140.2
无振区	131.0	119.1	130.5	126.9

(4) 通过实验证实, 能量释放点自身频率是不固定的, 在时间轴上的分布显示出疏密相间状态, 且疏的少、密的多。

(5) 能量释放点的位置与样本内部物质结构有关。由于样本内部物质结构存在着非均匀性, 所以, 在应力作用下, 总是在相对不稳定的一些地方产生能量释放现象。

(6) 临近能量释放时观察到晶格的旋转现象。

3 与地震活动的相似性

3.1 机理上的相似之处

地震的震源区是一个能够积聚能量并最终导致能量释放的地区。许多学者都提出震源区和非震源区的介质性能不同，这从物探和地震波速分析的资料都可能得到证实。例如，孙若昧等(1993)和梅世蓉(1995)就提出震源体刚度比环境刚度要大。记忆合金表面能量释放现象也是发生在硬度相对较高的地方。

强震即将发生时，会有预位移或介质的弱化现象发生。如陈颙等(1982)曾采用单自由度加载系统的力学模型，研究岩体失稳的必要条件是介质出现滑动软化(即应力-应变曲线出现 $f'(u)<0$ 的情况)。临震状态的这种固态软化，和从记忆合金表面观测到的能量即将释放时介质出现软化很相似。

强震的发生是一种岩石失稳现象。记忆合金表面能量释放也是一种失稳现象，它是在母相和马氏体相的共存(类似于“双稳态”)状态下，因某种微小“涨落”(犹如地震临界状态时的触发因子)导致母相和M相平衡的打破(即“失稳”)而形成的。

3.2 表现形式上的相似之处

地震活动在时空强方面都具有分形特征(陈颙等，1989)。记忆合金表面能量释放现象也呈现自相似结构，且具有时空强的分形特征(图1)。

强震震中位置与地质构造密切相关，记忆合金表面发生能量释放现象的地方也与样本内部物质结构状态密切相关。

强震发生前有地温异常(张肇诚，1988；1990 a, b)。通过实验观察到记忆合金表面能量释放过程也受到环境温度的影响。

4 在地震研究中的应用

4.1 在震源物理研究方面的应用

对比记忆合金表面能量释放区和非能量释放区物理性质和物性结构方面的差异，并跟踪这种差异随时间的变化，可为地震震源环境的研究提供相似的观测结果。

记忆合金表面能量释放现象反映出的固态与液态之间的相变临界现象对地震活动的临界特征研究有重要参考意义。如郭增建等(1988)曾提出大震前可能有前兆性地旋的临震现象。在记忆合金表面能量释放现象的观察过程中，也发现类似的晶体旋转的临界状态。

通过改变记忆合金表面能量释放过程的外部环境，可对地震发生的外部因素的影响提供类似的实验结果。

4.2 在中短期(一年尺度)地震预报方面的应用

强震活动是一种低概率的随机事件，又是无法进行人工实验的事件。因此，至今对它进行的预测，依然是低水平的。但是，它在时空强方面却都具有统计分形的特征(陈颙等，1989)，而记忆合金表面的能量释放现象，也是一种非人工因素造成的，并在时空强方面都有统计分形的特征。陈颙曾指出，如若这两种自然现象的绝对分形相同，则就具有预测的价值。对此，我们作了一些有益的探索，例如，我们把四川地区1900年以来6级以上的地震活动(以年为单位)和记忆合金表面能量释放过程(以秒为单位)两者在时间序列上进行对比，使两者相对重合率达72%(图2)，然后再根据记忆合金表面能量释放过程的发生时间外推1996年该地区发生6级以上地震的时间；并用同样的方法对台湾、新疆、华北等地区1996年6级以上地震活动发生时间进行了预测，并将结果(表2)于1996年1月向国家地震局科技监测司预报处等有关地震部门作了书面汇报。从表2可知，这一方法在一年尺度强震的预报上有较好的效果。

5 结论

通过记忆合金表面能量释放现象和我国强震活动的对比及相似性研究，可以看出，把记忆合金表面能量释放现象的观察和实验研究成果引入地震研究领域，有着广阔的应用前景。在孕震机理(尤其是在短临特征方面)的研究、强震活动的预测研究和孕震模式的研究等方面，都有现实的重要意义。

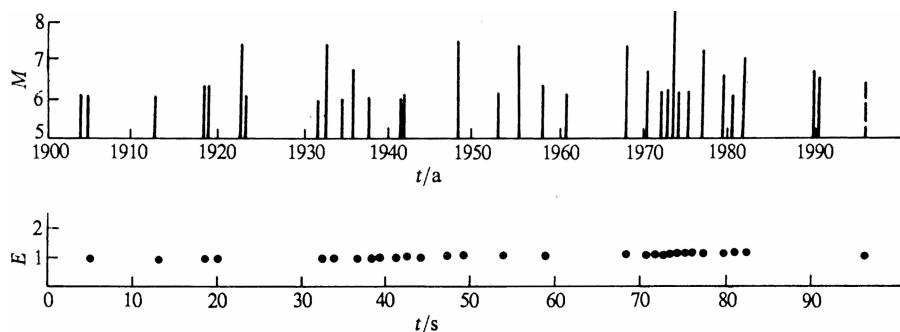


图2 地震活动(上)和记忆合金表面能量释放(下)的时间序列对比

表2 对1996年6级以上地震活动的预测及其结果

预测地区		时间分维值		预测发 震时间	可信度	实际地震活动情况
地点	范 围	历史地震	记忆合金 能量释放			
四川	27°~35.5°N 97°~106°E	0.21	0.23	4月(±3个月) 或 11月(±3个月)	0.72	2月3日在丽江(27.2°N, 100.3°E) 发生7.0级地震
台湾	21°~26°N 119°~122°E	0.78	0.79	4月(±3个月) 和 11月(±3个月)	0.62	3月5日在台湾(24.7°N, 122.0°E) 发生6.7级地震 9月6日在台湾(21.5°N, 121.9°E) 发生7.1级地震
新疆	34°~50°N 72°~95°E	0.79	0.80	10月(±3个月)	0.60	3月13日在新疆(48.6°N, 88.0°E) 发生6.1级地震 3月19日在新疆(39.9°N, 76.8°E) 发生6.9级地震 11月19日在新疆(35.2°N, 78.0°E) 发生7.1级地震
华北	29°~44°N 106°~124°E	0.80	0.83	11月(±6个月)	0.63	5月3日在包头西(40.7°N, 109.6°E) 发生6.4级地震 11月9日在南黄海(31.7°N, 123.1°E) 发生6.1级地震

有关利用绝对分形一致性进行预测的可行性问题，曾得到陈颙院士的指导，在此表示衷心地感谢。

参 考 文 献

- 陈颙, 郝晋升, 严维玲, 等, 1982. 单轴压缩时压机刚度对岩石样品声学性质的影响. 见: 国家地震局科技监测司(编), 大陆地震和地震预报国际学术讨论会论文集. 北京: 地震出版社. 409~415
- 陈颙, 彭成斌, 朱力远, 等, 1989. 分形与混沌在地球科学中的应用. 北京: 学术期刊出版社. 85~101
- 高后秀, 赵燕平, 杨渝钦, 等, 1993. Cu-Zn-Al 合金表面振荡花样的分形动力学过程研究. 见: 辛厚文(主编), 分形理论及其应用. 合肥: 中国科技大学出版社. 320~322
- 郭增建, 秦保燕, 姚兰予, 等, 1988. 前兆性地旋与短临地震预报. 华南地震, 8(2): 24~31
- 梅世蓉, 1995. 地震前兆物理模式与前兆时空分布机制研究(一). 地震学报, 17(3): 276
- 孙若昧, 赵燕来, 梅世蓉, 1993. 渤海及其邻区的地震层析成像. 地球物理学报, 36(1): 44~54
- 张肇诚(主编), 1988. 中国震例(1966~1975). 北京: 地震出版社. 70~71, 207
- 张肇诚(主编), 1990 a. 中国震例(1976~1980). 北京: 地震出版社. 73, 90, 119, 159, 370
- 张肇诚(主编), 1990 b. 中国震例(1981~1985). 北京: 地震出版社. 8, 86, 105