

甘肃省清水井流量长期动态变化及映震效能研究

訾少刚¹, 钟美娇^{2,3}, 杨晓鹏⁴

(1. 宁夏地震局银川基准台, 宁夏 银川 750001; 2. 甘肃省地震局, 甘肃 兰州 730000;
3. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000; 4. 甘肃省平凉中心地震台, 甘肃 平凉 744000)

摘要: 计算了清水井流量的气压效率和相关系数, 排除降雨和人为的干扰因素后提取了 1985 年以来中强地震前的异常变化信息。结果表明在祁连带多数中强地震前常出现气压效率的异常畸变现象, 相关系数在一些地震发生前也会出现异常变化。并通过建立多元线性回归模型的方法定量研究得到适用于该井的地震预测模型, 为地震三要素的定量预测建立新的方法。

关键词: 气压效率; 异常; 地震; 模型

中图分类号: P315.72⁺3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0844(2013)增刊-0098-04

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2013.增刊.0098

Earthquake Precursor Anomalies of Discharge Changes of Ligou Well, Qingshui

ZI Shao-gang¹, ZHONG Mei-jiao^{2,3}, YANG Xiao-peng⁴

(1. Standard station of Yinchuan, Ningxia Seismological Bureau, Yinchuan Ningxia 750001, China;

2. Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou Gansu 730000, China;

3. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou Gansu 730000, China;

4. The Central Seismological Station of Pingliang, Pingliang Gansu 744000, China)

Abstract: We calculated the barometric efficiency and correlation coefficient of discharge changes of Ligou well, Qingshui, and extracted abnormal changes before medium and strong earthquakes since 1985 after excluding interfering factors of rainfall and human activities. The results suggest that anomalies of barometric efficiency often appear before most of medium and strong earthquakes in Qilian seismic zone and those of correlation coefficient also appear before some earthquakes. So we established an earthquake prediction mode which was fit for the well through studying multiple linear regression model, and it may provide a new method for quantitative prediction of three elements of earthquakes.

Key words: barometric efficiency; anomaly; earthquake; model

0 引言

清水井位于清水县城以西 6 km 处, 其构造位置属于陇西系南段、秦岭北缘大断裂的北侧。该井原为甘肃省地质局水文一队勘探井孔, 成井于 1979 年 12 月 13 日, 井深 165.01 m, 观测段为 25~165 m。钻孔揭露的井孔深度范围内地层为第三系和第

四系, 含水层位于 42.16 m 以下, 为第三系层间承压水, 其透水性较差, 水头压力较高, 水头达 15 m, 但流量较小 ($Q=0.022$ L/s)。由于该井属于自流井, 不宜观测动水位, 所以直接观测流量。观测方法为定体积测时间法, 即记下每流满 1 L 容器所需的

收稿日期: 2013-06-20

基金项目: 甘肃省地震局(兰州地震研究所)青年地震科学基金(2009); 震情跟踪合同制定向工作任务(2010020906)

作者简介: 訾少刚(1975—), 男(汉族), 宁夏中卫人, 本科, 主要从事流体观测与研究。

通讯作者: 钟美娇(1981—), 女(壮族), 云南广南人, 硕士, 主要从事地震分析预报工作. zhongmeij@gssb.gov.cn

时间,然后换算成 mL/s。同时观测气压和降水量变化。虽然该井距离一条季节性河流仅 100 m 左右,但河水水位变化不影响其流量。

该观测点是目前整个祁连山地震带、甘东南地区流体观测网中观测数据较可靠、映震效果较好的

流体观测点。历史资料显示该流量呈现连续多年下降的背景变化,在祁连山地震带的多次中强地震之前曾出现流量的异常增高现象,即在流量的增高过程中或达到异常峰值后发生中强震。

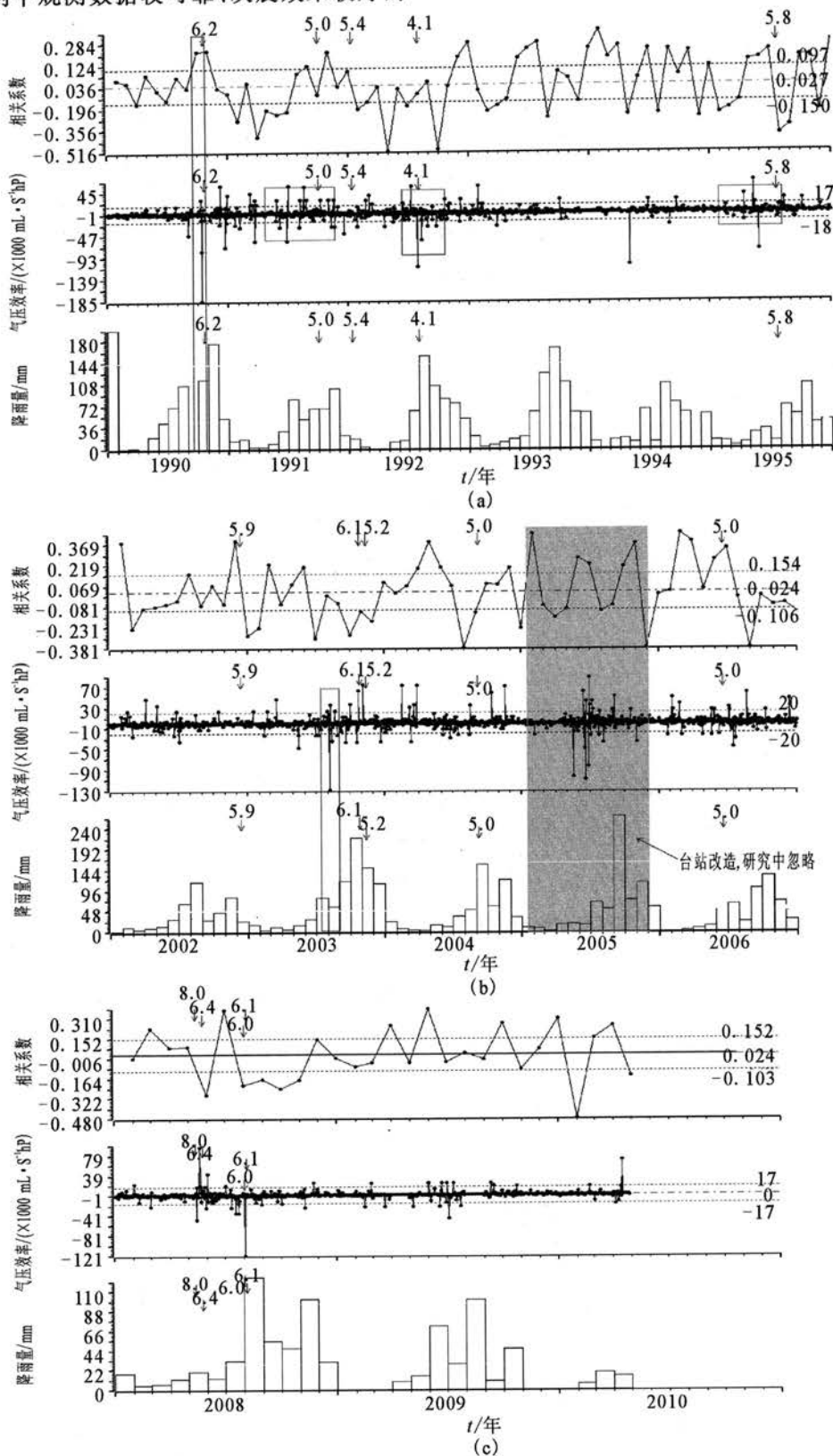


图 1 典型的气压效率与相关系数震前异常

Fig. 1 Typical anomaly of barometric efficiency and correlation coefficient before earthquakes

本研究收集了井区的气压、降雨等资料,通过排除干扰因素,计算该流量的气压效率和相关系数,提取自 1985 年以来有震异常信息,研究其震前异常特性,并建立适用于该井流量异常与地震发生之间的关系模型,以期为今后震情跟踪工作提供参考。

1 气压效率和相关系数计算

设流量为 V , 单位为 mL/s ; 气压为 P , 单位为 hPa 。

定义该井的气压效率 B_p 是单位气压变化量所引起的流量变化量,表示为

$$B_p = \frac{\Delta V}{\Delta P} \quad (1)$$

其中 ΔV 为流量变化量,单位为 mL/s ; ΔP 为气压变化量,单位为 hPa 。

流量变化主要受气压和井孔流量趋势性升降的影响,则有:

$$V = a_0 + a_1 * t + B_p * P \quad (2)$$

其中 a_0 、 a_1 为常数; t 为时间。在较短时间内则有 $\Delta V = a_1 + B_p * \Delta P$, 用最小二乘法对其作一元线性回归可计算出 V 和 P 之间的相关系数 R 。

计算结果(图 1)表明,通常情况下,清水井流量的气压效率处于相对稳定的变化状态,变化范围为 $-0.01 \sim 0.01 \text{ mL}/(\text{s} * \text{hPa})$ 。在祁连带多数 5.0 级地震(因 1992 年武山 4.1 级地震较靠近测点也计入本研究)之前常出现气压效率的一次突然升高或降低的异常现象,或有丛集的异常畸变,最大畸变幅度可达 $0.3 \text{ mL}/(\text{s} * \text{hPa})$,即偏离正常变化幅度的 30 倍,出现时间长则震前 2~3 个月,短则几天。

相关系数(一般不高于 0.15)在一些地震发生前一段时间也会出现高值异常,最高可达 0.8 以上,即偏离正常变化幅度的 5 倍。

由图 2、图 3 可看出参数间的初步定性关系:气压效率、相关系数与降雨量几乎呈负相关,降雨越小,畸变越大,即畸变异常受降雨量的影响不大;气压效率、相关系数与震中距几乎呈负相关,即距离越

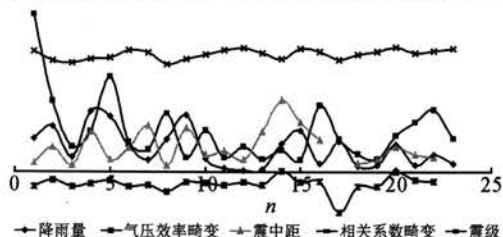


图 2 参数间的定性关系

Fig. 2 The qualitative relationship of different parameters

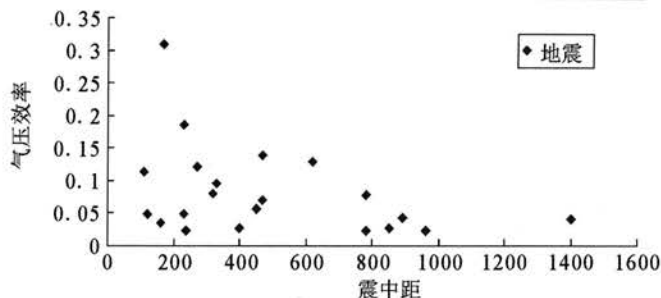


图 3 震中距与气压效率间的关系

Fig. 3 Relation between epicenter distance and barometric efficiency

小,畸变越大;相关系数与震级呈正相关。

2 建立多元线性回归模型

设有发生地震前对应的气压效率畸变幅为 B_p' , 震中距为 L , 震级为 M , 降雨量为 H , 排除人为干扰后,因 B_p' 受 L 、 M 和 H 的影响,因此拟建立它们之间的多元线性回归模型,以研究几要素之间的相互影响和关联的关系。

设因变量 B_p' 为 y , L 、 M 和 H 为 $k=3$ 个自变量,对应 x_1, x_2, x_3 , 则对应的 22 组观测值(22 次中强地震)为 $(y_n, x_{n1}, x_{n2}, x_{n3})$ (表 1), $n=1, 2, \dots, 22$ 。那么多元线性回归模型的结构形式为:

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 \quad (3)$$

式中, a_0 为常数, a_1, a_2, a_3 为偏回归系数。

根据最小二乘原理求解,正规方程组可写成:

$$\begin{cases} L_{11}a_1 + L_{12}a_2 + L_{13}a_3 = L_{1y} \\ L_{21}a_1 + L_{22}a_2 + L_{23}a_3 = L_{2y} \\ L_{31}a_1 + L_{32}a_2 + L_{33}a_3 = L_{3y} \\ a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x}_1 - a_2 \bar{x}_2 - a_3 \bar{x}_3 \end{cases} \quad (4)$$

其中 $L_{11} = \sum_{i=1}^{22} (x_{a1} - \bar{x}_1)^2$, $L_{22} = \sum_{i=1}^{22} (x_{a2} - \bar{x}_2)^2$,

$L_{33} = \sum_{i=1}^{22} (x_{a3} - \bar{x}_3)^2$, $L_{12} = L_{21} = \sum_{i=1}^{22} (x_{a1} - \bar{x}_1)(x_{a2} - \bar{x}_2)$,

$L_{13} = L_{31} = \sum_{i=1}^{22} (x_{a1} - \bar{x}_1)(x_{a3} - \bar{x}_3)$,

$L_{23} = L_{32} = \sum_{i=1}^{22} (x_{a2} - \bar{x}_2)(x_{a3} - \bar{x}_3)$, $L_{1y} =$

$\sum_{i=1}^{22} (x_{a1} - \bar{x}_1)(y_a - \bar{y})$, $L_{2y} = \sum_{i=1}^{22} (x_{a2} - \bar{x}_2)(y_a - \bar{y})$,

$L_{3y} = \sum_{i=1}^{22} (x_{a3} - \bar{x}_3)(y_a - \bar{y})$, 经过计算方程组

解为:

$$\begin{cases} a_0 = 34.886 \\ a_1 = -0.115 \\ a_2 = 11.466 \\ a_3 = 0.784 \end{cases} \quad (5)$$

故线性回归方程为 $y = 34.886 - 0.115x_1 + 11.466x_2 + 0.784x_3$ 。

对方程进行 F 显著性检验:

将 y 的离差平方和 S 分解成两部分回归平方和 U 和剩余平方和 Q :

$$S = L_{yy} = \sum_{i=1}^{22} (y_i - \bar{y})^2,$$
$$U = a_1 L_{1y} + a_2 L_{2y} + a_3 L_{3y},$$
$$Q = S - U,$$

经过计算 $F = \frac{U/k}{Q/(n-k-1)} = 3.0649$, 所以在置信水平 $\alpha = 0.10$ 下, 回归方程是显著的, 效果较好。

表 1 有震异常畸变参数

n	气压效率畸变幅 $B_p(y)[\text{mL} \cdot (\text{s} \cdot \text{hPa})^{-1}]$	震中距 $L(x_1)/\text{km}$	震级 $M(x_2)M_S$	降雨量 $H(x_3)/\text{mm}$
1	308.1	170	5.0	64.3
2	138	470	6.4	89.3
3	48.6	120	5.1	28.3
4	78.7	780	5.7	118
5	185	230	6.2	107
6	57.3	450	5.0	50.3
7	42.4	890	5.4	22.9
8	114	110	4.1	63.2
9	27.5	850	6.0	110
10	80.2	320	5.8	25.2
11	26.7	400	5.4	6.3
12	49.1	230	5.9	2.8
13	24.0	780	5.3	3.3
14	41.6	1400	8.1	54.4
15	23.3	960	5.9	81
16	130	620	6.1	16
17	62.9	620	6.1	58.0
18	34.5	160	5.0	11.3
19	24.4	240	5.0	12.6
20	69.6	470	8.0	52.8
21	96.1	330	6.4	13.0
22	121	270	6.1	32.3

3 结论

排除降雨和人为的干扰因素后, 通常情况下, 清水井流量的气压效率处于相对稳定的变化状态, 在祁连带多数 5.0 级地震之前常出现气压效率的一次

突然升高或降低的异常现象, 或有丛集的异常畸变, 最大畸变幅度可偏离正常变化幅度的 30 倍, 出现时间则震前 2~3 个月, 短则几天。相关系数在一些地震发生前也会出现高值异常, 最高可偏离正常变化幅度的 5 倍。降雨量对比观测数据表明, 气压效率和相关系数的畸变几乎不受降雨量的影响, 且随震中距离的变大, 畸变幅度越小。

为了定量研究有震时气压效率异常 (B_p') 与降雨干扰 (L')、地震震级 (M) 和震中距 (H') 的关系, 对这几个关系变量建立了多元线性回归模型, 采用最小二乘法计算得到适用于该井孔的地震预测模型方程。根据该方程模型可在今后的震情跟踪和预报工作中, 当流量出现明显变化时, 计算出流量相应的异常气压效率, 同时利用观测的降雨量即可对未来地震发生的时间、地点进行预测。其他流体观测井孔也可借鉴该方法, 并可结合其他观测手段的预测结果综合分析, 以期得到更好的预测效果。

参考文献

[1] 国家地震局地下水影响因素研究组. 地震地下水动态及其影响因素分析[M]. 北京:地震出版社,1985.

[2] 万迪望,汪成民,车用太. 地下水动态异常与地震短临预报[M]. 北京:地震出版社,1993.

[3] 车用太,鱼金子. 地下流体典型异常的调查与研究[M]. 北京:气象出版社,2004.

[4] 刘耀炜,范世宏,曹玲玲. 地下流体中短期异常与地震活动性指标[J]. 地震,1999,19(1):19-25.

[5] 王新,杨旭升,赵小茂,等. 周至井水位气压效率和相关系数在中强地震前的变化特征[J]. 华南地震,2007,25(2):15-19.

[6] 鱼金子,谷园珠,殷世林. 三口井水位的气压系数变化及其与地震关系初探[J]. 地震,1990,10(3):25-32.

[7] 耿杰,周斌,张昭栋. 深井水位气压效率和相关系数在中强地震前的变化特征[J]. 西北地震学报,2002,24(3):257-261.

[8] 李春城,张凤楼. 白城 ZK6 井水位气压效率异常与地震关系初探[J]. 地震,1990,10(2):50-54.

[9] 张昭栋,郑金涵,张广城,等. 承压井水位对气压动态过程的响应[J]. 地球物理学报,1989,32(5):539-549.