

付虹, 邬成栋, 赵小艳, 王庆良. 2014. 云南开远井水位异常分析. 地震学报, 36(2): 292–298. doi:10.3969/j.issn.0253-3782.2014.02.013.

Fu H, Wu C D, Zhao X Y, Wang Q L. 2014. Analysis on the anomaly of water level in Kaiyuan well, Yunnan. *Acta Seismologica Sinica*, 36(2): 292–298. doi:10.3969/j.issn.0253-3782.2014.02.013.

## 云南开远井水位异常分析<sup>\*</sup>

付 虹<sup>1),\*</sup> 邬成栋<sup>1)</sup> 赵小艳<sup>1)</sup> 王庆良<sup>2)</sup>

1) 中国昆明 650224 云南省地震局

2) 中国西安 710054 中国地震局第二监测中心

**摘要** 通过对开远井水位的分析,发现水位与降水有一定的相关性.当这种相关性消失后,井孔附近 300 km、400 km 和 500 km 内常有 5 级、6 级和 6.5 级以上地震发生.2009 年以来开远井水位出现了低值异常,这段时期异常与降水不完全相关,而井孔附近地区的 GPS 观测结果显示井孔处于构造活动的拉张区域.综合分析认为开远水位这个时期的持续低值异常,除有降水减少的因素外,可能与井孔附近地区的拉张活动关系更为密切.

**关键词** 开远井水位 异常分析 构造活动

doi:10.3969/j.issn.0253-3782.2014.02.013 中图分类号: P315.72<sup>+</sup>3 文献标志码: A

## Analysis on the anomaly of water level in Kaiyuan well, Yunnan

Fu Hong<sup>1),\*</sup> Wu Chengdong<sup>1)</sup> Zhao Xiaoyan<sup>1)</sup> Wang Qingliang<sup>2)</sup>

1) Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, China

2) Second Crust Monitoring and Application Center, China Earthquake Administration, Xi'an 710054, China

**Abstract:** By analyzing observations of water level in Kaiyuan well, Yunnan, China, it is found that there exist some correlations between the water level in Kaiyuan well and the precipitation in its adjacent areas. After the disappearances of these correlations, there always are earthquakes greater than 5 (6 or 6.5) happened within a radius of 300 km (400 or 500 km) near the Kaiyuan well. The low-water level anomalies in Kaiyuan well, having been appearing since 2009, are not entirely relevant with precipitation in the same period. Comprehensive analysis results indicate that the persistent low-water level anomalies in Kaiyuan well in this period are correlated with recent regional extensional tectonic activity to a certain degree, deduced from GPS observations in 2009–2010, besides the precipitation reduction.

**Key words:** water level in Kaiyuan well; anomaly analysis; tectonic activity

\* 基金项目 云南省人民政府“十项措施”监测预报项目(JCYB-20080601-5)资助.

收稿日期 2012-12-12 收到初稿, 2013-12-06 决定采用修改稿.

† 通讯作者 e-mail: ynfuhong@tom.com

## 引言

由于地下水具有普遍性、流动性与难压缩性的特点, 当其形成具有一定封闭条件的承压系统时, 就能够客观地、灵敏地反映地壳应力应变的状态. 含水层的应力应变都会引起地下水微动态变化, 因此可以通过地下水微动态观测, 研究含水岩体受力、变形、破坏过程等现象(汪成民等, 1988). 地震前应力场的变化致使地壳的岩体产生变形, 震前地下水对地震很敏感(陈运泰, 2005). 在较多的大地震前已观测到井水位的变化. 例如, 唐山、海城、渤海等地震前均出现了井水位降低的现象(马宗晋等, 1982); 孟连地震前距离震中 25 km 的双江井于震前半年多在没有降水的情况下出现水位趋势上升, 距离震中 115 km 的景谷井在震前 20 天出现突升(付虹等, 1997); 汶川地震前, 四川泸州井水位出现趋势上升(陈立德, 付虹, 2011)等. 大量的震例表明在许多地震前可以观测到井水位的异常变化, 因此井水位观测一直被看作是用于地震预测、预报的有效手段之一. 2009 年以来云南地区降水量为 50 年来最低, 出现了干旱现象(林辉等, 2011), 较多的井水位也出现了观测以来的最低值. 这些井水位的低值现象究竟是降水减少造成的, 还是与构造活动引起的岩体应力、应变状态改变有关? 这些问题关系到对震情的判断, 因此分析这些低水位形成的机制尤为重要. 本文以云南开远井为研究对象, 通过降水、构造活动特征等与水位的相关性分析, 探讨形成开远井近期低水位异常的机制.

## 1 开远观测井概况

开远井位于开远溶蚀断陷盆地北部, 开远市北郊十里村. 开远盆地主要是第四系全新统地层, 由沙、砾、黏土、沙质黏土、局部夹泥炭等构成(图 1a), 面积约 40 km<sup>2</sup>, 地势平坦, 四周山地环绕. 盆地中主要为第四系孔隙含水层和岩溶含水层. 第四系含水层埋藏浅, 直接出露地表, 接受大气降水补给; 岩溶水在盆地埋藏很深, 位于区域地下水深埋径流区, 主要受东山区降雨渗入补给<sup>①</sup>. 从地质构造图(图 1b)上可见, 井孔西侧 10 km 左右有个旧断裂通过, 开远井深 224 m, 观测段为 96—224 m, 属岩溶裂隙承压水, 含水层为古生带石炭系灰岩. 井孔构造从 50—90 m 左右有断层碎屑物, 估计是断裂穿过了井孔(图 1a).

开远井水位为静水位观测, 年变动态清楚, 具有雨季上升、旱季下降的特征, 属降雨渗透补给型. 该井水位对地壳应力应变响应比较灵敏, 能记录到井潮效应, 最大潮差 132 mm; 也能记到地震波、列车运行载荷的影响(万登堡, 1994).

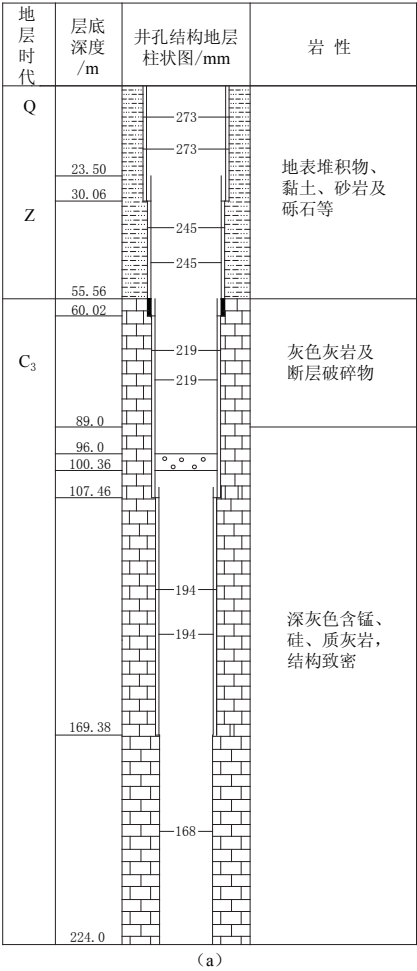
## 2 井水位变化与降水相关性分析

### 2.1 井水位变化与降水关系

开远井水位从 1985 年 6 月开始观测, 至今已有 20 多年的资料. 通过降水与井水位关系定性分析, 发现当降水月累计值大于 50 mm 后, 井水位有明显的上升变化, 表明该井水位与降水之间关系较为密切(图 2).

另一方面从年降水和水位观测月均值曲线可见(图 3), 开远井水位除降水影响外, 还有其它因素影响的变化规律, 如 1995—1999 年测值就整体比 1994 年以前要高, 而这段时

<sup>①</sup> 云南省地质局第十五地质队, 1980. 区域水文地质普查报告.



间先后发生了丽江  $M_s7.0$  和武定  $M_s6.5$  等地震,表明开远井水位除与降水关系明显外,还可能反映了构造活动的信息. 从图 3 可见,开远井水位的非降水影响变化与地震的关系更为密切. 2010 年的降水比 2009 年多,2009 年雨季井水位还有上升,而 2010 年一直是持续下降,从以往的图像看,这种下降不完全是降水减少造成的.

2.2 年降水量与年水位变化量的相关性分析

用年降水量与水位的年幅差,即降水上升的最大值减当年的最低值,作相关分析,可以拟合得到方程

$$Y = 1.46548X \pm 677.987, \tag{1}$$

式中,  $Y$  为水位测值的年幅差,  $X$  为降水年累计值,

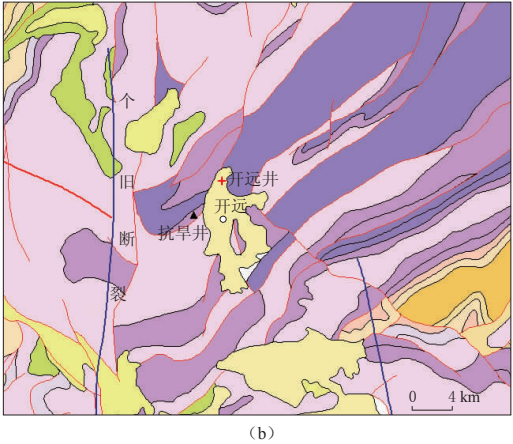


图 1 开远井孔柱状图(a)及附近地质构造图(b)

Fig.1 Columnar section for Kaiyuan well (a) and geological structure near Kaiyuan well (b)

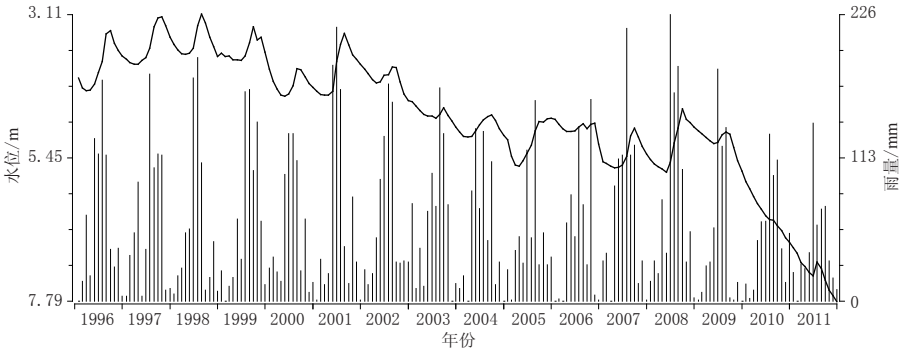


图 2 开远井水位月均值与月降水时间进程曲线

Fig.2 Monthly mean water levels and precipitations in Kaiyuan well

1 倍方差  $\sigma=413.66$ .

从图 4 可见,1986,1994,1996,2001,2005 和 2010 年的水位幅差与降水在 1 倍方差

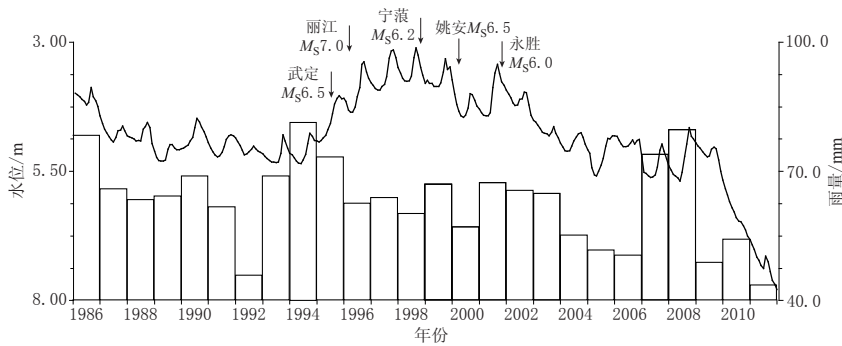


图 3 开远井水位月均值与年降水时间进程曲线

Fig. 3 Monthly mean water levels and average annual precipitations in Kaiyuan well

线以外. 如果把其视为异常, 发现出现异常后 2 年内在开远井 500 km 范围内均会有  $M_s \geq 5.5$  地震发生. 特别是邻近的滇西南地区发生地震的对应率达到了 83%, 而其中  $M_s \geq 6.5$  地震发生的对应率达到了 67%. 其中只有 1996 年出现异常, 其后 1997 年滇西南仅发生了  $M_s 5.6$  地震, 2001 年出现异常后当年 10 月永胜发生了  $M_s 6.0$  地震(表 1).

从图 3 和图 4 可见, 开远井水位 2009—2010 年的低值异常变化不完全是降水减少造成的.

2.3 开远井附近近期的抽水井孔调查

虽然影响井水位观测的因素很多, 但井水位观测大幅度的持续低值与降水无关. 通常情况下有两种可能性最大: 一是由观测井附近其它井抽水引起, 二是由构造活动引起. 笔者首先调查了开远市的抗旱打井抽水情况. 自 2009 年以来云南

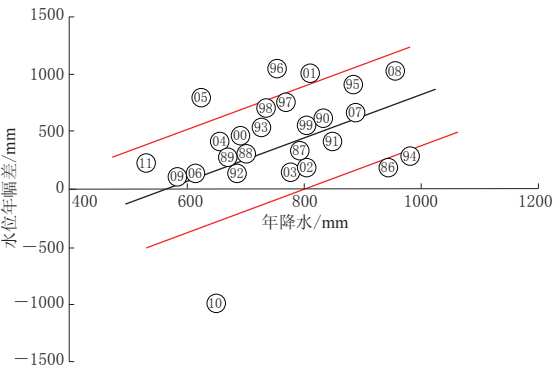


图 4 开远井降水与水位年幅差变化示意图

图中圆圈内数字表示年份的后两位数, 如“96”表示 1996 年, “01”表示 2001 年. 以此类推  
Fig. 4 Comparison of precipitation with annual amplitude change of water level  
The numbers in circles mean the last two digits of the years, for example, “96” means 1996, “01” means 2001, and so on

表 1 开远井水位测值与降水量相关异常年份及其所对应的地震

Table 1 The earthquakes occurred in Yunnan at the years when abnormal water level was correlated with precipitation

序号	异常年份	对应地震	震中距/km
1	1986	1988-11-06 澜沧、耿马 $M_s 7.6$ 、 $M_s 7.2$	375
2	1994	1995-07-12 孟连西 $M_s 7.3$	470
3	1996	1997-01-31 景洪 $M_s 5.6$	240
4	2001	2001-10-27 永胜 $M_s 6.0$	390
5	2005	2007-05-16 老挝 $M_s 6.6$ 2007-06-03 宁洱 $M_s 6.4$	430 240
6	2010	2011-03-24 缅甸 $M_s 7.2$	480

干旱严重，红河州打了上百眼机井进行抗旱救灾，其中也不乏深井，但通过详细排查，开远盆地里没有抗旱井，与开远井距离最近的 1 口井，在其西南的山地里，距其 5 km，其它的井距离观测井的距离均在 20 km 以外，结合图 1 分析，所有的抗旱井与观测井均处于不同的水文地质单元，根据地震台站观测环境技术要求(中国地震局，2004)的规定，这些井对观测井的影响是不存在的，经调查距离开远井最近的井(5 km)，井深 211 m，与观测井深度相差不大，但该井每天抽水仅 15 m<sup>3</sup>，水位下降 0.66 m，按照地震台站观测环境技术要求(中国地震局，2004)，地下流体观测中同一水文地质单元内抽水影响半径  $R$  值的经验公式为

$$R = 10S_w \cdot K^{1/2}, \tag{2}$$

式中， $R$  为影响半径(单位：m)， $S_w$  为抽水井水位下降值(单位：m)， $K$  为渗透系数(单位：m/d)。

该井给出的渗透系数  $K=0.2803$  m/d，计算结果  $R=3.6$  m，表明该井抽水影响范围甚小，就是 2 眼井在同一水文地质单元，该井的抽水也影响不到开远井，从开远井的观测数据分析，也未发现有抽水影响的突降变化，因此认为该井每天 15 m<sup>3</sup> 的抽水量影响范围远远小于 5 km，故排除了开远井的水位下降是由抽水引起的。

3 开远井附近近期构造活动特征

构造活动也有可能是造成水位下降的因素之一，因为前兆异常和地震都是区域应力水平增强的产物(陈立德，1996)，因此当开远井水位年幅差变化出现异常时，也有可能表明区域应力状态发生了变化。

中国地震局第二监测中心 2009—2010 年的 GPS 观测解算结果显示，个旧断裂东侧的运动速率大于西侧，开远观测井正好位于个旧断裂的东侧，井孔所处的区域在这段时间处于拉张活动(图 5)。

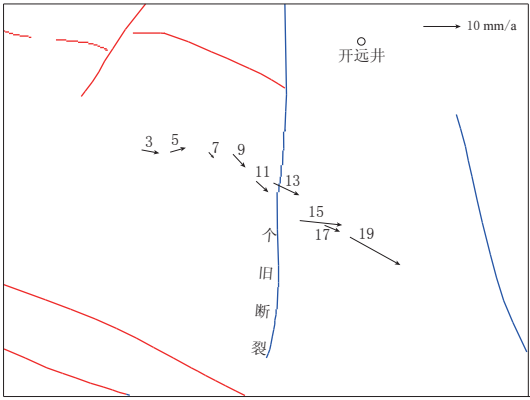


图 5 个旧断裂两侧 GPS 观测运动速率变化示意图

图中数字表示观测点位置

Fig. 5 Velocity at two sides of Gejiu fault  
obtained by GPS observation

Numbers in the figure denote the observation point locations

如果岩层被挤压，则岩层的孔隙率变小，孔隙水压增大，水流由含水层向井孔流动，

从而使水位上升;相反,如果岩层被引张,则岩层的孔隙率变大,孔隙水压变小,水流由井孔返回含水层,致使水位下降(刘耀伟等,2010)。据此分析认为,开远井水位从2009年开始下降,有降水减少的因素,同时以拉张为主的构造活动的影响也起了一定的作用。

## 4 讨论与结论

开远井的水位变化直接受到降水的影响,当月累计降水量大于50 mm后,井水位即可上升。从观测以来的变化曲线可以看到,除受降水影响外,开远井水位还有其它的影响因素,如武定、丽江地震前的井水位上升。这种与降水不相关的变化,似乎与地震的关系更为密切。

该井孔观测范围较大,深度为96—224 km。该井的井水位有可能是由多个因素共同影响,地表水的补给是一方面,地壳应力应变的影响也是存在的。由于影响水位变化的因素较多,给分析带来了一定的难度。

开远井水位的年变化幅差与年降水量有一定的相关性,当水位年幅差变化与年降水量偏离多年均值的1倍方差线后,次年300 km范围内发生5级、400 km范围内发生6级、500 km范围内发生6.5级以上地震的对应率较高,特别是发生在滇西南地区的地震,其对应率可大于80%。这可能反映了开远井水位与滇西南地区区域应力状态具有较好的相关性。

开远井近期水位持续低值异常变化,与同期的降水不完全相关。而2009—2010年井孔附近地区GPS观测结果显示开远井处于拉张活动区域,分析认为开远井水位这段时间的持续低值异常变化,除与降水减少因素有关外,与区域近期的拉张活动也有一定的相关性。

## 参 考 文 献

- 陈立德,郭大庆,付虹,毛可. 1996. 孕震系统宏观层次的单元体应力水平群体涨落模型[J]. 高原地震, 8(2): 1-9.
- Chen L D, Guo D Q, Fu H, Mao K. 1996. Swarm fluctuation model of unit stress level from macro-layer of seismogenic system[J]. *Plateau Earthquake Research*, 8(2): 1-9 (in Chinese).
- 陈立德,付虹. 2011. 汶川8.0级地震前兆异常对比研究[J]. 内陆地震, 24(4): 289-297.
- Chen L D, Fu H. 2011. The contrast study of Wenchuan M8.0 earthquake precursor anomalies[J]. *Inland Earthquake*, 24(4): 289-297 (in Chinese).
- 陈运泰. 2005. 地震预报战略研究会上的发言[J]. 国际地震动态, (5): 34.
- Chen Y T. 2005. Speech on the strategy seminar of earthquake prediction[J]. *Recent Developments in World Seismology*, (5): 34 (in Chinese).
- 付虹,陈立德,罗平,杨杰英,张立,刘翔,李永强,刘仲全,沈斌,王世芹. 1997. 1995年7月12日云南孟连中缅边界7.3级地震中短临预报及前兆异常特征[J]. 地震研究, 20(4): 354-356.
- Fu H, Chen L D, Luo P, Yang J Y, Zhang L, Liu X, Li Y Q, Liu Z Q, Shen B, Wang S Q. 1997. Medium-short-impending prediction and precursory anomalous characteristics on earthquake of M7.3 on July 12, 1995 in border area between China Yunnan's Menglian and Burma[J]. *Journal of Seismological Research*, 20(4): 354-356 (in Chinese).
- 林辉,顾宁杰,林佳霓. 2011. 云南降水与 $M \geq 6$ 地震关系初步分析[J]. 地震研究, 34(4): 428-434.
- Lin H, Gu N J, Lin J N. 2011. Preliminary analysis of correlation between precipitation and  $M \geq 6$  earthquakes in Yunnan[J]. *Journal of Seismological Research*, 34(4): 428-434 (in Chinese).

- 刘耀炜, 陆明勇, 付虹, 黄辅琼, 李胜乐. 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: 39-40.
- Liu Y W, Lu M Y, Fu H, Huang F Q, Li S L. 2010. *Dynamic Information Extraction and Strong Earthquake Prediction Technique Research of Groundwater*[M]. Beijing: Seismological Press: 39-40 (in Chinese).
- 马宗晋, 傅征祥, 张郢珍, 汪成民, 张国民, 刘德富. 1982. 中国九大地震[M]. 北京: 地震出版社: 98-102.
- Ma Z J, Fu Z X, Zhang Y Z, Wang C M, Zhang G M, Liu D F. 1982. *Nine Big Earthquakes in China*[M]. Beijing: Seismological Press: 98-102 (in Chinese).
- 万登堡, 王家彬, 刘国寿. 1994. 列车荷载作用对某些前兆观测的影响[J]. 地震, **33**(3): 91-94.
- Wang D B, Wang J B, Liu G S. 1994. Influence of the train's loading on some precursory observation[J]. *Earthquake*, **33**(3): 91-94.
- 汪成民, 车用太, 万迪埜, 董守义. 1988. 地下水微动态研究[M]. 北京: 地震出版社: 3-4.
- Wang C M, Chen Y T, Wang D K, Dong S Y. 1988. *Research of Groundwater Micro-Behavior*[M]. Beijing: Seismological Press: 3-4 (in Chinese).
- 中国地震局. 2004. GB/T 地震台站观测环境技术要求[S]. 北京: 中国标准出版社: 61-62.
- China Earthquake Administration. 2004. *Technical Requirement for Observation Environment to GB/T Seismic Stations* [S]. Beijing: Standards Press of China: 61-62 (in Chinese).