

# 泸州井地下水位中期异常特征和试用性 预测指标的初步研究<sup>①</sup>

李雅蓉<sup>1</sup>, 杨贤和<sup>2</sup>

(1.四川省地震局测绘工程院泸州地震台,四川 泸州 646000; 2.四川省地震局,四川 成都 610041)

**摘要:**利用定性与定量相结合的方法,系统分析 1982—2014 年泸州井水位的月均值观测资料。发现有 6 次中期异常变化,分别对应 1989 年巴塘东南 6.6 级、2008 年汶川 8.0 级等 5 次强(大)震,其中汶川 8.0 级地震出现了两次异常;并与川滇地区其他井(泉)对比,证明泸州井水位的中期异常明显,且不是孤立存在的;探讨了该井在汶川地震前后异常表现的特殊性,即出现“二次异常”,震后效应亦显著和持久。最后提出利用泸州井水位从属函数异常计算发震时间的中期预测试用性指标,该指标可计算川滇地区最有可能发生强震的时间段。

**关键词:**地下水位;定性;定量;二次异常;从属函数法;中期异常;试用性指标

**中图分类号:** P315.72<sup>+</sup>3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000—0844(2015)增刊 2—0170—07

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000—0844.2015.增刊 2.0170

## A Preliminary Study on the Medium Term Anomalies of Groundwater Level of Luzhou Well and the Tentative Index for Earthquake Prediction

LI Ya-rong<sup>1</sup>, YANG Xian-he<sup>2</sup>

(1.Luzhou Seismic Station of Survey Engineering Institute, Earthquake Administration of Sichuan Province,  
Luzhou 646000, Sichuan, China; 2.Earthquake Administration of Sichuan Province, Chengdu 610041, Sichuan, China)

**Abstract:** The seismic behavior monitoring of groundwater in China has over 40 years history. Co-operated with other precursor means, it has become one important means of all means for earthquake prediction. But the earthquake-reflecting condition of each well and the evaluation of them is different. People have different views on the revocation of Luzhou well in recent years. This paper selects historical target earthquakes based on the earthquake cycle and magnitude in Sichuan and Yunnan area. We use the method combining qualitative (monthly average method) and quantitative (23 points smoothing method and subordinate function method) approaches to make a systematic analysis on monthly observation data of Luzhou well groundwater level from 1982 to 2014. We found 6 middle-term anomalistic changes, respectively, corresponding to one  $M_s 6.6$  earthquake occurred at Batang in 1989 and five strong earthquakes including Wenchuan  $M_s 8.0$  earthquake. Among these 6 middle-term anomalies, 2 anomalies belong in the Wenchuan  $M_s 8.0$  earthquake. Also, these anomalies were tested by  $R$  value. Compared with other wells in Sichuan and Yunnan Province, facts have proved that the middle-term anomalies of Luzhou well water level are obvious, and are not unique case. In addition, the particularity of anomaly before the Wenchuan earthquake and post the Wenchuan earthquake is discussed. That is, second anomaly,

① 收稿日期: 2015-04-01

作者简介: 李雅蓉, 女, 汉族, 助理工程师, 主要从事地震台站监测工作。E-mail: 756501305@qq.com。

and post the Wenchuan earthquake effect is remarkable and lasting. We use the statistical data and the subordinate function of the water level of Luzhou well to calculate the tentative index for middle-term prediction on the occurrence of earthquake. The index can be used to predict the period when a strong earthquake can most likely occur in Sichuan and Yunnan area. Finally, we come up a conclusion that Luzhou well can be used to perform a study on middle-term anomaly and prediction on strong earthquakes while there need to strengthen the management and study of the well. Also, we suggest waterfall can be used as a observed item since waterfall is relevant to the groundwater.

**Key words:** groundwater level; qualitative; quantitative; second anomaly; subordinate function method; middle-term anomaly; tentative index

0 引言

我国于上世纪六十年代中期开始地震地下水动态的监测与预报工作,经过四十多年的努力,积累了大量水位观测资料。虽然目前仍处于初步探索阶段,但也取得了一定成果,并使其与其他前兆手段相配合,成为地震预报的重要手段之一。在我国地震预报历史上,1975 年海城地震、1976 年龙陵地震及 1976 年松潘地震的预报,地下水动态监测都发挥了重要作用。1982 年四川水网的 12 口井通过了国家地震局验收,1984 年又通过 4 口井的验收,该水网总计 16 口井<sup>[1]</sup>。本文所分析水位资料来自于四川泸州高坝 13 井 SW40-1 模拟水位仪。此井自 1982 年 7 月开始观测,至 2014 年 12 月水位测试已长达 32.5 年。泸州井地理位置很特殊,紧邻云南这个地震多发区,附近有华蓥山断裂带,并能清晰记录到固体潮和震中距达 3~4 千 km 左右、7 级以上地震的水震波。近年来有人提出了泸州高坝井能不能再

用、是否撤销的问题,大家说法不一。本文通过定量与定性相结合的方法,对该井水位观测资料进行分析,发现其资料在川滇地区一些中强地震前出现了中期异常。另外,该测点观测资料时间长,所处位置比较特殊,希望该井能在今后的地震监测预报工作中起到作用。

1 水位观测井与目标地震的选择

1.1 观测井的选择和水文地质简况

用于震例研究与实际预测的观测井(泉)应具有三个条件:(1)观测数据时间长,一般在 10 年以上;(2)无人为干扰(如仪器变更、台站改造、井(泉)装置改变、无规律抽水、渠道放水与停水等)所引起的台阶状变化或对台阶状变化的因素比较清楚,能进行校正;(3)具有明显的年动态变化。根据这些条件,笔者认为对泸州井(即泸州高坝 13 井)水位可进行中期异常分析。泸州高坝井的水文地质简况列于表 1<sup>[1]</sup>。

表 1 泸州水位观测井水文地质条件一览表  
Table 1 Hydrogeological conditions of Luzhou well

| 井(泉) 位置 |        |          | 井-含水层特征 |                    |       |        | 开始观测时间  |
|---------|--------|----------|---------|--------------------|-------|--------|---------|
| 经度/(°)  | 纬度/(°) | 所在断裂     | 井深/m    | 地层时代与岩性            | 地下水类型 | 温度/(℃) |         |
| 105.41  | 28.87  | 中兴场背斜倾伏端 | 300.6   | J <sub>2</sub> 细砂岩 | 裂隙承压水 | 21.0   | 1982-07 |

1.2 研究目标地震的选择

在研究(或预测)之前,需首先选定目标地震。本文所选的目标地震是川滇地区发震周期在 5~6 年与 11 年左右、震级在 6.5 级以上的显著地震,而不是只以震中距和震级来选择。因为不同的井孔以震中距来选择历史目标地震,会有不同的地震用来作研究或预测。1982 年以来,在川滇地区共发生 6 组目标地震(表 2)。在一定区域内,如果短时间内发生几次地震,则被称为“地震组”<sup>[2]</sup>,也就是说,一个或一组异常也可对应多个地震,但在做统计分析

时,只考虑“地震组”中震级最大的地震,或者震中距最近的地震。

2 中期异常的提取方法

2.1 定性方法

定性判定法主要是利用水位月均值图进行分析。异常判定标准主要有<sup>[3]</sup>:(1)到达最低点或次低点后的第一个上升点定为异常开始点;(2)低值点后出现明显的上升变化,且异常开始后 1~2 年的平均值高于异常变化点以前的数值;(3)异常出现具有

周期性,一般为 4~5 年或 11 年左右。需要说明的是,这里所说的异常出现的周期,并非异常相对于目标地震发生的超前时间或异常持续时间,而是两个异常开始出现的时间间隔。异常的超前时间、持续时间和出现周期,这三者的长短是不相等的(表 3)。有意思的是,在川滇地区,地震活动也存在明显的 4~5 年、11 年左右周期;地震活动开始时间晚于水位异常出现的时间。

表 2 川滇地区研究(或预测)的目标地震一览表  
Table 2 Target earthquakes in Sichuan—Yunnan area

| 地震组 | 序号 | 时间         | 震中位置   |        | 震级/ $M_s$ | 地点     | 备注   |
|-----|----|------------|--------|--------|-----------|--------|------|
|     |    |            | 纬度/(°) | 经度/(°) |           |        |      |
| 一   | 1  | 1989-04-16 | 29.99  | 99.23  | 6.6       | 四川巴塘东南 | 参与统计 |
|     | 2  | 1989-04-25 | 30.05  | 99.42  | 6.6       | 四川巴塘东  |      |
|     | 3  | 1989-09-22 | 31.58  | 102.51 | 6.5       | 四川小金北  |      |
| 二   | 4  | 1995-10-24 | 25.9   | 102.2  | 6.5       | 云南武定   |      |
|     | 5  | 1996-02-03 | 27.2   | 100.3  | 7.0       | 云南丽江   | 参与统计 |
| 三   | 6  | 2000-01-15 | 25.58  | 101.12 | 6.5       | 云南姚安   | 参与统计 |
| 四   | 7  | 2008-05-12 | 31.0   | 103.40 | 8.0       | 四川汶川   | 参与统计 |
| 五   | 8  | 2013-04-20 | 30.3   | 103.0  | 7.0       | 四川芦山   |      |
| 六   | 9  | 2014-08-03 | 27.1   | 103.3  | 6.5       | 云南鲁甸   | 参与统计 |
|     | 10 | 2014-10-07 | 23.4   | 100.5  | 6.6       | 云南普洱   |      |

表 3 中期异常定量判定方法  
Table 3 Quantitative judgment methods for middle-term anomalies

| 方法     | 使用数据                 | 信息参数计算式                                               | 异常判定指标                                         | 备注                       |
|--------|----------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------|
| 23 点平滑 | 月均值                  | $M=\overline{X}_i=\frac{1}{23}\sum_{k=0}^{22}X_{i-k}$ | $\overline{M}_i^{23}<\overline{M}_{\text{高值}}$ | 观测数据为静水位                 |
| 从属函数   | 月均值的 23 点滑动平均值 $M_i$ | $\mu_i=\left[1+\frac{\alpha}{ k_i  r_i }\right]^{-1}$ | $\mu\geqslant 0.5$                             | 求曲线上升段的从属函数,拟合窗口长度 $m=9$ |

注: $x$  为月均值; $k_i$  为观测数据的变化速率; $r_i$  为  $M(t)$  与  $t$  间的相关系数; $\alpha$  值为经验常数,计算泸州井水位异常时, $\alpha=0.01$ 。将 23 点滑动平均值、从属函数计算值一律置放在右端点。

据水文地质学的有关理论,地下水变化周期及其有关的环境因子也会有 2 年左右、5~6 年或 6 年周期,以及 11 年、19 年和更长期的周期(表 4)。

表 4 地下水变化周期及其有关环境因子(据 B C 科瓦列夫斯基)<sup>[4]</sup>

Table 4 Variation period of underwater and related environmental factors (After B C Kovalevski)<sup>[4]</sup>

| 地下水周期   | 2 年                             | 4~5 年           | 5~6 或 6 年                        | 11 年             | 19 年    |
|---------|---------------------------------|-----------------|----------------------------------|------------------|---------|
| 有关的环境因子 | 与沿赤道 20 km 高处带状同温层风有关,这是受太阳活动控制 | 与地球转动速度有节奏的变动有关 | 5~6 年周期与太阳活动周期有关,与 6 年为周期的地轴章动有关 | 与反映太阳黑子活动的佛耳夫数有关 | 与潮汐周期有关 |

地下水变化周期与地下水位异常的周期之间是否存在成因联系,也是一个值得深入探讨的课题。

2.2 定量方法

定量分析采用 23 点平滑法和从属函数法(表 4)<sup>[3,5-8]</sup>,其中 23 点平滑法为半定量方法。

定性方法也称“看图识字”,其主观随意性大,所给出的异常图像往往因人而异;定量方法虽然克服了“看图识字”的随意性,但往往会忽略异常曲线变化的过程和细节。所以,采用定性与定量相结合的方法分析才能较客观地提取异常。

需要指出的是,月均值、23 点平滑值和从属函数三种异常彼此间应相互呼应。

3 泸州井地下水位中期异常特征分析

3.1 1982—2014 年水位异常与地震的关系

1982 年 7 月以来,泸州水位中期异常变化曲线见图 1;泸州水位中期异常特征列于表 4。可以看出,与月均值法相比,23 点平滑和从属函数法能更清晰地显示中期异常。

从图 1 和表 5 可见,1982 年 7 月—2014 年 12

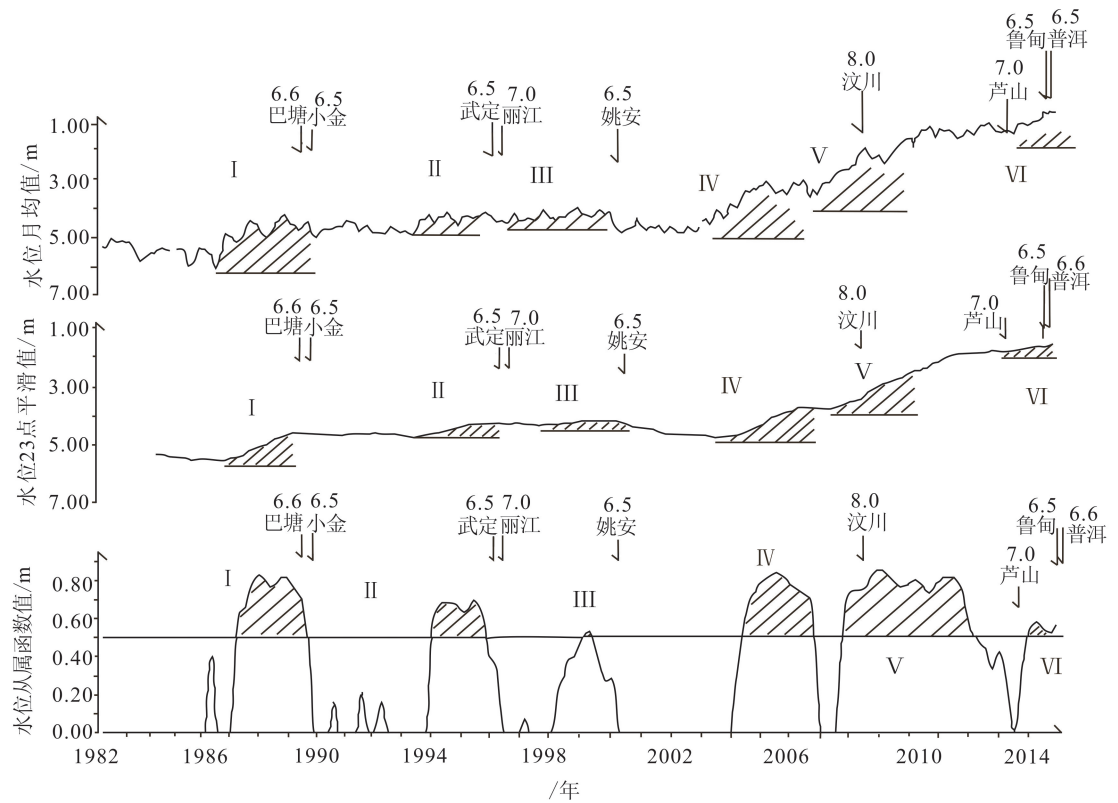


图 1 泸州井地下水位月均值、23 点平滑值及从属函数中期异常变化曲线图

Fig.1 Middle-term anomalies of groundwater level in Luzhou well using the monthly mean method, 23 smooth method, and subordinate function method

表 5 泸州井地下水位中期异常时间特征统计表

Table 5 Time characteristics of middle-term anomalies of groundwater level in Luzhou well

| 异常序号 | 异常名称   | 异常时间    |         |      |      | 对应地震                        | 备注                                  |
|------|--------|---------|---------|------|------|-----------------------------|-------------------------------------|
|      |        | 开始      | 结束      | 持续/月 | 超前/月 |                             |                                     |
| I    | 月均值    | 1986-06 | -       | -    | 34   | 1989 年 4 月 16 日四川巴塘东南 6.6 级 | 对应良好                                |
|      | 23 点平滑 | 1986-09 | -       | -    | 31   |                             |                                     |
|      | 从属函数   | 1987-02 | 1989-07 | 29   | 26   |                             |                                     |
| II   | 月均值    | 1993-03 | -       | -    | 35   | 1996 年 2 月 3 日云南丽江 7.0 级    | 对应良好                                |
|      | 23 点平滑 | 1993-03 | -       | -    | 35   |                             |                                     |
|      | 从属函数   | 1993-09 | 1995-08 | 23   | 29   |                             |                                     |
| III  | 月均值    | 1997-04 | -       | -    | 33   | 2000 年 1 月 15 日云南姚安 6.5 级   | 对应良好                                |
|      | 23 点平滑 | 1997-07 | -       | -    | 30   |                             |                                     |
|      | 从属函数   | 1998-01 | 1999-03 | 4    | 14   |                             |                                     |
| IV   | 月均值    | 2003-05 | -       | -    | 60   | 2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级   | 第一次异常。从实际地震预测过程的角度考虑,依据该异常提出的预测为虚报。 |
|      | 23 点平滑 | 2003-06 | -       | -    | 61   |                             |                                     |
|      | 从属函数   | 2004-04 | 2006-10 | 30   | 49   |                             |                                     |
| V    | 月均值    | 2006-10 | -       | -    | 19   | 2013 年 4 月 3 日四川芦山 7.0 级    | 第二次异常。在做发震时间预测指标统计时,仅考虑第二次异常。       |
|      | 23 点平滑 | 2007-04 | -       | -    | 13   |                             |                                     |
|      | 从属函数   | 2007-09 | 2012-04 | 53   | 8    |                             |                                     |
| VI   | 月均值    | -       | -       | -    | -    | 2014 年 8 月 3 日云南鲁甸 6.5 级    | 无异常显示                               |
|      | 23 点平滑 | -       | -       | -    | -    |                             |                                     |
|      | 从属函数   | -       | -       | -    | -    |                             |                                     |
| VI   | 月均值    | 2013-09 | -       | -    | 11   | 2014 年 8 月 3 日云南鲁甸 6.5 级    | 对应良好异常未结束                           |
|      | 23 点平滑 | 2013-06 | -       | -    | 14   |                             |                                     |
|      | 从属函数   | 2013-12 | -       | -    | 8    |                             |                                     |

月泸州井水位共出现 6 次中期异常变化,分别对应 1989 年四川巴塘东南 6.6 级、1996 年云南丽江 7.0 级、2000 年云南姚安 6.5 级、2008 年四川汶川 8.0 级以及 2014 年云南鲁甸 6.5 级共 5 次地震。其中汶川地震前出现了两次异常,即第Ⅳ次和第Ⅴ次异常;2014 年四川芦山地震前无异常变化。总的来说,泸州水位异常与地震的对应关系是良好的。

从月均值和 23 点平滑曲线的形态上看,除汶川地震前出现两次异常外,其他震例基本上呈“上升-转平-地震”的规律;而从从属函数异常图像的形态上看,除汶川地震前出现两次异常外,其他震例基本上呈“上升-下降-地震”的规律。地震多发生于水位上升到最高点后下降的过程中(当然也不是每一次水位下降时都有地震发生)。例如,2014 年 8 月鲁甸和 10 月普洱地震就发生在从属函数上升到最高点后的下降过程中,这两个地震为一个地震组;至 2014 年 12 月,异常仍未结束。

依据 5 次地震前异常资料的统计,可给出泸州井水位异常的超前时间。需要说明的是,汶川地震前出现了 2 次异常;从实际预测过程考虑,依据第一次异常做出的预测应是虚报。故为了拟定预测指标而做异常时间特征的统计时,只考虑第二次异常。

依据表 5 资料,异常超前时间的统计结果如下:

(1) 月均值异常:最小为 11 个月,最大为 35 个月;平均为 23 个月。

(2) 23 点平滑异常:最小为 13 个月,最大为 35 个月;平均为 24 个月。

(3) 从属函数异常:最小为 8 个月;最大为 29 个月;平均为 19 个月。

不难推测,在地震活跃期与平静期,异常与地震的对应关系也有明显差异。在地震活跃期,异常与历史地震对应关系可通过许绍燮研制的地震异常  $R$  值信息量检验。

下面计算鉴定从属函数异常的震兆信息量大小的  $R$  值。从图 1 和表 5 可知,1982 年 7 月至 2014 年 12 月共计 390 个月,也是预报研究的总时间。从发生的地震上看,期间共有 6 组地震,其中 5 次地震前出现了中期异常,仅 2013 年芦山地震前无异常;从出现的异常上看,期间共有 6 次中期异常,其中 5 次直接对应了地震(“直接”指在异常过程或结束后发震);中期异常对应时间最小为 8 个月,最大为 29 个月,由此可计算出预报的占用时间为  $(29-8) \times 6 = 126$ (个月)。将这些数字代入  $R$  值计算式,即得到  $R$  值<sup>[6,9]</sup>:

$$R = \frac{\text{报对地震次数}}{\text{应预报的地震总次数}} - \frac{\text{预报占用时间}}{\text{预报研究的总时间}} \\ = \frac{5}{6} - \frac{126}{390} = 0.833 - 0.323 = 0.510$$

从文献[9]可知,如果报对次数为 5,漏报次数为 1,  $R > 0.401$  时,则异常与地震的对应关系可通过  $R$  值法鉴定,其置信水平可达 97.5%。泸州井水位的从数函数异常与地震关系的  $R$  值达 0.510,已通过  $R$  值法的鉴定,表明从属函数法可以在地震预测实践中试用。

### 3.2 2008 年汶川 8.0 级地震前后的异常变化

#### 3.2.1 汶川地震前出现两次异常

2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级地震前,泸州井水位先后出现了两次异常(图 1),这是汶川地震的特殊性。

在月均值、23 点平滑及从属函数第一次异常值最高点下降的过程中,未发生地震;而第二次异常后才发生汶川地震,但地震不是发生在异常的下降过程中。

第一次月均值异常开始于 2003 年 5 月,第二次异常开始于 2006 年 10 月;第一次 23 点平滑值异常出现在 2003 年 6 月,第二次异常出现在 2007 年 4 月;第一次从属函数值异常开始于 2004 年 4 月,第二次异常开始于 2007 年 9 月(表 5)。

从对应关系上看,2006 年以后出现的第二次月均值、23 点平滑值及从属函数异常与汶川地震相对应(图 1)。而认为 2003—2004 年开始的第一次异常也为汶川地震的前兆,则基于以下理由:从文献资料可知<sup>[3]</sup>,就月均值而言,在川滇地区,于 2003 年已开始出现水位和水氡中期异常(表 6)。除泸州井外,较早是云南景东井水氡异常(2003 年 12 月);江油 10 井异常出现较晚(2005 年 1 月)。考虑到多井(泉)趋势性异常的出现具有准同步性,故可认为于 2003 年 5 月泸州井出现第一次异常也为汶川地震的前兆。

此外,在汶川地震前,还有云南大理、个旧、怒江水位出现了二次从属函数异常。

2006 年中国地震局地壳应力研究所在《2007—2009 中国大陆地震趋势预测——地下流体学科》研究报告①中指出:“在 2003 年地下流体群体转折的基础上,2005—2006 年在川滇、甘青等西部地区出

① 中国地震局地壳应力研究所.《2007—2009 中国大陆地震趋势预测——地下流体学科》研究报告.2006.

现了较多测点加速变化。”

3.2.2 汶川地震后异常变化的持续性

2007 年 9 月泸州水位出现第二次异常,汶川地震后该异常并未下降恢复,而是持续到 2012 年 4 月(图 1)。这一异常的持续时间比以往任何震例的震

后异常变化都要长。这可能是因为汶川地震的震级巨大,导致含水层孔隙压力的重新分布<sup>[10]</sup>,造成了长时期的、大幅度的后效变化。汶川地震的后效变化也掩盖了芦山地震异常的显示。当然,这只是一种初步推断,有待以后进一步证实。

表 6 2008 年汶川 8.0 级地震前泸州井与其他井孔流体中期异常对比表  
Table 6 Comparison between middle-term anomalies of fluid in Luzhou well and other wells prior to Wenchuan M<sub>s</sub>8.0 earthquake in 2008

| 水点测项      | 异常名称 | 异常时间    |         |      |      | 备注      |
|-----------|------|---------|---------|------|------|---------|
|           |      | 开始      | 结束      | 持续/月 | 超前/月 |         |
| 四川泸州井水位   | 月均值  | 2003-05 | -       | -    | 60   | 第一次异常   |
|           | 从属函数 | 2004-04 |         |      | 49   |         |
|           | 月均值  | 2006-10 | -       | -    | 19   | 第二次异常   |
|           | 从属函数 | 2007-09 | 2012-04 | 53   | 8    |         |
| 云南景东井水氡   | 月均值  | 2003-12 | 未结束     | -    | 53   | 出现了两次异常 |
|           | 从属函数 | 2006-02 | 2007-11 | 21   | 27   |         |
| 甘肃陇南武都泉水氡 | 月均值  | 2003-11 | 2007-08 | 45   | 54   |         |
|           | 从属函数 | 2005-09 | 2007-02 | 17   | 32   |         |
| 四川康定姑咱泉水氡 | 月均值  | 2004-02 | 未结束     | -    | 51   |         |
|           | 从属函数 | 2005-11 | 未结束     | -    | 30   |         |
| 四川江油井水位   | 月均值  | 2005-01 | 未结束     | -    | 40   |         |
|           | 从属函数 | 2005-11 | 2007-12 | 25   | 30   |         |

4 发震时间的中期试用性预测指标

目前,地震流体学科的地震预测水平较低的原因之一是缺少有效的、定量的预测指标。长期以来,不少流体学者也建立了这样或那样的地震预测指标,但由于大多数是依据定性异常来确定的,故这些指标的效果都不理想。

中期预测指标主要用于年度、年中会商时的震情判断。汶川地震预测的实践表明,如何提出比较符合实际震情的年度、年中的判断意见,一直是需要攻克的地震预测难题之一。

按照文献[7,11]介绍,预测指标建立和发震时间计算的步骤与方法如下。

(1) 中期异常特征量的统计:将异常的时间特征及其与地震的对应关系逐一做登录;依据震例资料,归纳总结出异常的超前时间、持续时间等特征。

(2) 中期试用性预测指标的拟定:依据异常特征资料,拟定出发震时间的预测指标。

(3) 中期发震时间的计算:其计算式为  
 $T_1 = t + \Delta t_1$ ,  $T_2 = t + \Delta t_2$   
式中: $T_1$  和  $T_2$  分别为预测的发震开始和终止时间; $\Delta t_1$  和  $\Delta t_2$  分别为预测的最小和最大超前时间; $t$  为异常的开始时间(日期)。

依据川滇地区 1989 年巴塘东南 6.6 级等 5 次地震前异常资料(表 5),可得最小超前时间  $\Delta t_1$  为 8

个月,最大超前时间  $\Delta t_2$  为 29 个月;由此可拟定出从属函数法的发震时间中期预测试用性指标(表 7)。这里要说明的是,如前所述,汶川地震前出现了两次异常(图 1),从实际预测过程考虑,如果依据第一次异常做出预测,应为虚报,故在拟定中期预测试用性指标表时只考虑了第二次异常的超前时间。

表 7 泸州井地下水位从属函数法的发震时间中期预测试用性指标表

Tabel 7 The tentative index for middle-term prediction on the occurrence of earthquake based on the subordinate function of the groundwater level of Luzhou well

| 井孔  | 预测方法 | 预测超前时间/月        |                 | 备注             |
|-----|------|-----------------|-----------------|----------------|
|     |      | 最小 $\Delta t_1$ | 最大 $\Delta t_2$ |                |
| 泸州井 | 从属函数 | 8               | 29              | 依据 5 次地震前资料的统计 |

检验性预测实例:2013 年 12 月泸州井水位出现了从属函数异常。查表 7 可知,预测的最小  $\Delta t_1$  超前时间为 8 月,最大  $\Delta t_2$  为 29 个月。据此利用上述公式计算得出,2014 年 8 月( $T_1$ )—2016 年 5 月( $T_2$ )川滇地区可能发生 6.5 级以上地震。结果于 2014 年 8 月 3 日云南鲁甸发生了 6.5 级,2014 年 10 月 7 日云南普洱发生了 6.6 级地震。但预测的这个时间段并不意味着只发生 2014 年的云南鲁甸和普洱地震,因为异常还未结束。

未拟定月均值法的发震时间预测指标,考虑月

均值异常的定性成分较多。

本文给出的从属函数法发震时间中期预测试用性指标表,所依据的统计样本数仅 5 次(这也是称之为“试用性”的原因),故难以断定其有效性到底如何。为此,需要在今后地震预测实践中对该预测指标不断地进行检验和修正。

## 5 认识和讨论

(1) 从以上分析可看出,泸州高坝 13 井水位中期异常大都与历史地震对应良好,所以认为泸州井完全可以用来研究中期异常和做强震中期预测。为此,建议加强对该井水位观测的管理与研究,以期在中期和中短期预测中能发挥一定的作用。

(2) 依据震例资料统计,泸州井中期异常的特征是:月均值异常的超前时间最小为 11 个月,最大为 35 个月;23 点平滑异常最小为 13 个月,最大为 35 个月;从属函数异常最小为 8 个月,最大为 29 个月。这些统计数据是该井水位“发震时间的中期试用性预测指标”拟定的依据。

(3) 对异常的提取以及预测指标的拟定,仅靠定性的方法还不够,定性与定量方法相结合才能清晰显现异常图像,拟定较为确定的预测指标。而且这些方法简单、严格,适用于较多观测井(泉)。

(4) 汶川 8.0 级地震前泸州井水位出现“二次异常”,这是一个颇具特色的异常现象,但在川滇地区,“二次异常”却不是孤立的现象。汶川地震前云南景东等多井(泉)的水氡或水位也出现了“二次异常”变化,而靠近震源的江油水位反而没有二次异常。“二次异常”的出现可能与异常曲线的特点和异常提取的方法有关;与震中距是否有关,还要做相关研究。

(5) 实际上,降水与地下流体的变化是密不可

分的,这也是多年来前辈们总结出的结论。长期以来,我们一直视降水为干扰而将其排除在外,实际上又不能完全排除。如表 3 所示,太阳与地球的活动影响地下水变化周期,同时也会影响大气层的降水,况且,降水对地层也产生多方面的作用,如降水荷载、孔隙压力、动水压力和化学腐蚀作用。故笔者认为,“降水-地下流体-应力应变”三者关系值得重视与深入研究。为此,不管是泸州水位还是其他井都应该配备降水观测,再结合其它应力-应变观测进行对比分析研究。

## 参考文献

- [1] 汪成民,李宣璐,王铁城,等.中国地震地下水动态观测网[M].北京:地震出版社,1990.
- [2] 李钦祖,于利民.成组活动是中国大陆强地震的一个基本特点[J].地震学报,1994,16(1):11-17.
- [3] 范雪芳,王吉易,陆明勇.汶川 8.0 级地震前典型流体中期前兆异常的初步研究[J].地震,2009,29(1):132-140.
- [4] 陈葆仁,洪再吉,汪福炘.地下水动态及其预测[M].北京:科学出版社,1988:60-63.
- [5] 杨明波,王吉易,刘喜兰,等.北京及邻近地区中等以上地震地下流体异常识别与特征研究[J].地震,2006,26(3):53-62.
- [6] 顾申宜,张慧,解晓静,等.海南井水位中期和中短期异常信息的提取方法及其特征分析[J].地震地质,2010,32(4):638-646.
- [7] 杨兴悦,王燕,闫万生,等.武山 22 号井水位中期异常与地震关系的探讨[J].西北地震学报,2006,28(4):378-380.
- [8] 王小娟,李旭升,牛延平,等.四川汶川 8.0 级地震地下流体异常分析[J].地震工程学报,2014,36(3):688-696.
- [9] 陆远忠,陈章立,王碧泉,等.地震预报的地震学方法[M].北京:地震出版社,1985:248-253.
- [10] 王广才,沈照理.地震地下水动态监测与地震预测[J].中国自然杂志,2010,32(2):90-93.
- [11] 车用太,王吉易,李一兵,等.首都圈地下流体监测与地震预测[M].北京:气象出版社,2004:149-159.