

# 滇西区域水化观测台网近源场震兆特征\*

吴志平 赵宗本

(云南省保山行署地震局, 保山 678000)

**摘要** 在本文中,作者用变幅滑动平均、滑动残差、群体突跳率3种方法,对滇西地区水化观测台网建网以来的资料进行了系统的综合处理,并与邻近地区10多次5级以上地震进行相关分析,结果表明,在台网内发生的地震之前,多数观测点及观测项目都有背景异常显示,异常持续时间长短及幅度大小与地震强度、震中距呈正相关。短期异常表现为群体突跳,当群体突跳率达峰值并发生转折后40—50天地震发生。该台网有较强的映震能力,各观测点的异常与地震的对应率为67%,观测要素异常与地震的对应率为53%。一般映震范围小于100 km。本文最后对滇西区域水化台网观测到的近源场地震信息进行了讨论。

**关键词:** 水化学测量 映震能力 云南 地球化学异常 趋势异常 短期异常 强震

## 1 引言

滇西区域水化观测台网是目前我国西南地区密度最大的区域水化台网之一,其各观测点间距小于70 km。该台网从1986年底开始建设,先后建立了保山、龙陵邦纳掌、腾冲叠水河、施甸仁和、昌宁、昌宁湾甸6个观测点,开展了20个项目的观测。这6个测点都通过了国家地震局或省、地区地震部门的论证、验收。自建网以来,在台网覆盖区域内及邻近地区发生了5.0—7.6级地震13次(震群型按1次计),1987年和1991年的两次5级以上地震就发生在台网区域内。地震前各测点观测到了不同程度的异常,但是由于各观测点水质变化的干扰因素较多,难于识别及定量地提取异常信息,这就给分析预报工作带来了困难。为此作者在系统研究该区域水化台网的观测资料的基础上,利用变幅滑动平均、滑动残差、群体突跳率三种方法对观测资料进行处理,分析了地震前水化学前兆的异常特征,并试图探索出一套可操作的、能突出近源场地震信息的资料综合处理方法。

## 2 数据处理方法

实际观测表明,测点水质的变化一般呈锯齿型振荡形态。图1是保山水化站1990年和1991年的各项水质观测曲线。作者认为,水质不稳定变化的主要原因是:作为水质载体的地下水本身具有不稳定性,构造蠕动、径流途径改变、补给水增减、温度和压力改变等都对水质变化产生影响。另外,人为观测误差等也是其中的影响因素。

保山水化站水质变化虽然在正常情况下表现出不稳定状态,但在其附近施甸发生的地震前,各项指标普遍出现了较长时间的更加剧烈的振荡现象。然而从直观上很难得到定量化异常指标。因而作者用变幅滑动平均、滑动残差、群体突跳率三种方法对资料进行处理,以提

取可能反映近源场地震信息的突变异常指标。

### 2.1 变幅滑动平均法

该方法的表达式为 
$$dy_i = \frac{1}{n} \sum_{j=i-n+1}^i |y_j - y_{j-1}| \quad (1)$$

式中  $n$  为滑动天数, 本文取  $n=100$  天,  $y_j$  为第  $j$  天的观测值。

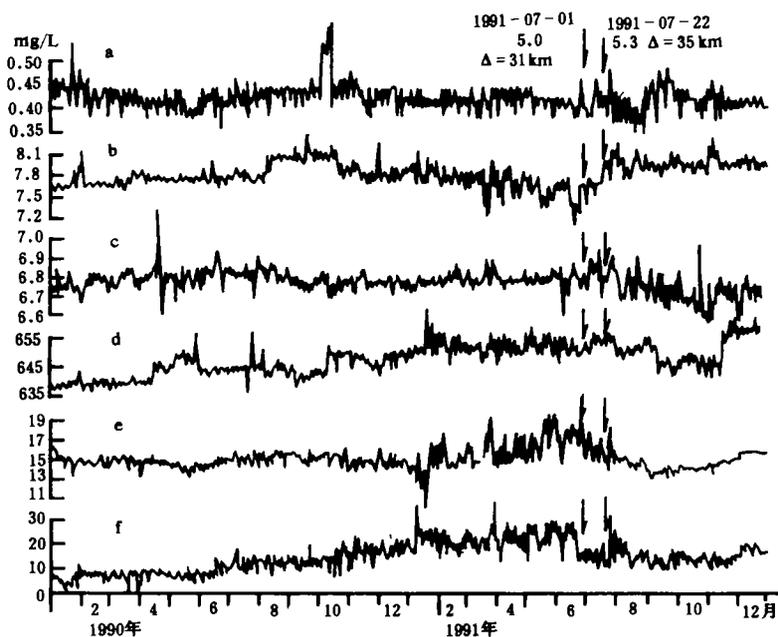


图 1 保山水化站水质日测值曲线(1990—1991 年)

a. 氟离子; b. 钙离子; c. PH 值; d. 碳酸根离子; e. 镁离子; f. 硫酸根离子

Fig. 1 The day-value curves of the groundwater quality observation at Baoshan groundwater chemistry station (from 1990 to 1991).

$dy_j$  在实质上反映了观测要素在  $n$  天内的平均变化水平。用该方法对资料进行处理,可以降低因随机因素而产生的影响,突出动态变化趋势。如果观测要素异常与地震孕育过程有关,那么因此而产生的突变现象一般不应当是个别的,而是随时间进程出现多次突变现象,用该方法处理的结果应该表现出异常的趋势性增强。

### 2.2 滑动残差法

该方法的表达式为 
$$dx_i = x_i - \frac{1}{n} \sum_{j=i-n}^{i-1} x_j \quad (2)$$

式中  $n$  为滑动天数, 本文取  $n=10$  天;  $x_j$  为第  $j$  天的观测值。

$dx_i$  反映了观测要素第  $i$  天相对于前  $n$  天平均水平的变化量, 它以前  $n$  天的平均值作为基础。由于基值随着时间而变化, 从而排除了人为确定基值的弊端, 突出了突变信息。

### 2.3 群体突跳率

其表达式为 
$$P_i = n_{ik}/N \quad (3)$$

式中  $n_{ik}$  为  $i$  天前  $k$  天内各台出现的突跳的观测项目数的总和, 本文取  $k=5$  天;  $N$  为总台项

数。

$P_i$  显示了  $k$  天内各观测项突跳的总体水平。如果突跳是因某些干扰和随机因素引起，那么只可能在某个观测点或观测项目出现，而不可能有较多测点及观测项目在同期出现突跳。在地震孕育过程中，共同的动力源必然会使大部分相关测项产生异常变化，其表现之一应该是  $P_i$  升高。用该方法对资料进行群体量化处理，可以提高突跳信息的可信度，并在综合分析中具有较强的可操作性。

### 3 数据处理及结果分析

滇西区域水化观测点分布及各测点的基本情况见图 2 和表 1。

#### 3.1 保山水化站单点、多项综合处理结果

保山水化站是国家二类水化站，该观测站具有较长时间的观测资料，且观测项目较多，

因此选择该测站的数据进行剖析。

##### 3.1.1 日变幅滑动平均处理

选择保山站具有三年以上观测资料的观测项目，分别对它们的观测资料进行日变幅滑动平均处理。结果见图 3。1987 年和 1991 年在距该站附近的施甸发生过两次  $M_L \geq 5$  地震。地震前除  $F^-$ 、 $PH$  测值变化不明显外， $HCO_3^-$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $SO_4^{2-}$  4 个项目的测值均出现了高值异常，而且异常基本同步。上述两次地震震中相距仅 10 km，而且都是双震型地震。1987 年的地震的震级为 4.6 和 5.0 级 ( $\Delta = 20$  km)；1991 年的地震的

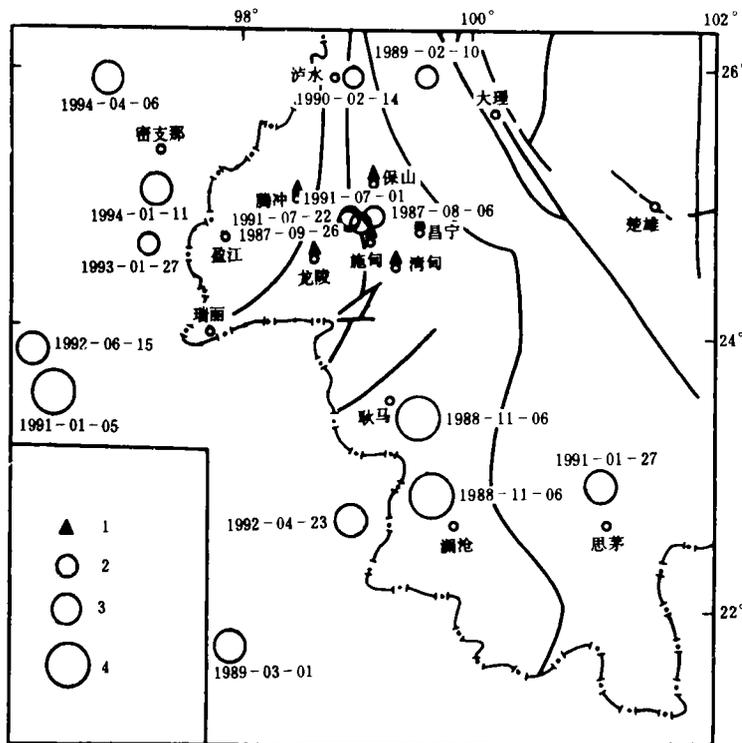


图 2 滇西区域水化网点分布与地震震中分布图  
1. 观测点; 2.  $M_s=5.0-5.9$ ; 3.  $M_s=6.0-6.9$ ; 4.  $M_s=7.0-7.9$

Fig. 2 The distribution of the groundwater chemistry networks and the distribution of the earthquake epicentres in western Yunnan area.

震级为 5.0 和 5.3 级 ( $\Delta = 35$  km)。如果以正常时段的均值  $+2\sigma$  作为异常阈值，则可以看出，对于同一地区的地震，地震强度大的异常幅度大，持续时间长；地震强度小的异常幅度小，持续时间短(图 3)。

#### 3.1.2 短临突跳信息的多项综合处理

对  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  的观测资料计算出 10 天滑动残差值  $dx$ 。当

$$dx \geq \bar{dx} + 2.5\delta$$

时,则视为突跳异常。式中

$$\bar{dx} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N dx_i$$

$\delta$  为标准方差;  $N$  为滑动残差值  $dx_i$  的组数。

表 1 滇西区域水化监测网基本情况一览表

观测点名称		保 山	腾冲叠水河	龙陵邦纳掌	昌宁湾甸	昌 宁	施甸仁和
地理位置	北纬	25° 01'	25° 01'	24° 33'	24° 40'	24° 51'	24° 06'
	东经	99° 10'	98° 29'	98° 34'	99° 25'	99° 35'	99° 11'
地下水类型		孔隙裂隙承压水	构造裂隙承压水	构造裂隙水	裂隙承压水	裂隙水	孔隙裂隙承压水
井深(m)		148	121	(沸泉)	200	(上升泉)	150
含水层岩性		粉砂混层	橄榄玄武岩	片麻花岗岩	石灰质角砾岩	绢云母片岩	溶洞角砾岩
含水层年代		第三纪	第四纪	第三纪	三迭纪	奥陶纪	第三纪
地质构造		位于面积较大的断陷盆地中	位于沉积盆地的断裂边缘	位于活动性断裂上	位于断陷盆地断裂边缘	沉积盆地边缘	位于基底为灰岩沉积盆地上
水质类型		$\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} - \text{Na}^+$	$\text{HCO}_3^- - \text{Mg}^{2+} - \text{Na}^+$	$\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$	$\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$	$\text{Cl}^- - \text{Na}^+ - \text{K}^+$	$\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$
水质分析项目		$\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{PH}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{F}^-$	$\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$	$\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2+}$ 、 $\text{F}^-$	$\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$

统计出上述 4 个项目观测资料的群体突跳率  $P_i$ , 并作 50 点滑动, 结果如图 4 所示。从图 4 可以看出, 在 1987 年和 1991 年施甸地震前后,  $P_i$  值呈现“弱—强—弱”的变化趋势, 在曲线达到峰值并发生转折后 40—50 天地震发生。

自 1987 年以来在保山水化站周围 150 km 范围内和 400 km 范围内共发生  $M_L \geq 5$  和  $M_S \geq 6$  地震 12 次(表 3), 其中只有 1987 年施甸 5.0 级地震和 1991 年施甸 5.3 级地震的异常比较明显, 1990 年泸水 5.1 级地震( $\Delta = 94$  km)、1988 年耿马 7.2 级地震( $\Delta = 196$  km)和 1990 年龙陵 4.5 级地震( $\Delta = 51$  km)震前该站各项测值无异常显示。上述统计结果表明, 保山水化站水质的异常变化可能仅反映该站周围几十公里以内的 5 级以上地震。

### 3.2 滇西区域水化网的多点多项资料的综合剖析

在滇西区域水化网中仅有保山水化站从 1986 年开始投入观测, 其余各测点是在以后逐步投入观测的, 并且在观测初期由于条件不完善和观测技术不熟练, 各测点的资料可信度相对较低, 故仅选取 1990 年以后的资料进行分析处理。

#### 3.2.1 日变幅滑动平均

计算各点项的日变幅 100 点滑动平均值，将其结果与邻区发生的地震作相关分析。结果表明，6 个测点 19 个观测项目中，保山、腾冲叠水河、龙陵邦纳掌、昌宁湾甸 4 个测点的 10 个观测项目的异常较为突出。在 1991 年施甸 5.0、5.3 级地震前，这 10 个观测项目的测值都出现了趋势性的高值异常，最长持续时间达一年。各测点的震中距最大为 56 km。其它地震前大部分项目无异常反映（图 5、表 3）。

为了研究震中距与异常幅度大小的关系，作者选用了标准方差  $\delta$  的倍率作为统一的无量纲单位，对各测项间异常幅度大小进行比较，即

$$d\delta = (dy_{max} - \bar{dy})\delta$$

式中  $\bar{dy}$  为正常时段变幅滑动  $dy_i$  的平均值； $dy_{max}$  为异常峰值。

综合分析结果见表 2。由表 2 可见，各观测点的最大异常幅度与震中距相关，除龙陵邦纳掌测点偏大外，其余三个测点表现出距震中较近则异常幅度大；距震中远的异常幅度小的特征。从各测点出现的最早转折时间看，距震中越近，其转折时间越晚，在各测点的异常都出现转折后一个月左右地震发生。

### 3.2.2 短临突跳信息的多项综合分析

计算上述 10 个测项的 10 日滑动残差值  $dx_i$ 。当  $|dx_i| \geq \bar{dx} + 2.5\delta$  时则视为突跳异常。计算出 10 个测项的群体突跳率  $P_1$ ，并进行 50 点滑动，如图 6 所示。其结果与保山水化站的单

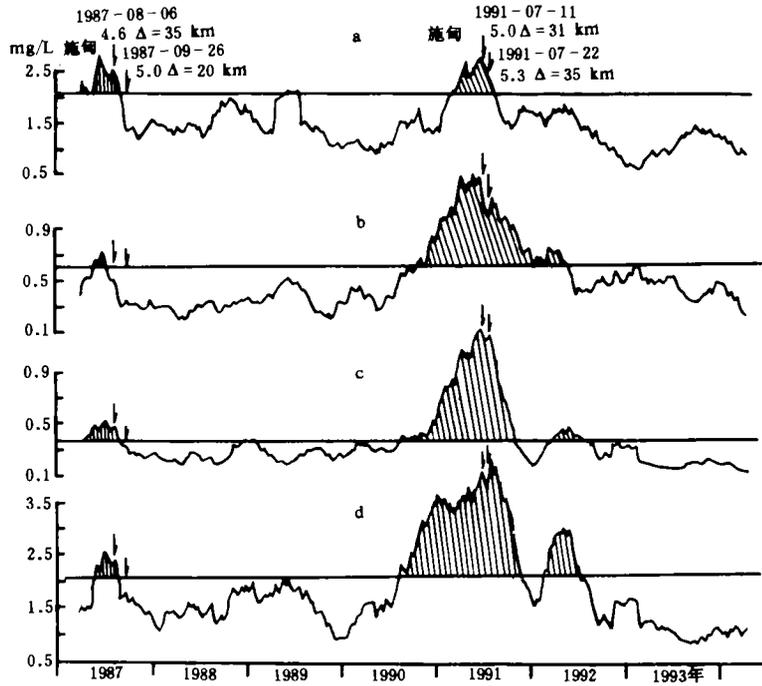


图 3 保山水化站日变幅 100 天滑动平均曲线  
a. 碳酸根离子；b. 钙离子；c. 镁离子；d. 硫酸根离子

Fig. 3 The 100 days slip-average curves of the day variation amplitude at Baoshan groundwater chemistry station.

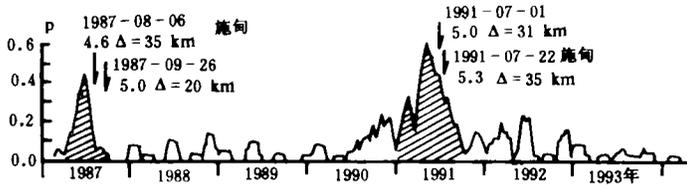


图 4 保山水化站水质群体突跳率 50 点滑动曲线

Fig. 4 The 50 points slip-average curves of the massive abrupt rate of the groundwater quality at Baoshan groundwater chemistry station.

点多项处理结果相似,即在 1991 年施甸地震前  $P_i$  值呈趋势性增强,当其达到峰值并发生转折后 50 天地震发生。其它邻区地震前反映不明显。

表 2 1991 年施甸 5.3 级地震前各测点中期异常综合统计表

观测点	项目	异常主要参数		各点最大异常幅度 ( $d\delta_{max}$ )	各点最早转折时间	震中距 (km)
		幅度 (d $\delta$ )	峰值时间			
保山	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4.6	1991-06-25	16.0	1991-05-29	31
	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	8.9	1991-08-02			
	Mg <sup>2+</sup>	16.0	1991-06-27			
	Ca <sup>2+</sup>	8.5	1991-05-29			
龙陵邦纳掌	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	16.6	1991-05-05	36.1	1991-05-05	40
	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	36.1	1991-07-25			
昌宁湾甸	Ca <sup>2+</sup>	9.5	1991-03-26	9.5	1991-03-08	43
	Mg <sup>2+</sup>	3.1	1991-03-08			
腾冲叠水河	Ca <sup>2+</sup>	5.7	1991-01-22	6.5	1991-01-22	56
	Mg <sup>2+</sup>	6.5	1991-02-23			

上述结果表明,在 1991 年施甸 5.3 级地震前,台网中各测点及多数测项的测值都出现了变化幅度呈趋势性增大和群体突跳加强的异常变化。然而对于在较远地区发生的 8 次地震(150 km 以内  $M \geq 5$ , 400 km 以内  $M \geq 6$ ),大部份测项异常不明显,群体突跳亦不显著(表 3)。

#### 4 结论与讨论

综上所述,可以得到如下的初步结果:

(1)利用变幅滑动平均、滑动残差和群体突跳率三种方法对滇西水化观测台网各测点的资料进行系统处理,减少了干扰因素的影响,提取地震信息的效果显著。上述三种方法的可操作性强。

(2)各测点对台网内发生的  $M \geq 5$  地震( $\Delta < 100$  km)的映震能力强,在 6 个测点中有 4 个测点有明显异常出现,在有效测点的 15 个测项中,有映震能力的为 10 项,有效率为 67%。

(3)各测点异常幅度大小与震中距呈负相关,震中距小的测点异常幅度大,震中距大的测点异常幅度小。异常持续时间长短、幅度大小与地震强度呈正相关。地震一般发生在异常达峰值并发生转折后 50 天内,震前几天的临震异常不突出。

(4)一般位于断裂附近的测点映震性能好,其水体密封承压性能好,干扰小。部份位于活动断裂上的测点,映震范围可能较大一些。如腾冲叠水河、昌宁湾甸两个测点,在 1994 年 1 月 11 日缅甸 6.7 级地震前其滑动变幅有异常显示(图 5、表 3)。

蒋凤亮等人所做的室内实验证明,在压力、温度作用下,介质中离子组分将随之产生变



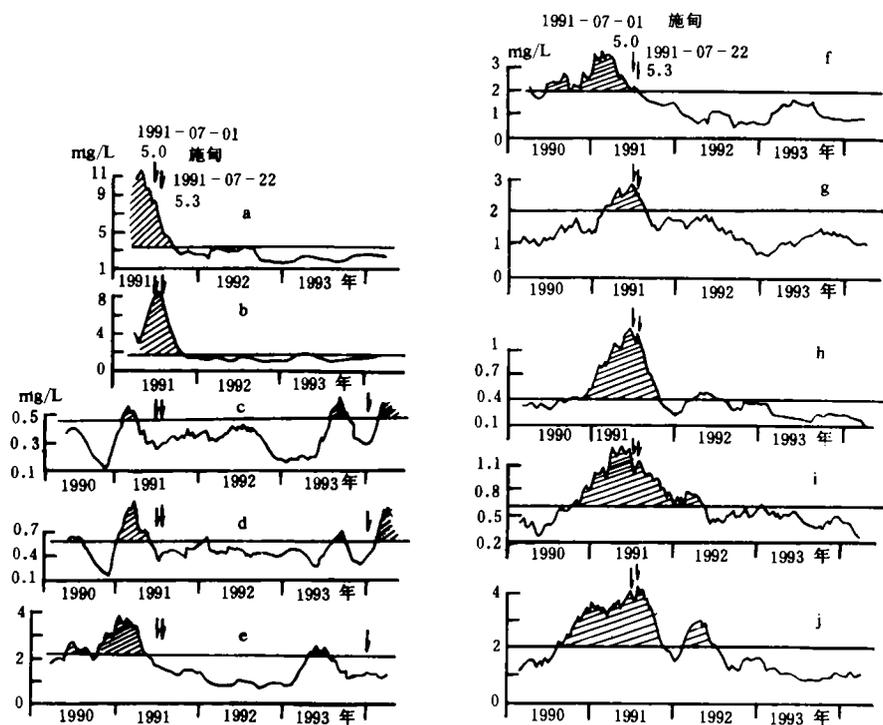


图 5 滇西水化网水质日变幅 100 天滑动平均

A. 邦纳掌碳酸根离子; B. 邦纳掌硫酸根离子; C. 湾甸镁离子; D. 湾甸钙离子; E. 叠水河碳酸根离子; F. 叠水河镁离子; G. 保山碳酸根离子; H. 保山镁离子; I. 保山钙离子; J. 保山硫酸根离子

Fig. 5 The 100 days slip-average curves of the daily variation amplitude of the groundwater quality within Western Yunnan chemistry network.

化<sup>[2]</sup>。地壳介质是由岩石、水和气三部份组成的,作为含有不同离子组分的水,赋存于岩石的孔隙、裂隙中。在地震孕育过程中,由于应力的加强,裂隙增多,温度、压力发生改变,必然导致岩石中水的分布及其化学组分和性质的改变。显然,因此而产生的变化将随应力增强而增强,因而在时间上表现出越接近地震发生异常越大,在空间上表现出震中距越小异常幅度越大的特征。

1991 年施甸 5.3 级地震震中距各测点的距离均小于 60 km,所以各测点的震前异常明显。说明该台网的异常反映的是近源场的孕震信息。作者对该次地震震中附近±0.3 地区的地震频度和强度进行了统计分析,测点中最早出现滑动变幅异常的时间以及群体突跳率开始增强的时

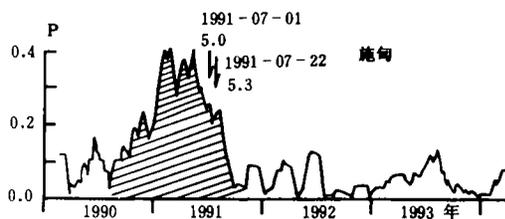


图 6 滇西区域水化网水质群体突跳率 50 点滑动曲线

Fig. 6 The 50 points slip-average curves of the massive abrupt rate of the groundwater quality within western Yunnan chemistry network.

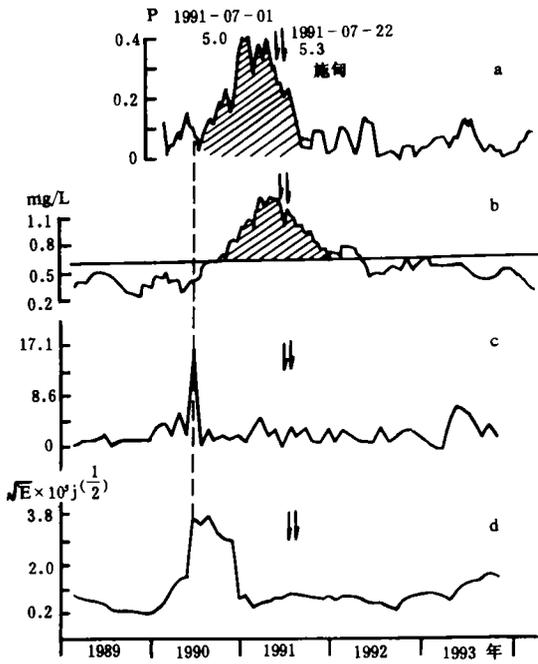


图7 施甸地震前震源区地震活动与前兆关系图

a. 滇西区域水化网水质群体突跳率50点滑动曲线；b. 保山钙离子日变幅100天滑动平均曲线；c. 震源区M=2.5-4.5地震月频度；d. 震源区M=2.5-4.5地震年滑动能量释放曲线

Fig. 7 The relation between seismicity in source area and precursors before the Shidian earthquake.

间,与这一区域内地震活动频度和强度增强的时间基本同步(图7)。这进一步证明滇西区域水化观测台网的前兆异常的动力来源可能是震源区应力增强。

至于临震异常并不突出的问题,作者认为可能的原因之一是由于观测的不连续性,每天只采样一次,致使大量信息流失所致。

在本文的研究中得到了石绍先等同志的指导,同时得到了滇西地震预报实验场、保山地区地震局等单位的支持,谨此表示诚挚的谢意。

(本文1994年8月4日收到)

### 参考文献

- 1 张炜,等. 水文地球化学地震前兆观测与预报. 北京:地震出版社,1992
- 2 蒋凤亮,等. 地震水文地球化学前兆机理的研究. 地震监测与预报方法清理成果汇编(地下水分册). 北京:地震出版社,1988

## THE EARTHQUAKE PRECURSOR CHARACTERS OF NEAR SOURCE FIELD FOR GROUNDWATER CHEMISTRY IN WESTERN YUNNAN AREA

Wu Zhiping and Zhao Zongben

(*Seismological Bureau of Baoshan Administrative Office,  
Yunnan Province, Baoshan 678000*)

### Abstract

In this paper, the authors made use of three methods, including slip-average with variable amplitude, slip-residual and massive abrupt rate, to carry out systematically comprehensive processing for those data after groundwater chemistry network established in western Yunnan area. The correlation analysis between above results and more than 10  $M > 5.0$  earthquakes in the neighboring areas shows that this network has very good reflecting earthquake ability, the efficiency of station-point is 0.67 and the efficiency of station-item is 0.53. The general response earthquake range is less than 100 km. Before earthquakes occurring within the network, all station-items have appeared background anomalies, the earthquake will take place after all points go into anomaly turning stage. The length of the anomaly duration and the magnitude of the anomaly amplitude are positive correlation with intensity and epicentre distance of the future earthquake. The short information is to be massive abrupt, about 40—50 days after massive abrupt rate reached peak and turned, and then the earthquake will occur.

Finally, we also discussed the near source field earthquake information observed by the groundwater chemistry network in western Yunnan area.

**Key words:** Groundwater chemistry precursor, Source field character, Hydrochemical survey, Reflecting earthquake ability, Trend anomaly, Short-term anomaly, Strong earthquake