

# 水位前兆异常特征分析\*

李利波, 张立, 付虹, 高文斐, 罗睿洁

(云南省地震局, 云南昆明 650224)

**摘要:** 以正式出版的《中国震例》(1966~2006年)资料为基础, 选取 $M \geq 5.0$ 地震的水位异常数据, 分别从水位异常形态、异常数量、异常幅度、震中距分布、异常时间、震级等方面进行分析, 发现所有震例中, 水位上升形态最多, 占43.82%; 震级越大, 水位平均异常数量越多; 在渐变幅度 $\geq 3.0$  cm、突变幅度 $\geq 0.5$  cm、破年变幅度 $\leq 70\%$ 或 $\geq 120\%$ 的情况下, 可初步判定为水位前兆异常; 震级越大, 水位异常范围越广; 地震前水位异常集中爆发的时间越长, 距离震中越远。地震孕育进入短临阶段的水位异常特征如下: 云南和川滇地区在震前50~75天时, 水位异常数量突然减小, 之后增加; 西北地区从震前75天开始, 水位异常数量减少; 其它地区从震前50天开始, 水位异常数量急剧增加; 从全国整体来看, 在震前100天后, 水位异常数量逐渐增加。

**关键词:** 地震孕育; 前兆异常; 水位异常; 异常指标; 异常幅度

**中图分类号:** P315.723

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2016)03-0436-08

## 0 引言

地震前兆是地震预报的基础。张肇成等(1988, 1990a, b, 1999, 2000)、陈琪福等(2002a, b, 2003, 2008)、蒋海昆等(2014)曾对1966~2006年我国大陆地区发生的240次5级以上地震进行了系统统计和分析, 并对震前的异常现象和特征进行了总结, 为地震预测预报研究提供了非常有价值的资料。张肇成等(1991)、郑兆苾等(2006)、付虹等(2008)、陈立德等(2008)对震例中的前兆异常现象进行了系统的分析, 对区域孕震规律的认识有重要的意义。

地下流体是地壳中最活跃的组成部分之一, 在地震孕育过程中, 它的变化能灵敏地响应地壳应力—应变状态的变化信息(万迪坤等, 1993; 刘耀炜等, 2010)。许多学者对水位前兆异常特征进行了总结, 但多集中于单个地震或单井, 对大区域的震前水位异常缺乏系统的分析: 李军(2003)利用强震前水位对构造应力的响应, 分析了四川地区水位的阶段性异常特征; 陆明勇等(2005)分析了华北地区水位的短临异常特征与地震的关系。本文以1966~2006年正式出版的《中国震例》为基础, 选取 $M \geq 5.0$ 地震的水位异常资

料, 将中国大陆分为云南地区、川滇地区(包括云南和四川)、西北地区(包括甘肃、宁夏、青海和新疆)和其它地区等, 从水位异常形态、异常数量、异常幅度、震中距分布、异常时间、震级等方面, 对水位前兆异常特征进行系统总结分析, 为区域的孕震规律和地震预测提供参考。

## 1 基础资料

1966~2006年的《中国震例》中, 有水位前兆异常的共有100个震例, 占统计震例的41.7%。100个震例中, 共有283项水位异常, 平均每个震例有2.83项异常。每个区域水位前兆异常具体分布如下(表1):

云南地区水位前兆异常从1976年5月29日龙陵7.4级地震开始有记录, 共30个震例, 105项水位异常, 其中异常数量最多的是1988年11月6日澜沧—耿马7.6、7.2级地震, 有13项。

川滇地区中的四川地区水位前兆异常从1976年8月16日松潘7.2级地震开始有记录, 共16个震例, 39项水位异常, 其中异常数量最多的是2001年2月14和23日雅江5.0和6.0级地震, 共有9项。

西北地区水位前兆异常从1980年11月6日新

\* 收稿日期: 2015-07-07.

**基金项目:** 云南省人民政府十项措施监测预报项目(JCYB-20080601-05)、十项重点工程“云南大震短临跟踪工作”和中国地震局监测预报司“2015年地下流体指标建设”项目共同资助。

疆玛纳斯 5.8 级地震开始有记录，共 22 个震例，41 项水位异常，其中异常数量最多的是 1986 年 6 月 13 日新疆乌鲁木齐 5.0 级地震，2000 年 6 月 6 日甘肃景泰 5.9 级地震和 2003 年 2 月 14 日新疆石河子 5.4 级地震，均为 4 项。

其它地区水位前兆异常从 1966 年 3 月 8 日、22 日河北省邢台 6.8、7.2 级地震开始有记录，共 32 个震例，98 项水位异常，其中异常数量最多的是 1989 年 10 月 19 日山西大同一阳高 6.1 级地震，为 16 项。

有水位异常的 100 个震例中，5.0 ~ 5.4 级地震占 48%，5.5 ~ 5.9 级地震占 17%，6.0 ~ 6.4 级地震占 19%，6.5 ~ 6.9 级地震占 6%，7.0 ~ 7.4 级地震占 8%，7.5 级以上地震占 2%，震级最大的地震为 1976 年 7 月 28 日河北唐山 7.8 级地震。

表 1 不同震级的水位异常数量分布情况

Tab. 1 Statistics of water level anomaly amount in different magnitude

震级 <i>M</i>	云南	川滇	西北	其他	全国
5.0 ~ 5.4	15	23	14	11	48
5.5 ~ 5.9	2	4	4	9	17
6.0 ~ 6.4	6	9	3	7	19
6.5 ~ 6.9	3	5	0	1	6
7.0 ~ 7.4	3	4	1	3	8
≥7.5	1	1	0	1	2

2 水位前兆异常与地震关系分析

本文从水位前兆异常形态、异常数量、异常幅度、震中距分布、异常时间、震级等方面，分析水位前兆异常与地震之间的关系。

2.1 形态特征

水位前兆异常形态较为复杂，有上升、下降、突升、突降、上升（一下降）—恢复、下降（一上升）—恢复、破年变、脉冲、畸变、阶跃、阶降、异常高值、异常低值等多种形态。

本文从水位曲线的原始形态进行统计，结果显示为上升、下降、破年变和其它 4 种异常形态（表 2），共 283 项，其中全国震例中上升形态最多，占 43.82%，下降形态占 24.73%，破年变形态占 27.56%，其它形态占 3.89%（图 1）。

表 2 水位异常形态数量的分布情况

Tab. 2 Distribution of water level anomaly shape amount

异常形态	云南	川滇	西北	其他	全国
上升	49	68	13	43	124
下降	15	26	11	33	70
破年变	41	50	12	16	78
其它	0	0	5	6	11

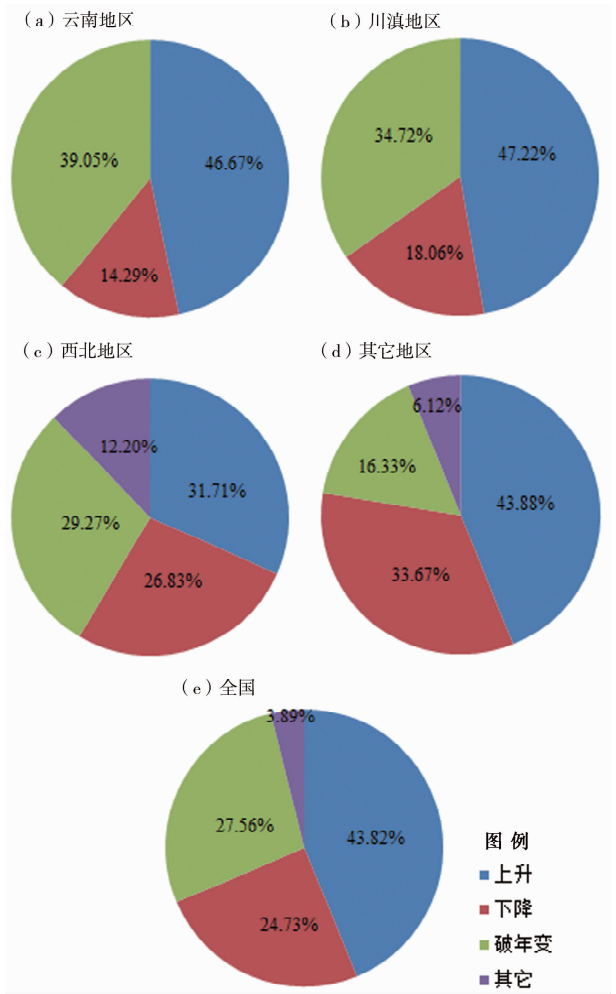


图 1 全国不同地区的水位异常形态分布比率

Fig. 1 Ratio of distribution of water level anomaly shape in different area of China

2.2 数量特征

在统计的 100 个震例中，共有 283 项水位异常。其中全国 5.0 ~ 5.4 级地震的水位异常数量最多，共 93 项异常，占全部异常的 32.86%；6.0 ~ 6.4 级地震的水位异常数量次之，占全部异常的

28.98%（表3、图2）。  
从震例的水位平均异常数量（表4）来看，全国5.0~5.9级地震的水位平均异常数量最少，为

1.94项；7.5级及以上地震的水位平均异常数量最多，为10.5项。这表明震级越大，水位平均异常数量越多。

表3 水位异常数量的分布情况  
Tab.3 Distribution of water level anomaly amount

震级 $M$	云南	川滇	西北	其他	全国
5.0~5.4	26	41	25	27	93
5.5~5.9	4	7	6	20	33
6.0~6.4	32	42	7	33	82
6.5~6.9	14	24	0	5	29
7.0~7.4	16	17	3	5	25
$\geq 7.5$	13	13	0	8	21

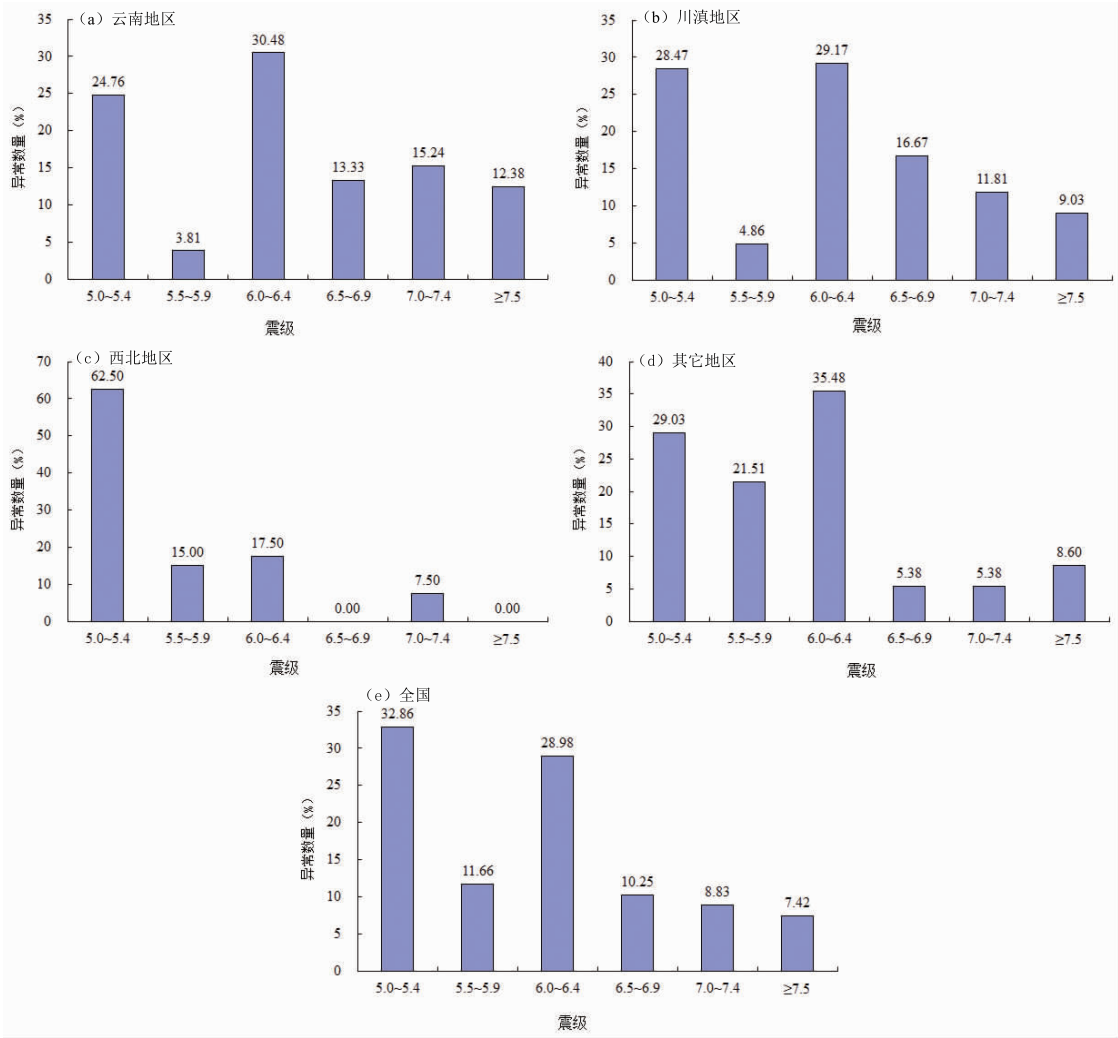


图2 全国不同地区的水位异常数量分布特征  
Fig.2 Characteristics of distribution of water level anomaly amount in different area of China

表 4 水位平均异常数量的分布情况

Tab. 4 Distribution of water level average anomaly amount

震级 $M$	云南	川滇	西北	其他	全国
5.0 ~ 5.4	1.73	1.78	1.79	2.45	1.94
5.5 ~ 5.9	2	1.75	1.5	2.22	1.94
6.0 ~ 6.4	5.33	4.67	2.33	4.71	4.32
6.5 ~ 6.9	4.67	4.8	0	5	4.83
7.0 ~ 7.4	5.33	4.25	3	1.67	3.13
$\geq 7.5$	13	13	0	8	10.5

表 5 水位异常幅度的分布特征

Tab. 5 Characteristics of distribution of water level anomaly amplitude

异常值		云南	川滇	西北	其他	全国
渐变	上升/cm	3 ~ 185	3 ~ 763	3.1 ~ 1 000	4.8 ~ 400	3 ~ 1 000
	下降/cm	7 ~ 355	3.3 ~ 355	3.5 ~ 325	3.3 ~ 334	3.3 ~ 355
突变	突升/cm	0.5 ~ 51.7	0.5 ~ 51.7	/	0.5 ~ 27	0.5 ~ 51.7
	突降/cm	2.7 ~ 155	2.7 ~ 155	/	6.9 ~ 39.2	2.7 ~ 155
破年变/%		35% ~ 230%	20% ~ 230%	40% ~ 310%	45% ~ 250%	20% ~ 310%

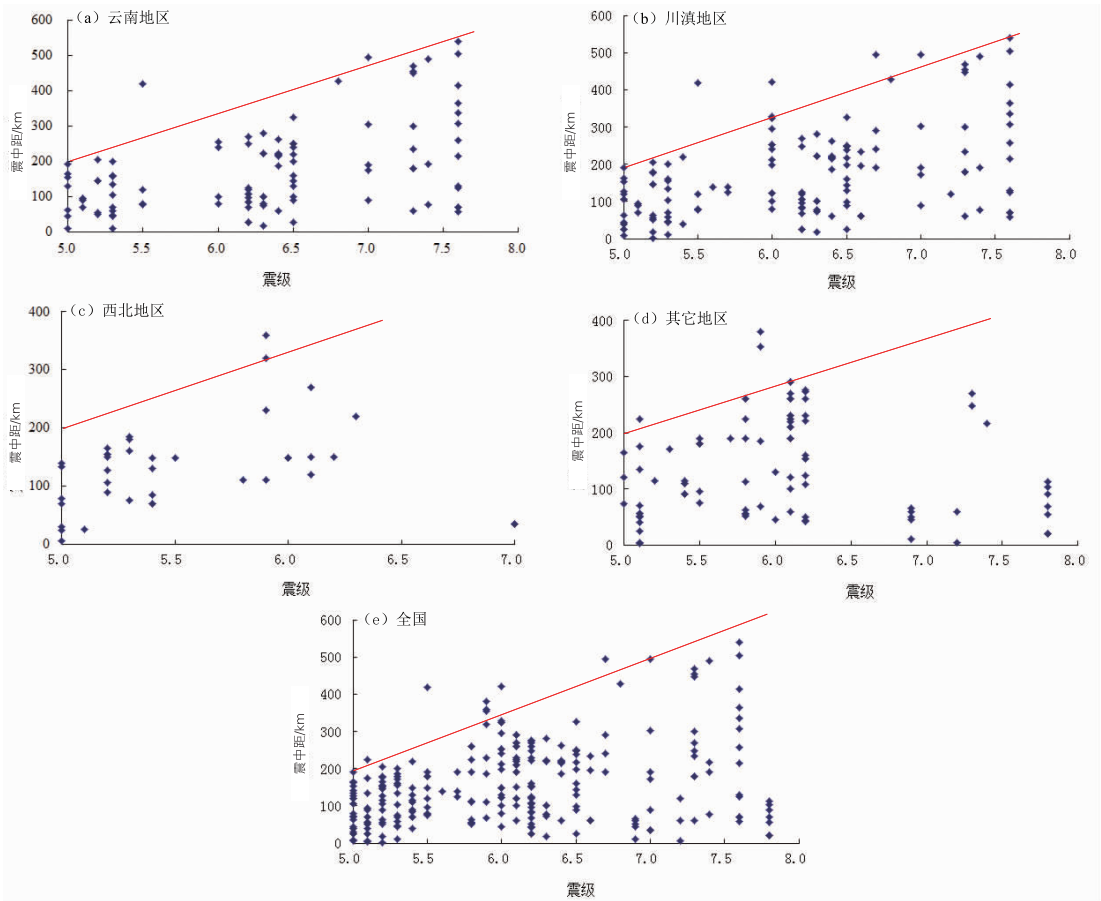


图 3 全国不同地区的水位异常震中距分布特征

Fig. 3 Characteristics of distribution of epicenter distance of water level anomaly in different area of China

2.3 幅度特征

由于水位前兆异常形态较多且复杂,本文仅统计水位曲线的最初形态的异常幅度,分为上升、下降、突升、突降和破年变幅度(表5)。

从水位异常幅度的统计中,可以提取全国不同地区的水位异常指标的参考范围(表6)。在渐变幅度 $\geq 3.0$  cm、突变幅度 $\geq 0.5$  cm、破年变幅度 $\leq 70\%$ 或 $\geq 120\%$ 的情况下,可初步判定为水位前

兆异常。

2.4 震中距分布特征

水位异常震中距分布多遵守震级—破裂尺度参数规律(邓起东等,1992; Wells, Coppersmith, 1994),即统计到的5.0~5.9级、6.0~6.9级、7.0~7.9级地震分别在200、300和500 km范围内出现水位异常(图3),这表明震级越大,水位异常范围越广。西北地区的震例由于水位异常数

表6 水位异常指标的参考范围

Tab. 6 Reference ranges of water level anomaly indexes

异常指标参考	云南	川滇	西北	其他	全国	
渐变	上升/cm	≥3	≥3	≥3.1	≥4.8	≥3
	下降/cm	≥7	≥3.3	≥3.5	≥3.3	≥3.3
突变	突升/cm	≥0.5	≥0.5	/	≥0.5 ~27	≥0.5
	突降/cm	≥2.7	≥2.7	/	≥6.9	≥2.7
破年变/%	≤70%， ≥120%	≤70%， ≥120%	≤60%， ≥130%	≤50%， ≥130%	≤70%， ≥120%	

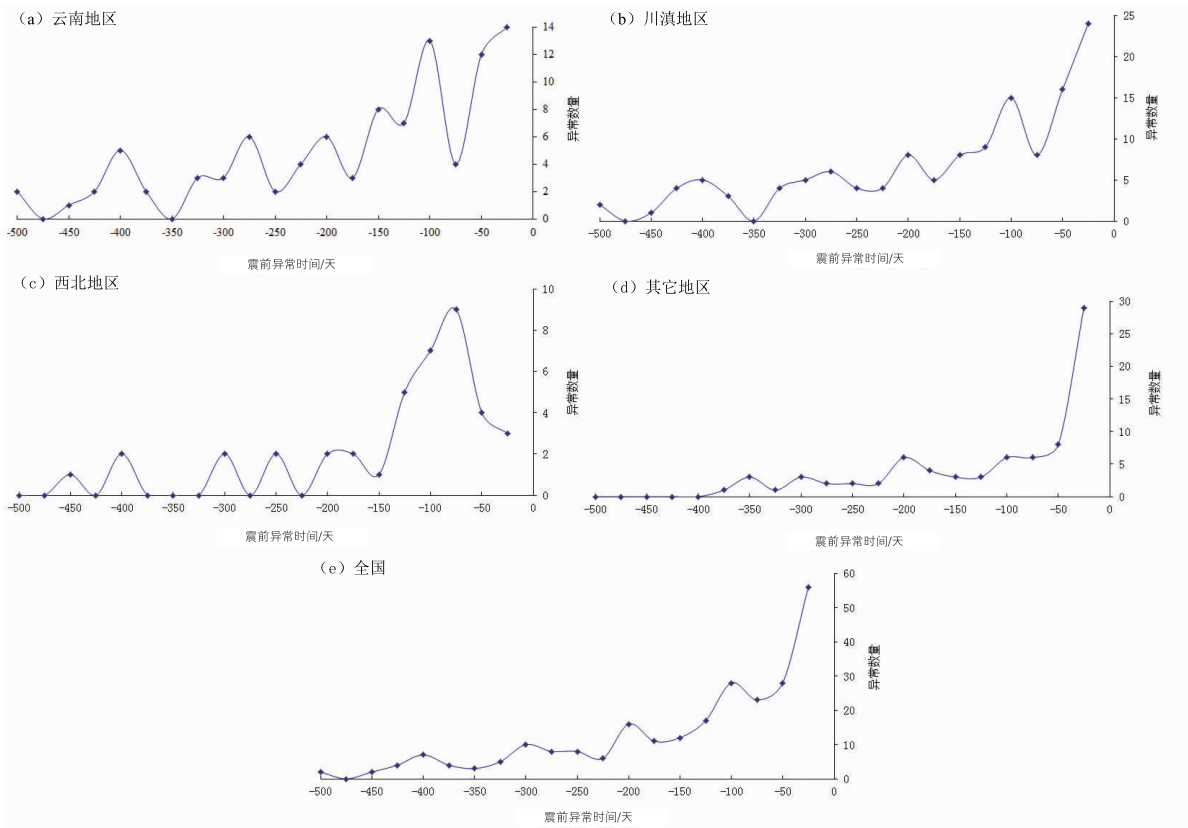


图4 全国不同地区的水位异常时间与数量分布特征

Fig. 4 Characteristics of distribution of time and amount of water level anomaly in different area of China

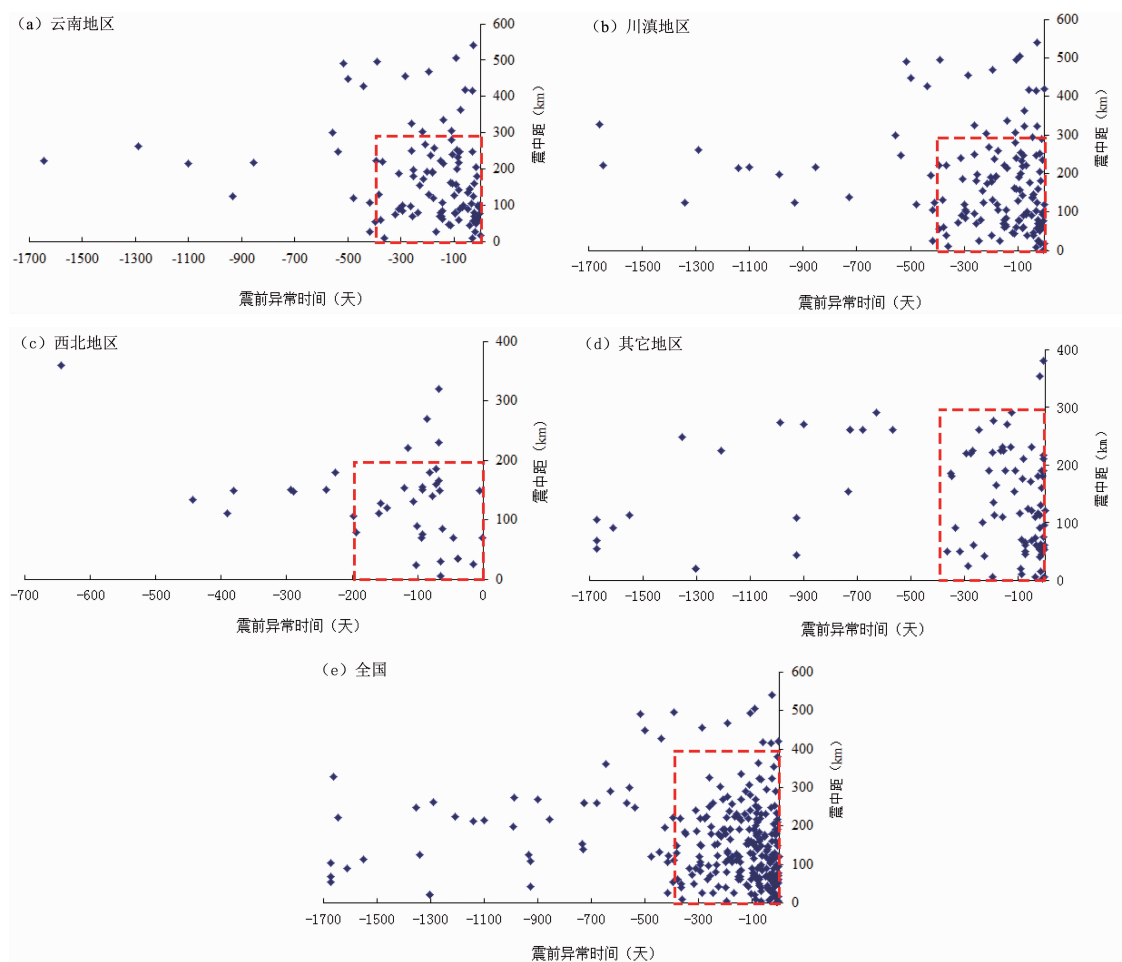


图5 全国不同地区的水位异常时间与震中距分布特征

Fig. 5 Characteristics of distribution of time and epicenter distance of water level anomaly in different area of China

量偏少, 规律不是很明显。由于本文所研究震例中的前兆异常严格按照《震例总结规范》(中国地震局, 2007) 统计, 只有 2 次  $M \geq 7.5$  地震, 因此水位的远场异常特征不明显。

## 2.5 时间特征

### (1) 与水位异常数量的关系

从水位异常时间与数量的关系曲线(图4)来看, 水位异常多发生在震前 150 天内, 属于中短期异常。随着异常时间的减少, 异常数量呈指数增加, 临震前(25 天内), 水位异常数量达到最高值, 西北地区的除外。从形态上看, 异常时间超过 300 天的, 多为破年变形态, 少量表现为趋势异常, 主要集中在华北地区, 如 1998 年张北 6.2 级地震等。

云南地区和川滇地区在震前 50 ~ 75 天时, 水位异常数量突然减小, 之后增加; 西北地区在震前 75 天后, 水位异常数量急剧减少; 其它地区在

震前 50 天后, 水位异常数量急剧增加; 全国在震前 100 天后, 水位异常数量逐渐增加。这是地震进入短临阶段后的水位异常特征。

### (2) 与震中距的关系

从水位异常时间与震中距分布的关系曲线(图5)来看, 云南地区、川滇地区和其它地区水位异常多集中在震前 400 天、震中距 300 km 内, 分别占统计数量的 76.2%、75%、77.6%; 西北地区水位异常集中在震前 200 天, 震中距 200 km 内, 占统计数量的 70.7%; 全国震例的水位异常集中在震前 400 天、震中距 400 km 内, 占统计数量的 70.7%。这表明了地震前水位异常集中爆发的时间越长, 震中距越远。

## 3 结论与讨论

云南地区地震较多, 水位异常数量也多; 川

滇地区位于南北地震带的中、南段,孕震规律类似;西北地区(包括甘肃、宁夏、青海和新疆)位于南北地震带的北段和天山地震带,水位异常数量较少;全国其它地区震例较分散。因此本文将中国大陆分为云南、川滇、西北和其它地区等,从水位异常形态、异常数量、异常幅度、震中距分布、异常时间、震级等方面入手,分析认为:

(1) 水位前兆异常形态较多且复杂,其中全国震例中,水位上升形态最多,占 43.82%,下降形态占 24.73%,破年变形态占 27.56%,其它形态占 3.89%。

(2) 全国 5.0~5.4 级地震的水位异常数量最多,共 93 项异常,占全部异常 32.86%;6.0~6.4 级地震的水位异常数量次之,占 28.98%。

(3) 震级越大,水位平均异常数量越多。全国 5.0~5.9 级地震的水位平均异常数量最少,为 1.94 项;7.5 级及以上地震的水位平均异常数量最多,为 10.5 项。

(4) 水位曲线的原始形态可分为上升、下降、突升、突降和破年变等。在渐变幅度 $\geq 3.0$  cm、突变幅度 $\geq 0.5$  cm、破年变幅度 $\leq 70\%$ 或 $\geq 120\%$ 的情况下,可初步判定为水位前兆异常。

(5) 地震孕育进入短临阶段的水位异常特征为:云南地区和川滇地区在震前 50~75 天时,水位异常数量突然减小,之后增加;西北地区在震前 75 天后,水位异常数量减少;其它地区在震前 50 天后,水位异常数量急剧增加;全国在震前 100 天后,水位异常数量逐渐增加。

(6) 地震前水位异常集中爆发时间越长,距离震中越远。云南、川滇和其它地区水位异常多集中在震前 400 天内、震中距 300 km 内;西北地区集中在震前 200 天内、震中距 200 km 内;全国地震水位异常集中在震前 400 天内、震中距 400 km 内。

本文以 1966~2006 年正式出版的《中国震例》资料为基础,由于震例中的水位异常按照《震例总结规范》(中国地震局,2007)统计,台网分布不均对震中距的统计特征有影响;西北地区的水位异常数量偏少,全国其它地区震例较分散,对区域水位异常规律影响较大。此外,震例中的大多数水位异常是震后总结,不同学者对异

常的认识不同,存在经验上的局限性,可能影响本文研究的结论。

## 参考文献:

- 陈琪福,郑大林,车时等. 2002a. 中国震例(1992~1994) [M]. 北京:地震出版社.
- 陈琪福,郑大林,刘桂平等. 2002b. 中国震例(1995~1996) [M]. 北京:地震出版社.
- 陈琪福,郑大林,高荣胜等. 2003. 中国震例(1997~1999) [M]. 北京:地震出版社.
- 陈琪福,郑大林,车时等. 2008. 中国震例(2000~2002) [M]. 北京:地震出版社.
- 陈立德,付虹,邬成栋. 2008. 强震短临前兆异常共性特征的物理基础[J]. 地震研究, 31 (2): 99-102.
- 邓起东,于贵华,叶文华. 1992. 地震地表破裂参数与震级关系的研究[M]//国家地震局地质研究所. 活动断裂研究(2). 北京:地震出版社, 247-264.
- 付虹,李永莉,赵小艳等. 2008. 云南  $M \geq 5$  地震震前异常的统计特征[J]. 地震研究, 31 (4): 335-339.
- 蒋海昆,付虹,杨马陵等. 2014. 中国震例(2003~2006) [M]. 北京:地震出版社.
- 刘耀伟,陆明勇,付虹等. 2010. 地下流体动态信息提取与强震预测技术研究[M]. 北京:地震出版社, 129-142.
- 李军. 2003. 大震前地下流体异常特征及演变过程研究[J]. 四川地震, (2): 40-44.
- 陆明勇,牛安福,陈兵等. 2005. 地下水位短临异常演化特征及其与地震关系的研究[J]. 中国地震, (2): 269-279.
- 万迪坤,汪成民,李介成. 1993. 地下水动态异常与地震短临预报[M]. 北京:地震出版社, 37-62.
- DT/24-200,震例总结规范[S].
- 张肇成,罗兰格,李海华等. 1988. 中国震例(1966~1975) [M]. 北京:地震出版社.
- 张肇成,罗兰格,李海华等. 1990a. 中国震例(1976~1980) [M]. 北京:地震出版社.
- 张肇成,罗兰格,李海华等. 1990b. 中国震例(1981~1985) [M]. 北京:地震出版社.
- 张肇成,郑大林,徐京华等. 1999. 中国震例(1986~1988) [M]. 北京:地震出版社.
- 张肇成,郑大林,徐京华等. 2000. 中国震例(1989~1991) [M]. 北京:地震出版社.
- 张肇成,郑大林,罗咏生等. 1991. 中国大陆地震震例及综合预报判据和指标的研究[C]//国家地震局科技监测司. 地震预报方法实用化研究文集(综合预报专集). 北京:地震出版社, 185-216.
- 郑兆苾,张国民,何康等. 2006. 中国大陆地震震例异常统计与分析[J]. 地震, 26 (2): 29-37.
- Wells D L, Coppersmith K J. 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement [J]. BSSA, 84(4): 974-1002.

## Statistic and Analysis on Precursory Anomalies of Water Level

LI Libo, ZHANG Li, FU Hong, GAO Wenfei, LUO Ruijie

(*Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China*)

### Abstract

Based on “Earthquake Cases in China” which was formally published from 1966 to 2006, we selected the water level precursory anomalies data of  $M \geq 5.0$  earthquakes, and analyzed the anomaly shape, anomaly amount, anomaly amplitude and anomaly time of water level, epicenter distance distribution, and magnitude etc. . We found that the amount of rising pattern of water level which was the most accounted for 43.82%, and the higher the magnitude was, the more the amount of water level anomaly was. When the gradient amplitude of water level was more than 3.0 cm, the mutation amplitude was more than 0.5 cm, and the amplitude of broken annual variation was no more than 70% or no less than 120%, we could judge it as the precursory anomalies of water level. The higher the magnitude was, the wider range of the water level anomaly was. The longer the time of water level anomaly concentrated appeared before the earthquake, the longer the distance of water level anomaly from the epicenter was. The characteristic of the earthquake preparation which was going into shorten and impending earthquake stage shows as follow: the amount of water level anomaly decreased suddenly in Yunnan and Sichuan-Yunnan area from 50 to 75 days before the earthquake, then increased. The amount of water level anomaly decreased in 75 days before the earthquake in northwest area of Yunnan, and increased sharply in 50 days before the earthquake in other area, and it increased gradually in 100 days before the earthquake in China.

**Key words:** earthquake preparation; precursory anomaly; water level anomaly; anomaly index; anomaly amplitude