

加卸载响应比理论在包头西 $M_s6.4$ 地震预报中的应用

常克贵, 高立新, 张建业, 曹井泉

(内蒙古自治区地震局, 内蒙古 呼和浩特 010051)

摘要: 用加卸载响应比理论对包头西 $M_s6.4$ 地震前加卸载响应比随时间的变化进行了较详细的研究. 结果表明, 震前加卸载响应比有较明显的上升异常. 异常出现的时间和异常幅度大小不但与所选择的区域和震级下限有关, 而且还与发震构造和控震构造有关. 异常与地震的对应关系表现为: 上升异常出现、转折并恢复到正常值附近时发震. 异常持续时间, 短的 1 a 以上, 最长 4 a 左右.

主题词: 地震预报; 加卸载响应比理论; 包头西 $M_s6.4$ 地震

中图分类号: P315.75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(1999)04-0350-06

0 引言

地震预测预报是世界性的科学难题之一. 显然人类很早就对地震这一灾害进行了不懈的研究和探索, 也取得了一些令人鼓舞的成绩, 但更多的是令人沮丧的教训与失败. 众所周知, 近几年, 尤其是包头西 $M_s6.4$ 地震后, 测震学方法遇到了挑战. 实践告诉我们, 地震预报是一个极其复杂的地球物理学问题, 要想在这个问题上有所突破有所提高, 关键是走由经验预报转为物理预报之路. 地震的物理本质是什么? 就是地球岩石圈这个强非线性系统在构造应力作用下, 震源区介质失稳所致. 因此, 研究该非线性系统的失稳过程对预测预报具有很大的现实意义. 1987~1991 年尹祥础等人对该非线性系统进行了研究, 并提出了加卸载响应比理论. 应用这一理论对 1970 年以来中国大陆 7 级以上地震进行了研究并取得了良好的预报效果^[1~3]. 本文用该方法对包头西 6.4 级地震前的地震活动资料进行了研究分析, 结果表明, 该方法具有特殊的视角, 应用前景无疑是广阔的.

1 加卸载响应比理论及其在地震预报中的应用

加卸载响应比理论是关于非线性系统失稳后发生事件的预测预报理论. 该理论认为, 当非线性系统处于稳定状态时, 其响应比为常数, 当其偏离稳定趋于失稳时, 其响应比则不断增加直到无穷大. 为了描述系统的稳定程度, 对加卸载响应比作如下定义:

$$Y = \frac{\text{系统对加载的响应率}}{\text{系统对卸载的响应率}} \quad (1)$$

当系统处于稳定状态时,加载和卸载的响应率相等;当系统处于偏离态时,加载响应率大于卸载响应率, $Y > 1$; 当系统严重失稳时, $Y \rightarrow \infty$.

将响应比理论应用于地震预测预报时,首先应解决两个问题:其一是怎样对震源区进行加载与卸载;其二是选择哪个地球物理参量作为响应比,对于地震,一般说来尽可能选择与孕震有关的参数.本文选择研究区域地震释放能量 E 的平方根(本尼奥夫应变)作为响应参数^{[3~5],①},其优点有二:一是它是目前条件下最容易得到的第一手资料;二是根据大小地震在一定的前提下相关的思路,它们必然会携带震源处的孕震信息.

定义如下:

$$Y = \left(\sum_{i=1}^{N_+} \sqrt{E_i} \right) / \left(\sum_{i=1}^{N_-} \sqrt{E_i} \right) \quad (2)$$

2 工作的一些思路

常克贵等在“加卸载响应比理论在张北-尚义 $M_s 6.2$ 地震预测中的应用”^①一文中,对最大限度地排除已认识的干扰,突出有用信息等方面进行了有益探索.例如限定上限,我们这次的工作,目录上限定为 $M_s = 4.9$;删除余震;关于目录下限的影响,考虑到包头地区台网的控震能力,结合区域地震分布的实际情况在 1.0, 1.5, 2.0 和 2.5 这 4 档中,我们认为选 1.5 和 2.0 较好,因为 1.0 级地震控震能力有限,可能造成样本量不全,2.5 级地震虽说可收集齐备,但因样本量少,会影响计算精度,故将二者舍去;区域的选取拟定从 3 个区域范围做工作,以“地震基本参数的测定”^[6]一文中所给出的包头西地震震中位置作为矩形的几何中心($40^\circ 42.7' N$, $109^\circ 36.9' E$),第 1 个区范围为 $6^\circ \lambda \times 4^\circ \varphi$;第 2 个区范围为 $4^\circ \lambda \times 2^\circ \varphi$;第 3 个区范围为 $2^\circ \lambda \times 2^\circ \varphi$.有关断裂带的参数,本文是以杨发等在“包头西 $M_s 6.4$ 地震地质构造背景与发震构造”一文中所给出的结果为依据的,有关断裂包括色尔腾山山前断裂带和乌拉山北缘活动断裂带.

总之,本文除以上考虑外,在等时间法(适当选取窗口、步长)的基础上,为了类比探索,消除干扰,在同等条件下,选用了等个数法(适当选取窗口、步长)一并计算.

3 资料与计算

这次用加卸载响应比做工作时,所选取的区域几何中心是文献[6]所给出的震中,也就是 $40^\circ 42.7' N$, $109^\circ 36.9' E$.区域地震目录选自中国地震局汇编的中国地震目录数据库.时间从 1986 年 1 月 1 日开始,止于 1996 年 4 月 30 日.有关这一区域其它地震事件的加卸载响应比变化特征,因篇幅所限,这里就不一一讨论了.

当有关参数选好后,就可按照(2)式进行计算.具体的计算过程是这样的,针对每一个窗口的每一个地震计算地震时固体潮引力在震源断裂面上所产生的附加有效剪应力.假若其值大于零,则该地震就被定义为“正地震”,反之,则被定义为“负地震”,按(2)式,分子为某一窗口所有正地震的应变之和,分母为同一窗口所有负地震的应变之和.其比值即为该窗口的加卸载响应比^[4].

4 结果与分析

图 1、图 2 和图 3 分别是所选区域 $6^\circ \lambda \times 4^\circ \varphi$ 、 $4^\circ \lambda \times 2^\circ \varphi$ 和 $2^\circ \lambda \times 2^\circ \varphi$ 在包头西 $M_s 6.4$ 地震前

① 常克贵,等.加卸载响应比理论在张北-尚义 $M_s 6.2$ 地震预测中的应用.华北地震科学,待刊.

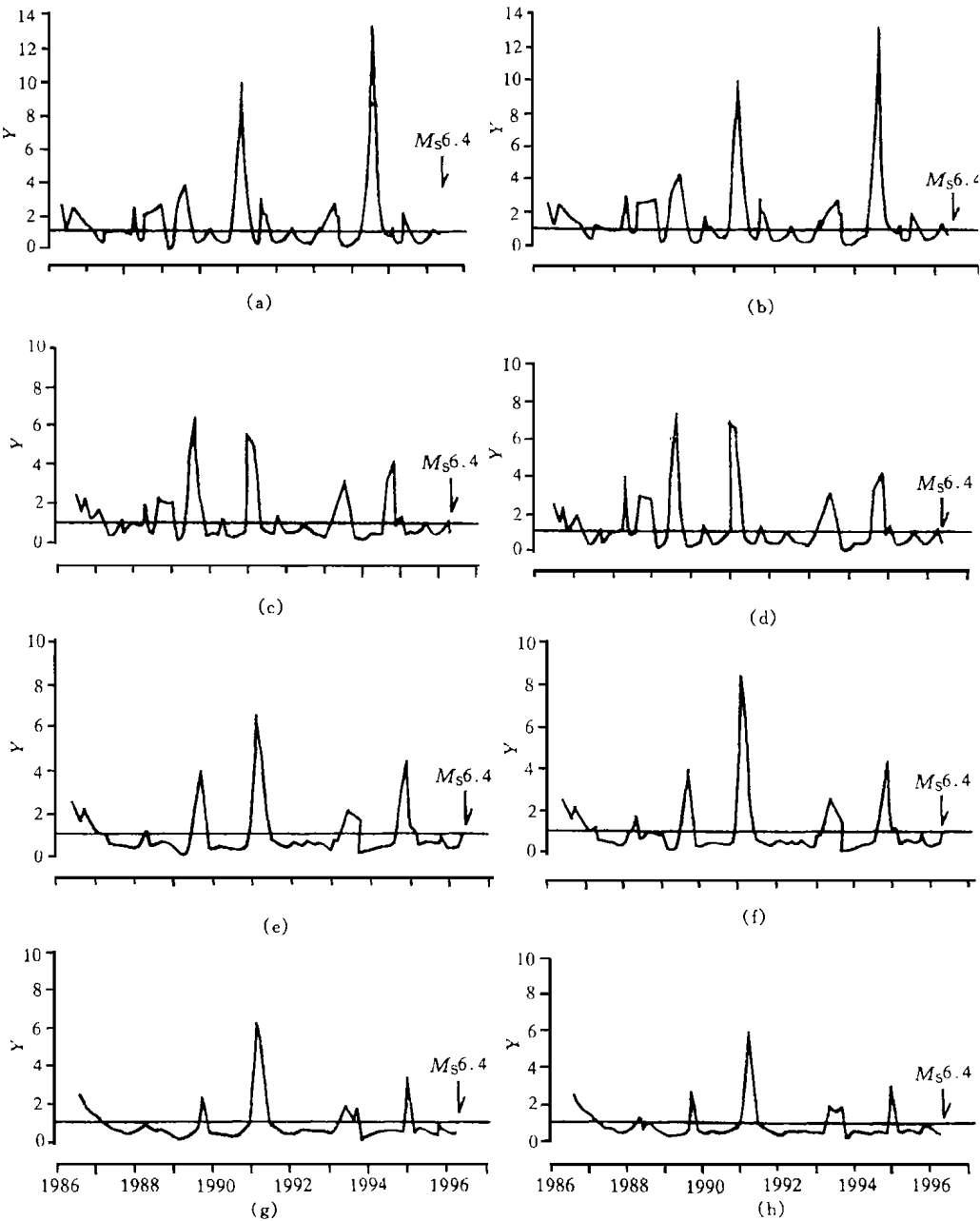


图 1 包头西 $M_S6.4$ 地震前加卸载响应比随时间的变化曲线 ($6^{\circ}\lambda\times4^{\circ}\varphi$)

Fig. 1 The change curves of load-unload response ratio with time before the Baotou $M_S6.4$ earthquake ($6^{\circ}\lambda\times4^{\circ}\varphi$).

(a)、(c)、(e)、(g)是用色尔腾山山前断裂带参数计算的响应比; (b)、(d)、(f)、(h)是用乌拉山北缘活动断裂参数计算的响应比; (a)、(b)、(c)、(d)是用震级下限为 $M_L1.5$ 的区域地震目录计算的响应比; (e)、(f)、(g)、(h)是用震级下限为 $M_L2.0$ 的区域地震目录计算的响应比; (a)、(b)、(e)、(f)是用等时间法计算的加卸载响应比; (c)、(d)、(g)、(h)是用等个数法计算的加卸载响应比

加卸载响应比 Y 的计算结果. 每个图左边 4 幅小图是用色尔腾山山前断裂带参数计算的响应比, 而右边 4 幅小图是用乌拉山北缘活动断裂参数计算的响应比. 每个图上边 4 幅小图是以震级下限为 $M_L1.5$ 的区域目录计算的响应比 Y ; 而下边 4 幅小图则是以震级下限为 $M_L2.0$ 的区域目录计算的. 需要进一步说明的是, 每个图中的 (a)、(b)、(e)、(f) 是以等时间法计算的加

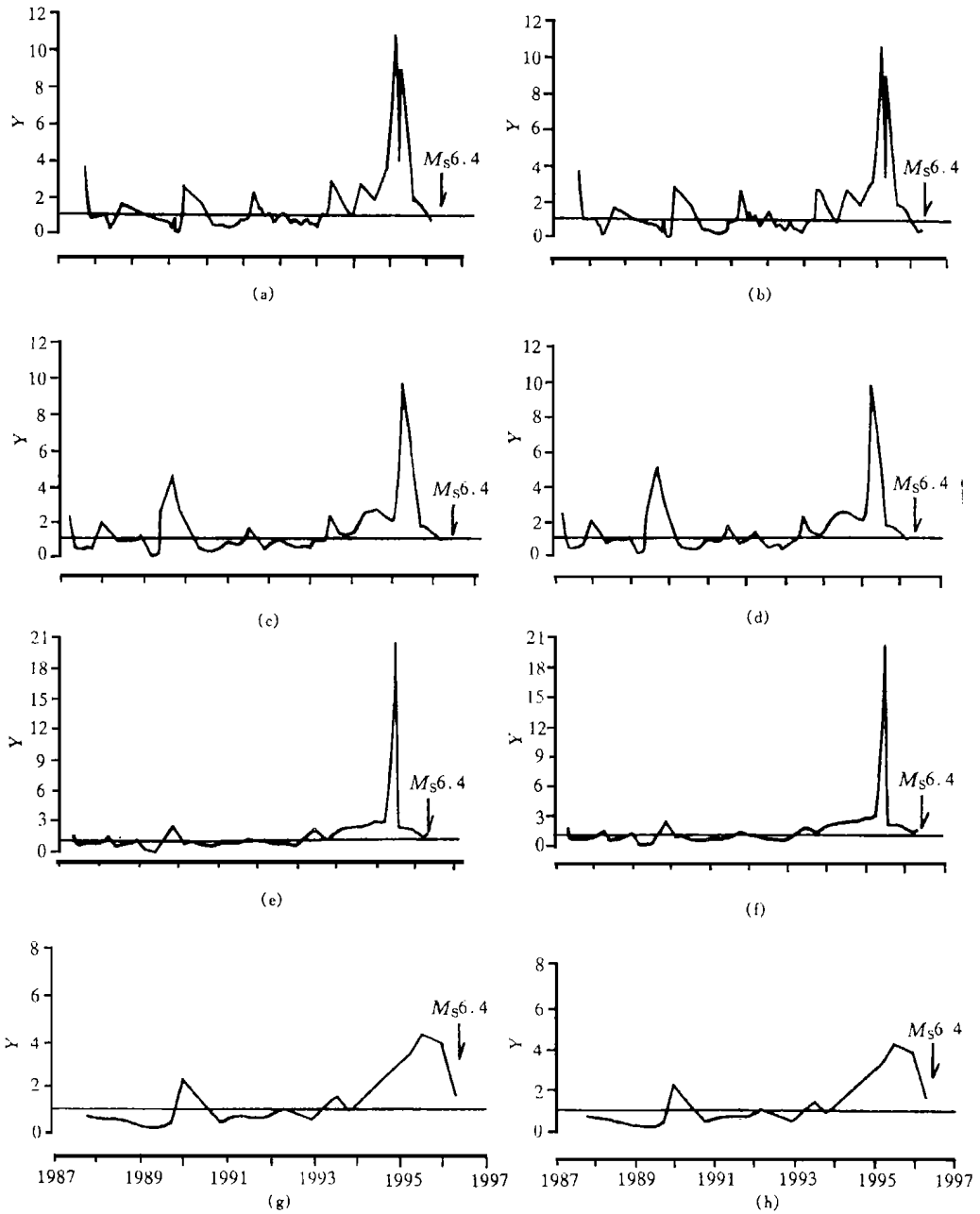


图2 包头西 $M_s6.4$ 地震前加卸载响应比随时间的变化曲线 ($4^{\circ}\lambda\times2^{\circ}\varphi$)

Fig. 2 The change curves of load-unload response ratio with time before the Baotou $M_s6.4$ earthquake ($4^{\circ}\lambda\times2^{\circ}\varphi$).

(a)、(c)、(e)、(g)是用色尔腾山前断裂带参数计算的响应比; (b)、(d)、(f)、(h)是用乌拉山北缘活动断裂参数计算的响应比; (a)、(b)、(c)、(d)是用震级下限为 $M_L1.5$ 的区域地震目录计算的响应比; (e)、(f)、(g)、(h)是用震级下限为 $M_L2.0$ 的区域地震目录计算的响应比; (a)、(b)、(e)、(f)是用等时间法计算的加卸载响应比; (c)、(d)、(g)、(h)是用等个数法计算的加卸载响应比

卸载响应比 Y ; 而(c)、(d)、(g)、(h)则是以等个数法计算的响应比 Y 。

通过对图 1、图 2 和图 3 中响应比 Y 的变化形态进行类比与归纳研究, 得出如下一些初步认识:

(1) 就这 3 个区域开展上述条件下的响应比研究, 结果表明, 震前 1~4 a 内, 响应比均出

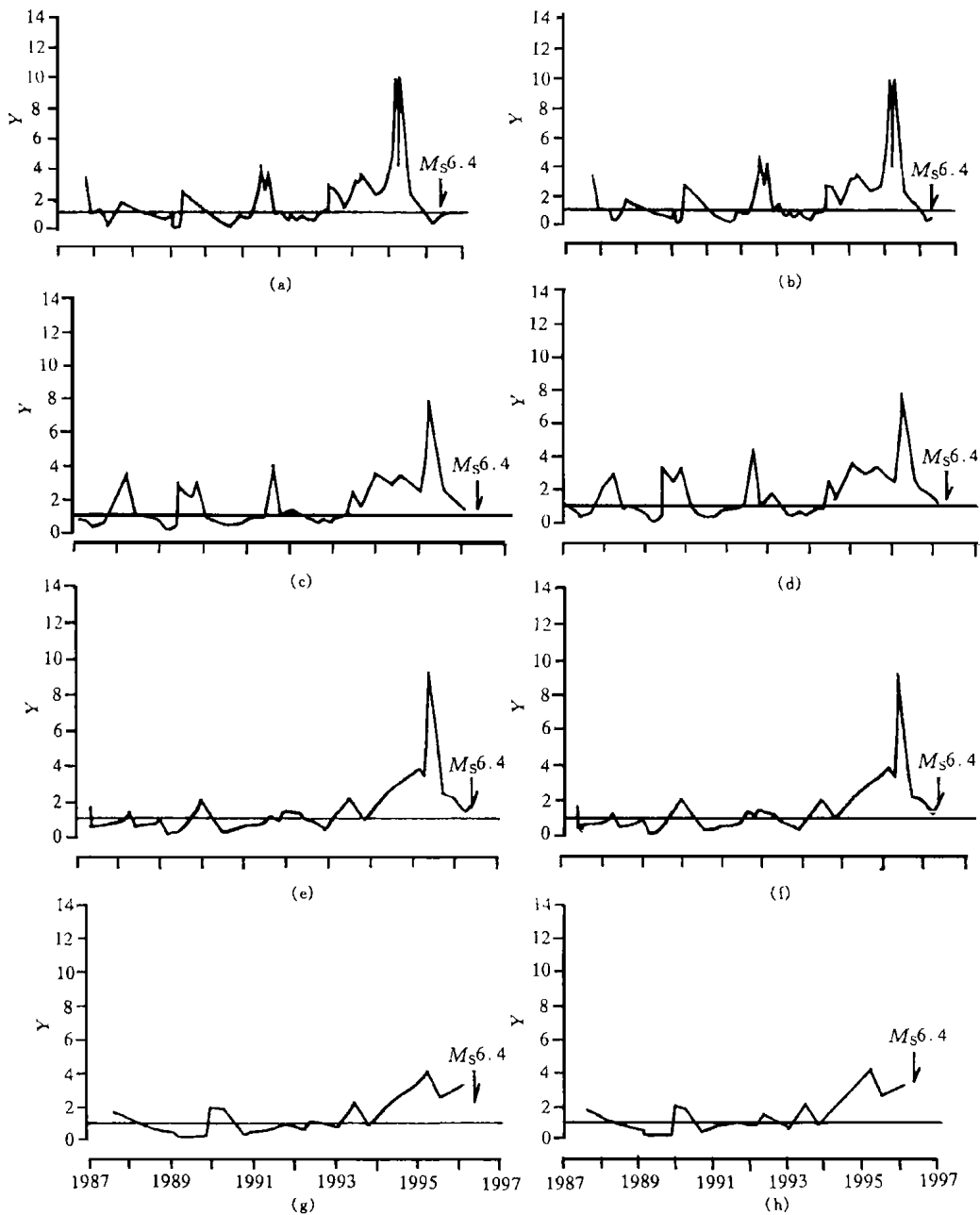


图 3 包头西 $M_S6.4$ 地震前加卸载响应比随时间的变化曲线 ($2^\circ\lambda\times2^\circ\varphi$)

Fig. 3 The change curves of load-unload response ratio with time before the Baotou $M_S6.4$ earthquake ($2^\circ\lambda\times2^\circ\varphi$).
(a)、(c)、(e)、(g)是用色尔腾山山前断裂带参数计算的响应比;(b)、(d)、(f)、(h)是用乌拉山北缘活动断裂参数计算的响应比;(a)、(b)、(c)、(d)是用震级下限为 $M_L1.5$ 的区域地震目录计算的响应比;
(e)、(f)、(g)、(h)是用震级下限为 $M_L2.0$ 的区域地震目录计算的响应比;(a)、(b)、(e)、(f)是用等时间法计算的加卸载响应比;(c)、(d)、(g)、(h)是用等个数法计算的加卸载响应比

现比较明显的上升异常,在图 2 和图 3 中尤为突出,结合该区域时间段发生的地震事件的实际情况,更有力地说明响应比变化的根本原因。

(2) 就异常形态而言,其表征特点有两种,一种是出现上升异常,上升异常转折下降, Y 值恢复到正常值 1 后一定时间段内发震;另一种是异常上升转折后,虽有恢复之势,但 Y 值未恢

复到1时发震.

(3) 两断裂带走向、规模虽然不尽相同, 但因为在震源区附近二者走向、倾向、倾角、断层面的滑动角(即侧伏角)均大致相近, 故对响应比的影响就微乎其微, 如果要细分一下, 似乎色尔腾山山前断裂带对响应比的影响略大于乌拉山北缘断裂.

(4) 就3个研究区域比较而言, 似乎区域 $4^\circ\lambda \times 2^\circ\varphi$ 和 $2^\circ\lambda \times 2^\circ\varphi$ 对响应比的反应比较灵敏.

(5) 就等时间与等个数两种方法而言, 差别不太大, 这说明有关边界状态比较均衡, 大体上等时间法异常较大, 异常态势比较明显.

5 结语

近期, 我们分别应用加卸载响应比方法对张北-尚义 $M_s 6.2$ 地震和包头西 $M_s 6.4$ 地震进行了回顾性预测预报研究, 并对具体计算中的边界条件进行了初步尝试与探索. 实践证明该方法将测震学、非线性系统和地震构造有机地结合在一起, 其预测预报结果是令人满意的, 其应用前景也相当广阔, 对其中尚需探索的领域, 我们准备在下一步工作中边思考, 边实践, 边提高.

[参考文献]

- [1] 尹祥础, 等. 非线性系统失稳的前兆与地震预报——响应比理论及其应用[J]. 中国科学(B辑), 1991, 5: 512~518.
- [2] 尹祥础, 等. 加卸载响应比——一种新的地震预报方法[J]. 地球物理学报, 1994, 37(6): 767~775.
- [3] 尹祥础. 地震预报新途径的探索[J]. 中国地震, 1987, 3(1): 1~7.
- [4] 陈学忠, 等. 加卸载响应比理论在中强地震($M \geq 6$)预测中的应用[J]. 中国地震, 1995, 11(1): 33~37.
- [5] 常克贵. 用模糊优先比方法估计地震的危险性[J]. 地震, 1985, (6): 12~15.
- [6] 杨发, 郭文生. 1996年5月3日包头西6.4级地震总结[J]. 内蒙古地震, 1996, (1): 20~25.

APPLICATION OF THE LOAD-UNLOAD RESPONSE RATIO THEORY TO PREDICTING THE BAOTOU $M_s 6.4$ EARTHQUAKE

CHANG Ke-gui, GAO Li-xin, ZHANG Jian-ye, CAO Jing-quan
(*Seismological Bureau of Inner Mongolia, Huhhot 010051, China*)

Abstract

The variation characteristics of the load-unload response ratio with time before the Baotou $M_s 6.4$ earthquake are studied by using the load-unload response ratio theory. The result showed that there is obvious anomaly before the earthquake. The influence factors on the anomaly contained not only time, amplitude, selected region and lower limit magnitude, but also seismotectonics and structures controlling earthquakes. For the relationship between anomaly and earthquake, there will be an earthquake when the ascendant anomaly has arisen, had a turn in the course of events and returned to normal. The time of anomaly is sustained from one year to four years.

Key words: Earthquake prediction; Load-unload response ratio; Baotou $M_s 6.4$ earthquake