

# 日本兵库县南部地震和关东地区强震前正负地震的演变特征及其对地震预测的意义<sup>\*</sup>

王裕仓<sup>1) 4)</sup> 宋治平<sup>1) 4) \*</sup> 细野耕司<sup>2)</sup>  
陈学忠<sup>3)</sup> 尹祥础<sup>3)</sup>

1) 中国北京 100081 国家地震局地球物理研究所

2) 日本东京日本气象厅地震研究所

3) 中国北京 100036 国家地震局分析预报中心

4) 中国北京 100080 中国科学院力学研究所 LNM 实验室

**摘要** 通过对日本兵库县南部 7.2 级地震和关东地区强震前的正、负地震演变过程的研究发现：大部分强震震源及附近地区内，震前某一时段、某一震级以上地震主要为正地震，形成正地震集中时段，主震一般位于正地震分布区内或边缘；在主震前数个月内一般发生负地震（不排除正地震），同时响应比值在震前存在降低的过程，这可能是孕震过程进入短期阶段的一种表现。这些特征对未来地震的发生区域和发生时间预测可提供一些参考，并对日本关东地区 1996 年 9 月 11 日 6.6 级地震的发生区域和发生时间的特征进行了初步研究。

**主题词** 加卸载响应比 正、负地震 地震预测 日本兵库县南部地震

## 引言

加卸载响应比(LURR)理论从提出至今已取得较大进展(尹祥础, 1987; 尹祥础, 尹灿, 1991; Yin *et al.*, 1993; 尹祥础等, 1994; Yin *et al.*, 1995; 陈学忠, 1995; 宋治平, 1996)。在地震预测研究中，应用加卸载响应比 Y 的时空演变确定地震三要素，时间预测精度为半年左右(宋治平等, 1996)。如何把 LURR 理论应用于地震短期预测？如何把预测水平再提高一步？带着这些问题，本文对著名的日本兵库县南部 1995 年 1 月 17 日 7.2 级地震以及日本关东地区 9 次强震进行了研究。

加卸载响应比理论的关键是利用日、月引潮力不停地对地球产生的加载和卸载，通过加载、卸载响应的差别来判定某地区的地震危险性。在加载期间发生的地震称为正地震（或 load earthquake），在卸载期间发生的地震称为负地震（或 unload earthquake）(李洁, 尹祥础, 1993)。尹祥础等(1996)对兵库县南部地震以及关东地区数次强震前 LURR 随时间的变化进行了研究，表明加卸载响应比理论也适用于日本部分地区的地震。在此基础上，对每次地震前震源附近的正、负地震在空间的分布和随时间的变化进行了初步研究。

\* 国家地震局“九五”攻关项目，地震科学联合基金资助项目，国家地震局地球物理研究所论著 97A0078。

\*\* 现在地址：北京市地震局。

1996-08-13 收到初稿，1997-06-10 收到修改稿，1997-07-05 决定采用。

(宋治平, 1996).

本文主要研究震源附近区的正、负地震的演变特征, 进一步从正、负地震角度认识地震的孕震过程, 从而为预测发震地点和发震时间提供一些新的线索。在下文中的“正地震集中时段”指在研究区域内, 某一震级以上地震在某一时段主要为正地震。“正地震分布区”指“正地震集中时段”的正地震空间分布区域, 其特征大部分为相对集中, 少数分布较散。正、负地震的  $M-t$  图与通常的  $M-t$  图大同小异, 不同处仅在于将地震分为正、负地震, 正地震画在图中横坐标以上, 而负地震则画在横坐标以下。在正、负地震的空间分布图中, “●”表示主震震中, “×”表示负地震, “○”表示正地震。

## 1 兵库县南部 7.2 级地震前震源及附近地区正、负地震的演变过程

1995 年 1 月 17 日日本兵库县南部 7.2 级地震的震中位置为北纬  $34^{\circ}36'$ , 东经  $135^{\circ}02'$ , 因此取震源及附近地区( $33^{\circ}\sim36^{\circ}\text{N}$ ,  $134^{\circ}\sim137^{\circ}\text{E}$ )作为研究区, 以区域内所有地震作为研究对象。图 1a 为兵库县南部地震前加卸载响应比随时间的变化曲线(尹祥础等, 1996)。由图可见, 加卸载响应比在 1993 年前一直保持在 1 附近的稳定值, 在 1993~1994 年间,  $Y$  逐渐升高然后降低, 最后发震, 即  $Y-t$  曲线表现为“上升→下降→发震”特点。对研究区内正、负地震随时间的变化进行分析表明, 4 级以下的正、负地震随时间变化的特征不明显, 而  $M\geq 4.0$  的正、负地震表现出一个“正负地震共存→正地震集中时段→负地震的出现→强震发生”的演变过程(如图 1b)。震前不同时段的正、负地震空间分布表明, 在 1993~1994 年研究区内 4 级以上地震都为正地震, 且集中在较小的范围内(图 1c); 在震前 4 个月内, 研究区内开始出现负地震。最后主震发生在正地震分布区的边缘(如图 1d)。

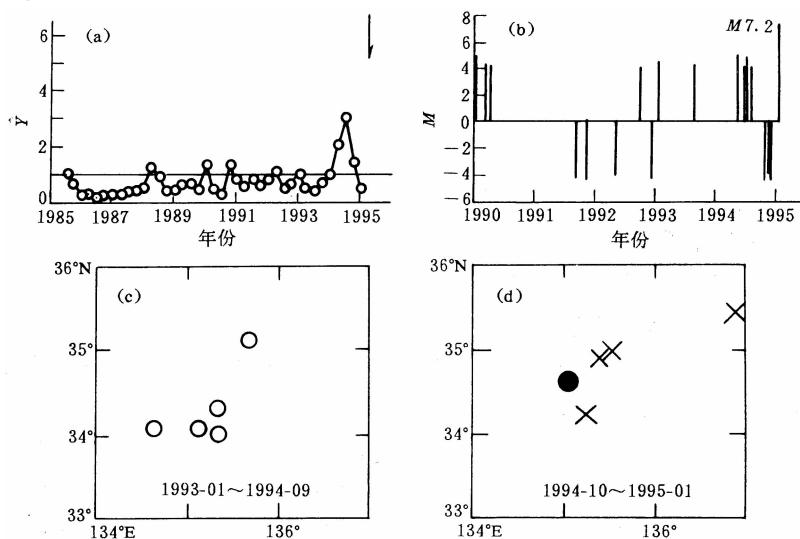


图 1 日本兵库县南部 7.2 级地震前震源及附近地区 LURR 特征

(a) 所有地震的加卸载响应比随时间的变化曲线; (b)  $M\geq 4$  的正、负地震

$M-t$  图; (c) 1993 年 1 月~1994 年 9 月间 4 级以上正负地震分布图;

(d) 1994 年 10 月~1995 年 1 月 4 级以上正负地震分布图

## 2 关东地区强震前正、负地震的演变特征

尹祥础等(1996)对关东地区数次强震前 LURR 随时间的变化进行了研究, 本文在此基础上, 对关东地区 9 次 5.9 级(日本震级)以上地震(见表 1)前震源及附近区域内正、负地震的时空变化进行了研究。其中 1988 年 3 月 18 日 6.0 级与 1987 年 12 月 17 日 6.7 级两次地震相距较近, 时间差较短, 作为一次事件研究。图 2 给出了 9 次地震前加卸载响应比随时间的变化曲线。9 次地震前  $Y$  值均明显大于 1。其中 7 次地震发生在  $Y$  升高后降低的过程中, 2 次地震是在  $Y$  逐渐升高的过程中发生。对中国大陆和美国加州地区的震例研究也表明, 80% 以上地震震源及附近的  $Y-t$  变化形态属于“上升→下降→发震”特征(宋治平等, 1996)。

图 3 给出了 9 次地震前一定震级以上的正、负地震的  $M-t$  图, 由图可见, 大部分地震前一定时段内出现正地震集中时段; 之后, 打破正地震集中时段的局面, 出现负地震; 最后发生主震。其中图 3a~g 较典型。图 3a 中主震前负地震的出现距主震时间较短(约 10 天左右), 图 3h 中主震前正地震集中时段内也存在少数负地震。虽然震例各有差异, 但大部

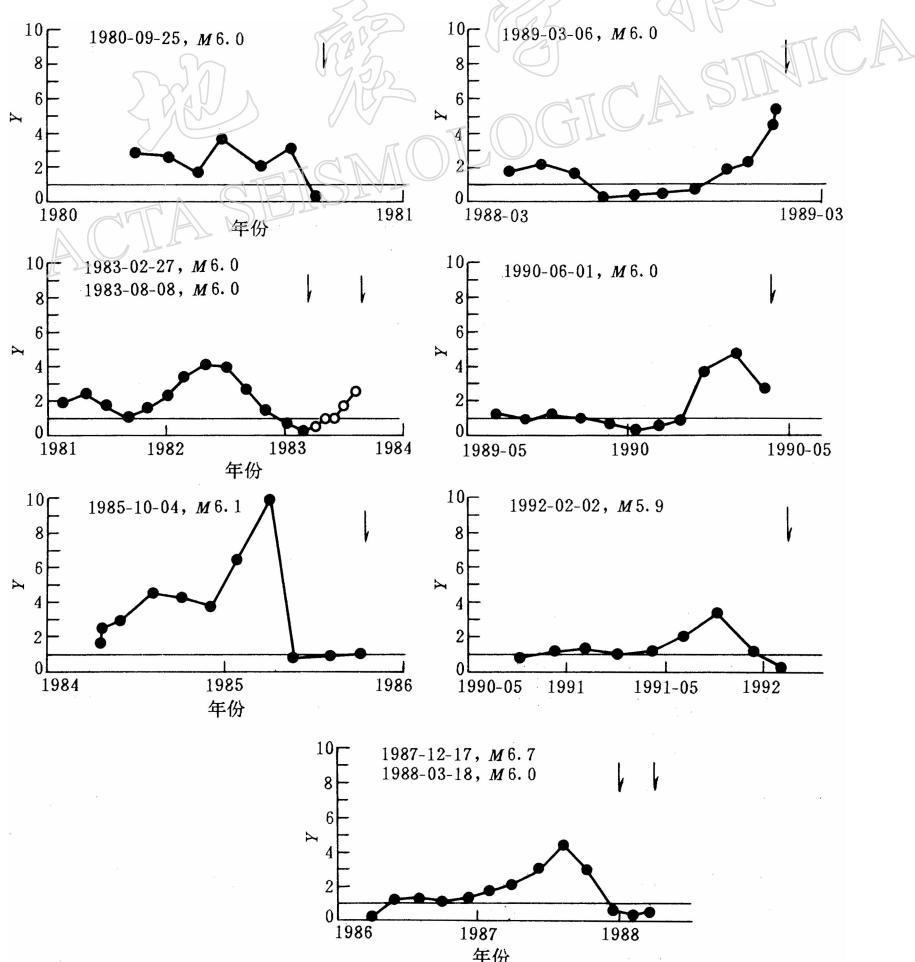
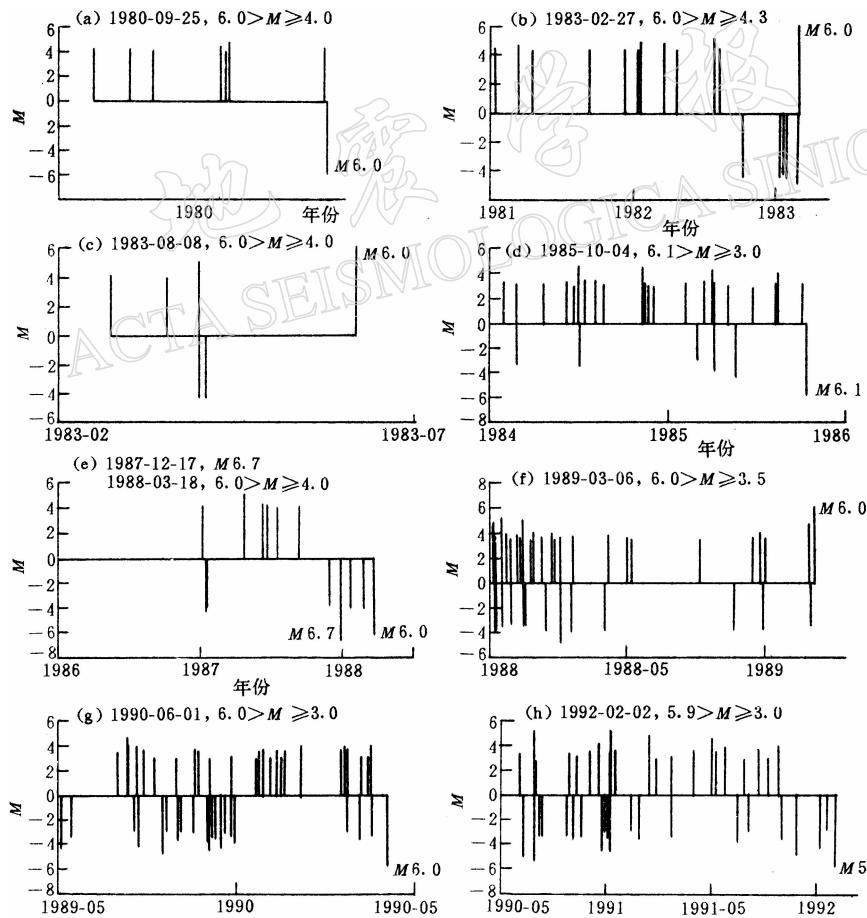


图 2 关东地区强震前的  $Y-t$  曲线

表 1 本文研究的关东地区强震和兵库县南部地震参数表

序号	地震时间 年-月-日	震 中 位 置		震级	负地震距主震 时间/月
		$\varphi_N$	$\lambda_E$		
01	1980-09-25	35°31'	140°13'	6.0	0.33
02	1983-02-27	35°56'	140°09'	6.0	4.0
03	1983-08-08	35°31'	139°01'	6.0	3.0
04	1985-10-04	35°52'	140°09'	6.1	4.0
05	1987-12-17	35°22'	140°29'	6.7	1.0
06	1988-03-18	35°39'	139°38'	6.0	3.5
07	1989-03-06	35°41'	140°42'	6.0	3.0
08	1990-06-01	35°38'	140°43'	6.0	1.5
09	1992-02-02	35°13'	139°47'	5.9	2.0
10	1995-01-17	34°36'	135°02'	7.2	3.0

图 3 关东地区强震前正、负地震  $M-t$  图. 震级为“正数”时表示正地震, 震级为“负数”时表示负地震

分强震前震源及附近区的正负地震的演变过程表现为“正地震集中时段→负地震的出现(不排除正地震的发生)→主震发生”. 而负地震出现的时间距主震有长有短, 长的可达 4 个月,

短的则在1个月内。这一信息对预测或判定地震孕育是否进入短期阶段可能具有一定参考意义。

作出9次地震前(作为8次事件)的“正地震集中时段”和“负地震出现的时段”相应的正、负地震空间分布(如图4和图5)。以1983年2月27日6.0级地震为例,图4c表明,在1981年1月~1982年8月间,研究区内4.3级以上地震主要为正地震。其后,研究区内发生负地震,并且主震位于正地震分布区边缘(图4d)。这类的典型震例还有图4a, b;图5a, b;图5e, f。而图4e, f和图5c, d中的两次主震虽然位于正地震分布区外,但相距也在100 km范围以内,这对地点预测是具有一定参考作用的。图4g, h和图5g, h中两次主震前的正地震集中时段内虽存在负地震,但正地震的频度和强度都远大于负地震,即“主要为正地震集中时段”的特点存在。经以上分析可看出:大部分强震震源及附近区内,某一震级以

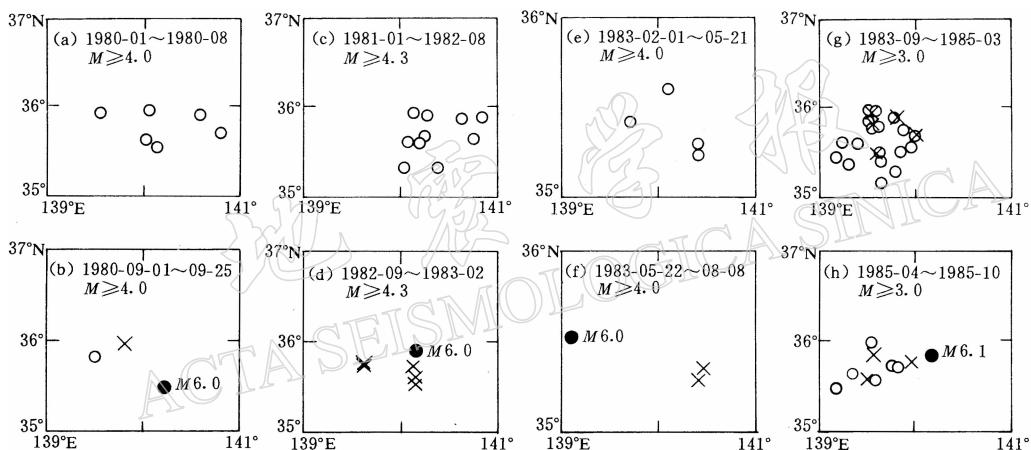


图4 关东地区强震前正、负地震空间分布图。○表示正地震, ×表示负地震, ●表示主震  
(a, b) 1980-09-25, M6.0; (c, d) 1983-02-27, M6.0; (e, f) 1983-08-08, M6.0; (g, h) 1985-10-04, M6.1

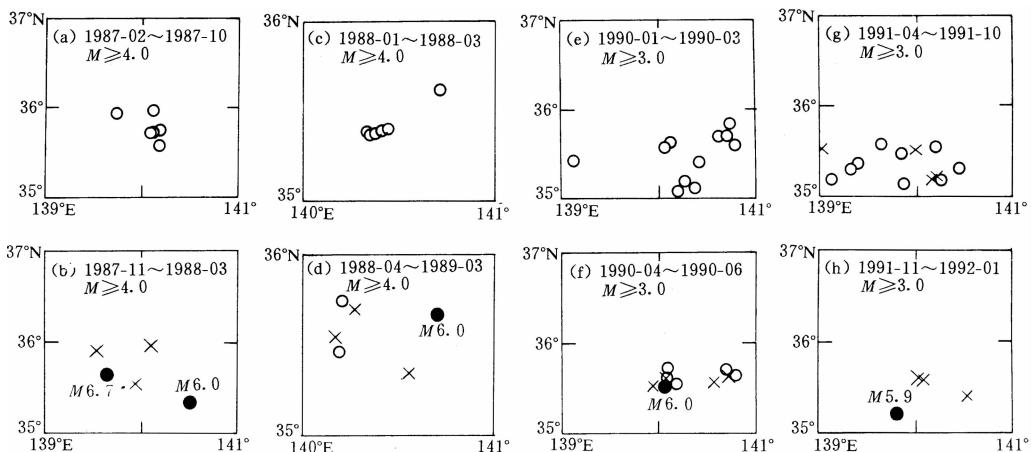


图5 关东地区强震前正、负地震空间分布图。“○”表示正地震, “×”表示负地震, “●”表示主震  
(a, b) 1987-12-17, M6.7 和 1988-03-18, M6.0; (c, d) 1989-03-06, M6.0; (e, f) 1990-06-01, M6.0; (g, h) 1992-02-02, M5.9

上地震在震前某一时段主要以正地震为主, 其后一般要发生负地震(不排除正地震). 主震一般位于正地震分布区内或边缘, 位于正地震分布区外的主震一般也在 100 km 的范围内. 对于中国大陆和美国加州地区的大部分强震的研究也表现出这一特点(陈学忠, 1995; 宋治平, 1996).

### 3 对日本关东地区 1996 年 9 月 11 日 6.6 级地震的预测

上述特征对预测地震的发震区域和发震时间皆具有参考作用, 并在日本关东地区 1996 年 9 月 11 日  $M_s=6.6$  地震的预测中得到了一次检验.

1996 年 9 月 11 日日本关东地区 6.6 级地震前, 我们应用加卸载响应比理论对本次地震提出了预测意见(Yin *et al.*, 1996; 尹祥础等, 1996). 其中正、负地震的时空演变特征对发震区域和时间的判断起了重要作用. 宋治平(1996)已对本次地震的预测思路、方法与步骤进行了详细论述.

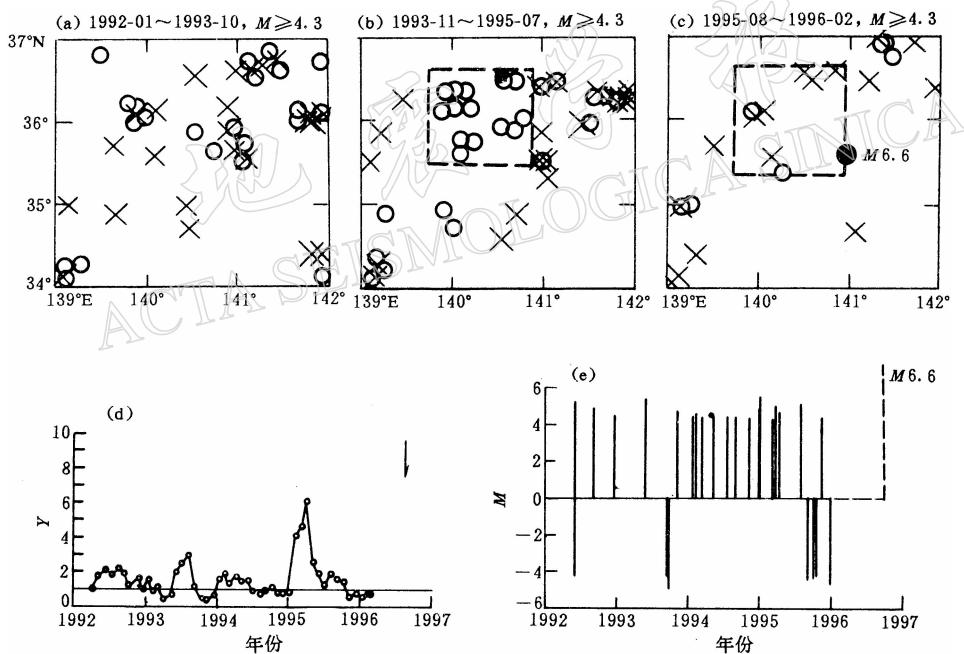


图 6 1996 年 9 月 11 日日本关东地区 6.6 级地震部分预测图. (a, b, c) 分别为不同时段正、负地震分布图; (d, e) 分别为正地震丛集区内的  $Y-t$  图和  $M-t$  图

图 6a, b, c 分别给出了区域( $34^{\circ} \sim 37^{\circ}\text{N}$ ,  $139^{\circ} \sim 142^{\circ}\text{E}$ )内不同时段的  $M \geq 4.3$  正负地震的空间分布. 图 6a 表明, 1992 年 1 月 ~ 1993 年 10 月间正、负地震共同存在; 图 6b 表明, 在 1993 年 11 月 ~ 1995 年 7 月间, 正地震的空间分布形成一个丛集区(图中虚线框内); 而在 1995 年 8 月 ~ 1996 年 2 月(预测研究时资料只到 1996 年 2 月), 正地震丛集区内发生负地震(如图 6c); 最后主震位于正地震丛集区边缘(图 6c 中“●”表示主震). 正地震丛集区内所有地震的  $Y$  值随时间的变化曲线如图 6d, 表明在 1995 年后半年左右时间内  $Y$  值明显升高. 丛集区内  $M \geq 4.3$  的正负地震  $M-t$  图(图 6e)明显地表明, 正地震集中时段主要在 1994 年 ~ 1995 年上半年, 1995 年下半年后出现负地震, 说明强震孕育已进入中期向

短期过渡的阶段。事实上,此次地震发生于1996年9月11日。

## 4 结论

对日本兵库县南部地震及关东地区9次强震的研究表明,大部分地震震源及附近区内正、负地震的演变特征具有如下特点:其一,震前某一时段、某一震级以上地震主要以正地震为主,主震一般位于正地震分布区内或边缘;其二,在正地震集中时段后一般要出现负地震后才发生主震,而负地震出现的起始时间一般在震前数个月。这些特征对预测地震的发震区域和发震时间具有一定的参考作用。我们也将这一思路应用于1996年5月3日中国内蒙古包头6.4级地震的预测研究中(宋治平,1996),得到了类似的结论。

衷心感谢梅世蓉、张国民、许忠淮和吴忠良研究员提出的宝贵意见和建议。

## 参 考 文 献

- 陈学忠, 1995. 加卸载响应比理论的应用及其进展. 北京: 国家地震局地球物理研究所博士学位论文. 52
- 李洁, 尹祥础, 1993. 正、负地震震中分布图及其在响应比理论中的应用. 中国地震, 9(1): 86~88
- 宋治平, 尹祥础, 陈学忠, 1996. 加卸载响应比的时空演变特征及其对地震三要素的预测意义. 地震学报, 18(2): 179~186
- 宋治平, 1996. 加卸载响应比与其它地震前兆时空演化研究及其应用. 北京: 国家地震局地球物理研究所博士学位论文. 108
- 尹祥础, 1987. 地震预测新途径的探索. 中国地震, 3(1): 1~17
- 尹祥础, 尹灿, 1991. 非线性系统失稳的前兆与地震预报:响应比理论及其应用. 中国科学(B辑), (5): 512~518
- 尹祥础, 陈学忠, 宋治平, 等, 1994. 加卸载响应比理论(LURR)——一种新的地震预报方法. 地球物理学报, 37(6): 767~775
- 尹祥础, 陈学忠, 宋治平, 等, 1996. 关东等地区加卸载响应比的时间变化及其预测意义. 中国地震, 12(3): 331~334
- Yin X C, 1993. A new approach to earthquake prediction. *Природа*, (1): 21~27(*in Russian*)
- Yin X C, 1995. A new approach to earthquake prediction —— The load/unload response ratio (LURR) theory. *Pure Appl Geophys*, 145(3/4): 701~715
- Yin X C, Chen X Z, Song Z P, et al, 1996. Load/unload response ratio (LURR) theory and its new development. In: Ye Hong (ed), *Contemporary Lithospheric Movemont/Seismic Geology (Proceedings of 30th International Geological Congress)*. Utrecht (Nether-Lands), Tokyo: VSP. 5, 111~124