

# 建水地下流体监测井水位骤降异常分析\*

陈亮<sup>1</sup>, 丁富雄<sup>2</sup>, 张蕾<sup>2</sup>, 付虹<sup>3</sup>

(1. 云南省建水县地震局, 云南 建水 654300; 2. 云南省红河州地震局, 云南 蒙自 6511992;  
3. 云南省地震局, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 2012年2月底至4月上旬, 建水县地下流体监测站监测井水位出现了幅度近8 m的显著下降变化。通过对该监测井与石屏—建水断裂带观测井同期水位进行对比分析, 排除了监测井水位骤降异常是由构造活动引起的可能性。同时, 调查了周边的抽水井, 运用水文地质分析方法, 结合当地水文地质情况, 确定该监测井水位骤降异常是由附近的井孔抽水引起。充分了解当地的水文地质情况, 根据地下水的运移规律, 结合实地调查, 可以对地下水异常给出相对合理的解释, 并进一步判断地下水异常是否是构造活动引起的地震异常。

**关键词:** 井水位; 水文地质; 地下水开采

**中图分类号:** P315.723

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2012)04-0471-06

## 0 引言

地下水可以客观地反应地壳应力应变的变化情况(汪成民等, 1988), 因此地下水观测被广泛应用于地震预测预报(国家地震局科技监测司, 1995), 但引起地下水变化的因素很多, 不仅包括地壳应力应变发生, 还有其它许多影响因素(陈亮等, 2010), 因此在地震预测预报的地下水应用中, 确认引起地下水变化是否由构造活动引起, 尤为重要。

2012年2月底至4月上旬, 建水地下流体监测井(以下简称监测井)水位骤降, 降幅近8 m。出现如此巨变, 是重大地震前兆异常还是另有原因? 针对这个问题, 笔者首先对当地和周边市(县)观测井的数据进行全面的分析检查。同时, 调查核实了监测井周边1.5 km范围内的机井抽水、建筑施工和地下灌浆情况, 并运用水文地质方法进行分析判断(王大纯, 2005)。

## 1 监测井及水位异常基本情况

建水地下流体监测井于1984年钻成, 开口口径194 mm, 终孔口径127 mm, 井深300.37 m, 井口高程1331 m。井孔揭穿的地层分别为: 0~11.0 m, 第

四系(Q<sup>4</sup>)砂质粘土; 11.0~162.65 m, 第三系(N)半胶结砂砾岩、泥岩互层为主的冲、湖积层; 162.65~300.37 m, 石炭系(C<sub>1y</sub>)白云质灰岩, 局部破碎, 裂隙较发育, 有明显的溶蚀现象。

该井于1994年10月26日首次架设SWZ-1A型数字式温度计进行观测, 2008年12月26日因仪器老化、数据失真停测。2011年8月28日进行洗井、清淤后(实际井深231.96 m), 更换DRSW-1型地热水位综合观测仪, 重新进行观测。现有水位和水温两个测项, 水温探头放于井口下225.94 m, 水位探头放于井口下38.17 m。

2012年2月24日该井观测水位在37 m左右(图1)。2月25日10时起水位以平均30 cm/d的速度骤降, 至3月12日达到40.77 m(实测水位), 降幅超过3 m, 导致水位探头悬空。工作人员及时

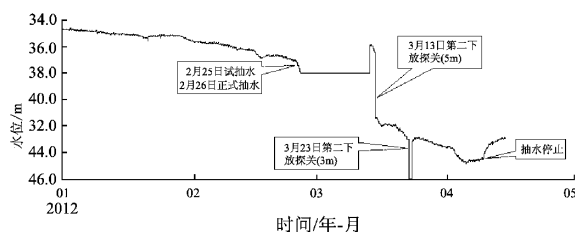


图1 监测井水位整点值曲线

Fig. 1 Hour value curve of the water level in the monitoring wells

\* 收稿日期: 2012-05-03.

基金项目: 云南省人民政府十项措施监测预报(JCYB-20080601-05)项目资助。

将探头下放 5 m，继续观测，此后几天水位仍以较快速度下降。一周后水位探头又悬空，再放下 3 m，水位降至 44.5 m 左右才基本稳定。从 2 月 28 日至 4 月 5 日，35 天内观测井水位下降了近 8 m。

2 监测井水位异常成因的调查与分析

建水县地处川滇菱形块体南端，构造复杂，是一个地震多发的地区，特别是北部的曲江断裂、中部的石屏—建水断裂对建水县的区域稳定影响巨大。因此笔者首先重点对比分析了位于这两条断裂带上和周边市（县）井孔的水位观测数据（图 2）。

2.1 周边观测井水位对比分析

如果是构造活动引起的水位突降，有可能在建水附近的断裂带或观测井上观测到相似的变化特征，因此笔者对比分析了相同时段内相关井孔的观测资料。

(1) 建水黄龙寺井水位、水温

位于石屏—建水断裂带上的建水黄龙寺井水位正常动态为年变型，与降雨量相关，雨季上升，旱

季下降。同井观测的水温，其正常动态也为年变型，雨季下降，旱季上升，与水位呈负相关（图 3）。

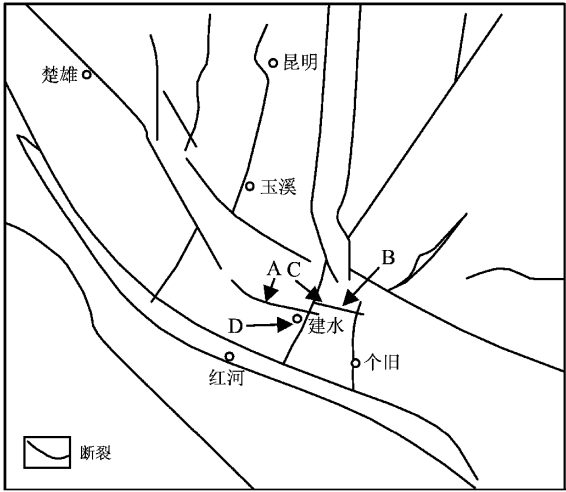


图 2 建水及周边区域构造和井孔分布示意图  
(a) 黄龙寺井；(b) 曲江井；(c) 高大井；(d) 监测井  
Fig. 2 Regional structure and distribution of borehole in Jianshui and its surrounding area

(a) Huanglong Temple well; (b) Qujiang well; (c) Gaoda well; (d) monitoring well

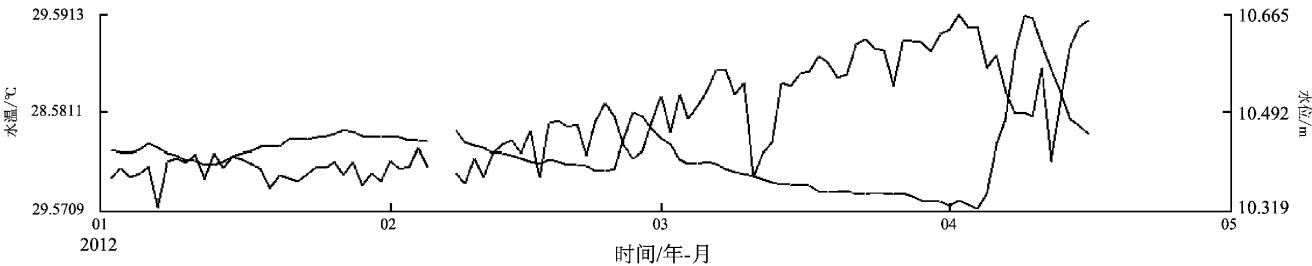


图 3 黄龙寺井水位、水温日均值曲线图

Fig. 3 Daily mean value curve of water level and water temperature in Huanglong Temple well

从图 3 可见，2011 年 11 月至 2012 年 4 月初，黄龙寺井水位总体呈下降趋势，降幅为 0.3 m，与本地区跨年的旱情相吻合，没有出现大幅度的水位骤降异常，对比观测的水温也可得出相同的结论。2012 年 4 月 6 日，当地降雨，黄龙寺井水位也随之上升，至 4 月 10 日升幅达 0.4 m 以上。4 月 6 日以后，井孔水位正好处于上升阶段（月变）。月变与降雨导致涨幅叠加，造成 0.4 m 的水位变化。

(2) 建水曲江井水位

由图 4 可见位于曲江断裂带上曲江井，2012 年以来的水位观测动态变化也没有发现骤降异常。

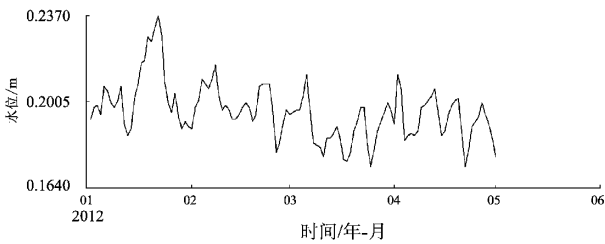


图 4 曲江水位日均值曲线  
Fig. 4 Daily mean value curve of water level in Qujiang well

(3) 通海高大水位

由图 5 可见，位于曲江断裂带上的通海高大井

水位有小幅下降，从 2012 年 1 月到 3 月中旬降幅累计达 0.2 m，应属旱季水位的正常下降，没有突降异常。

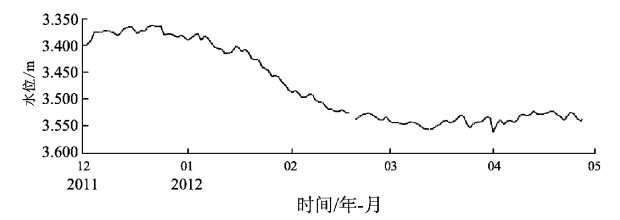


图 5 高大水位日均值曲线  
Fig. 5 Daily mean value curve of water level in Gaoda well

笔者还对比了大姚、南华、峨山、弥勒、元江、易门、开远井的观测资料，认真分析了与建水监测井水位骤降时段（2012 年 2 月底至 3 月底）的同期变化，基本排除了构造活动相关的可能。易门、开远水位连续几年持续下降，有可能是近年的干旱所致（林辉等，2011），也可能是另一种异常，但本文主要是针对监测井的突降进行讨论，在此不进行分析。

当构造活动引起水位观测微动态异常时，同一构造上有可能观测到地下水的宏观异常（国家地震局预测预报司，1997），近期，在建水县宏观联络网中，也未接到任何与地下水相关的宏观异常的报告。

根据上述分析，基本排除建水监测井水位骤降是由构造活动引起的。

2.2 邻近抽水井、建筑施工和地下灌浆情况调查  
排除了构造活动的影响，监测井水位骤降可能是人为活动造成的。为探究原因，笔者对建水城区的井孔情况进行了详细的调查、分析。

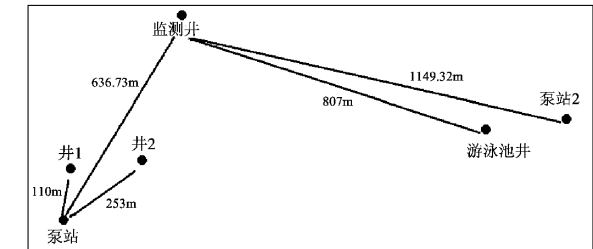


图 6 观测井与抽水井相对位置示意图  
Fig. 6 The sketch map of relative position of monitoring wells and pumping wells

调查发现，以建水监测井为中心 1.5 km 范围内还有 5 口机井，其中有两口井未使用（未标出），两口井间歇抽水（游泳池井和泵站 2 井），一口井（泵站井）从 2 月底开始持续抽水。2 月中旬，监测井旁 60 m 外开始进行艺术体育馆的建筑施工，主要是地面钢结构安装，对地下水位无影响；监测井周围 1.5 km 范围内未发现地下灌浆作业。

2.3 抽水井基本情况

（1）游泳池井：井口高程 1 311 m，距观测井 807 m。开孔口径 383 mm，终孔口径 273 mm，井深 130.79 m，井孔揭穿的地层分别为：0 ~ 1.0 m，第四系（Q<sup>4</sup>）砂质粘土；1.0 ~ 39.00 m，第三系（N）泥岩砂质含砾石粘土层互层；39.00 ~ 130.79 m，石炭系（C<sub>1y</sub>）灰岩，局部破碎，裂隙较发育，有明显的溶蚀现象。溶蚀新鲜面多见，填充物少见。

抽水实验结果：井水位降幅 8.77 m、涌水量 33.10 L/s、含水层渗透系数 12.39 m/d。

（2）泵站 2 井：井口高程 1 309 m，距观测井 1 149.23 m。开孔口径 500 mm，终孔口径 273 mm，井深 201.10 m，井孔揭穿的地层分别为：0 ~ 2.74 m，第四系（Q<sup>4</sup>）砂质粘土；2.74 ~ 44.09 m，第三系（N）泥岩、砂质含砾石粘土层；44.09 ~ 201.10 m，石炭系（C<sub>1y</sub>）灰岩及灰质白云岩，溶蚀强烈，溶孔、溶洞较多，岩芯多呈碎块状或短柱状。

抽水实验结果：井水位降深 19.70 m、涌水量 38.89 L/s、含水层渗透系数 11.4 m/d。

（3）泵站井：井口高程 1 311 m，距观测井 636.73 m，为 3 口井（A、B、C）组成的井群，井间间距 15 m，呈“品”字状展布。A 井：开孔口径 529 mm，终孔口径 225 mm，井深 230.56 m；B 井：开孔口径 529 mm，终孔口径 225 mm，井深 200.00 m；C 井：开孔口径 529 mm，终孔口径 225 mm，井深 230.00 m。井孔揭穿的地层分别为：0 ~ 14 m，第四系（Q<sup>4</sup>）砂质粘土；14 ~ 129 m，第三系（N）泥岩、砂质含砾石粘土层；129 ~ 230.56 m，泥盆系上统（D<sub>3t</sub>）灰岩及灰质白云岩，局部破碎，裂隙较发育，有明显的溶蚀现象。岩溶发育。

抽水实验结果：井水位降深 5.32 m、涌水量

32.03 L/s、含水层渗透系数 24.16 m/d。

在监测井的西南部约 400 m 处还有两口潜水井：“小节井”（井 1）和“大坂井”（井 2）。两口井与泵站井的距离分别是 110 m 和 252 m（图 3）。

## 2.4 水文地质概况

建水县域内地下水有松散堆积层孔隙水、碎屑岩裂隙孔隙层间水、碳酸盐岩裂隙溶洞水和基岩裂隙水 4 种类型，并普遍存在于土壤及各类岩层中。建水盆地因地形较低利于水流汇集且下伏岩层为可溶性较好的碳酸盐岩（泥盆系、石炭系的灰岩、白云质灰岩），是碳酸盐岩裂隙溶洞水和基岩裂隙水很好的赋存空间，从地下水补给、径流、排泄的区段上看，建水盆地还是裂隙溶洞水的排泄区，使得这一区域成为建水县境内最好的富水块段和水源地。

监测井、泵站井、游泳池井、泵站 2 井均处于盆地的富水块段中，属同一水文地质单元。

## 3 监测井与抽水井相关性调查分析

### 3.1 水文地质的相关性

从 2011 年 11 月起，县域内就没有有效的降水，水库干涸、河水断流，干旱严重，2012 年旱情持续。为解决饮水问题，抗旱保民生，2012 年 2 月底隶属县自来水公司的泵站井和泵站 2 井开始抽取地下水以保证城区居民用水。抽水时间内 2012 年 2 月 26 日至 4 月 9 日。

地下水开采将导致同一水文地质单元内抽水井附近一定范围内水位下降，形成降落漏斗。在漏斗范围（影响半径）内的所有井孔都将受到影响。因此，我们运用水文地质方法分别计算出游泳池井（隶属乡镇企业）、泵站 2 井和泵站井抽水时的影响半径，以此分析监测井与抽水机井的相关性。

采用承压水完整井公式计算渗透系数（房佩贤，1996）

$$K = \frac{0.366Q(\lg R - \lg r_w)}{MS_w} \quad (1)$$

式中： $K$  为渗透系数（m/d）； $Q$  为抽水井涌水量（m<sup>3</sup>/d）； $M$  为含水层厚度（m）； $S_w$  为抽水井水位下降值（m）； $R$  为影响半径（m）； $r_w$  为抽水井半径（m）。

渗透系数  $K$  值通常通过对井孔进行抽水实验获取。本文引用前人工作成果<sup>①</sup>：游泳池井渗透系数为 12.39 m/d，泵站 2 井为渗透系数 11.4 m/d，泵站井渗透系数为 24.16 m/d。

采用吉哈尔特经验公式计算影响半径  $R$  值（《供水水文地质手册》编写组，1977）

$$R = 10S_w \sqrt{K} \quad (2)$$

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

结果显示游泳池井一周抽水一天（已持续多年），水位降幅 9.2 m，影响半径 323.84 m；泵站 2 井间歇式抽水，水位降幅 15.5 m，影响半径 523.34 m；泵站井井群持续抽水，水位降幅 19.6 m，影响半径 963.40 m。泵站井和泵站 2 井每天抽水量约 8 000 m<sup>3</sup>，其中泵站井约 6 000 m<sup>3</sup>。

比较 3 个抽水井与监测井的距离，可以确定建水监测井在泵站井的影响半径内。

吉哈尔特经验公式对承压水含水层，可以作近似的计算，但计算的结果一般偏小<sup>②</sup>，多位专家学者也对这个经验公式提出过相同的见解和讨论。因此，实际中影响半径将大于计算值。考虑到计算误差，我们尝试把计算结果扩大 1.5 倍再作比较。重新计算后的结果是：游泳池井的影响半径 485.76 m（距监测井 807 m）；泵站 2 井的影响半径 785.01 m（距监测井 1 149.23 m）；泵站井的影响半径 1 445.10 m（距监测井 636.73 m）。只有泵站井对监测井有影响。

### 3.2 监测井水位变化与泵站井抽水的相关性分析

通过抽水影响范围的分析，笔者重点考察泵站井的抽水情况。在地下水抽取的整个过程中有 3 个关键点：开始时间、稳定时间和停止时间，在水位观测曲线上清楚地看到这 3 个关键点（图 3）。

① 云南省地质矿产局水文工程地质公司. 1983. 建水盆地农田供水水文地质普查报告.

② 钱学博. 2009. 矿井涌水量的计算与评述.

2012年2月25日,观测水位明显下降,之后呈持续的快速下降态势直至4月5日降至最低点并在此后的几天一直保持这一水位,达到动态平衡。4月9日15时后水位出现明显的趋势性上升。

据自来水公司提供的资料:2月25日10时起,水泵试抽水,2月26日9时起正式抽水,直到4月9日15时结束。

对比观测曲线和自来水公司提供的资料,抽水过程与监测井水位变化在开始时间、稳定时间和停止时间这3个关键点上几乎完全吻合,有着高度的一致性。

### 3.3 井1、井2水位无异常的原因分析

井1(小节井)和井2(大坂井)与泵站井的距离很近,分别是110 m和252 m(图3),处在降落漏斗的影响半径内。但在泵站井抽水期间两口井水位几乎不变,没有受影响。

井1井径约2 m,井深20.65 m(1981年实测结果,现已大部分淤积回填,现在井深约5 m),据调查报告,1981年最枯季节静水位4.5 m,在每天有数千人连续挑水的情况下,动水位仅6.4 m。大旱之年能供远近数千人饮用,估计涌水量1 L/s。

据前人勘查资料<sup>①</sup>,第三系(N)分布于城区附近以西、以北地区,面积96.6 km<sup>2</sup>。岩性以泥岩为主,砂砾石层夹在其中。地下水以裂隙水和孔隙水的形式贮存。钻孔揭露这一地区第三系厚360.1 m,砂砾石层含水层厚169.89 m,地下水蕴藏丰富。但是,这并非是该井水位稳定的主要原因。由于第三系中隔水泥岩的存在且与砂砾石层含水层互层,因此水平方向各向同性和垂直方向各向异性就成为第三系地层的一个重要特征并由此阻断了与下伏岩层的水力联系,使之成为一个独立的水文地质单元。也就是说井1与泵站井分处两个完全不同的水文地质单元,井1取用的是砂砾石层中的孔隙水<sup>①</sup>,泵站井取用的是碳酸盐岩中的裂隙溶洞水,两者之间没有水力联系互不影响。这就是井1水位稳定的根本原因。

井2与井1属同一水文地质单元,两口井的情况几乎一样,因此水位稳定的原因也相同。

经现场调查,2012年3月27日这两口井水位稳定。当地居民证实,没有看到任何变化。井1和

井2稳定的水位,也证实了监测井水位大幅度骤降是非构造活动的影响。

建水黄龙寺井,虽然同在建水县域内,但因为其不在建水盆地的富水块段中,与一中井和其它抽水井不属于同一水文地质单元,因此抽水对该井没有造成的影响。

## 4 认识与讨论

(1) 通过调查分析,监测井周边断裂带上的观测井水位没有明显变化;民用井水位也处于正常状态,没有宏观异常;抽水井的抽水过程与观测井水位变化密切相关,有很好的“呼应”。据此分析认为监测井水位大幅度骤降是由泵站井大量抽取地下水所致,属人为干扰,不是由构造活动引起的,与地震前兆异常无关。

(2) 当井孔抽取地下水时,会在抽水井周围一定范围内造成水位下降,形成降落漏斗。在漏斗范围(影响半径)内的所有监测井都将受到影响,影响的大小与抽水井的距离成反比;如果有两口或以上的观测井出现水位骤降,应注意井孔是否处于同一水文地质单元,是否处于抽水井的影响半径内。

(3) 如果个别监测井出现水位骤降,而其它水文地质单元的井孔并没有相应变化,可以基本确定是人为干扰,可能性最大的就是相邻井孔抽水干扰,可排除地震异常的可能性。

(4) 在缺乏水文地质资料和其他判定依据时,监测井水位变化是否与抽水井相关,需要注意以下3个时段:抽水时看水位下降;“平衡”时(水位不会一直下降,当补给可以满足抽取时,水位就会停止下降,达到动态平衡状态)看水位稳定;停止(或减少)抽水时看水位上升。需要说明的是监测井与抽水井的水位变化有“滞后效应”,并非完全同步。滞后的时间因渗透系数、径流模量、给水度、距离等的不同而异。

(5) 陈运泰(2005)、付虹等(2003)认为地下水对地震很敏感,震前地下水发生的异常变化,是一种很重要的地震前兆现象,是预测预报地震的重要手段之一。但其关键是对异常的准确识别,

① 云南省地质矿产局水文工程地质公司. 1983. 建水盆地农田供水水文地质普查报告.

因为很多地下水异常与地震无关。了解当地的水文地质特征，掌握地下水运移的规律，是准确识别地下水异常的必要途径；地下水有自身的运移规律，水文地质方法就是对这一规律的认识和把握。

(6) 干旱及地下水开采等都会导致地下水位下降，但下降的方式不同。一般而言，干旱引起的下降为一定时间段的缓降并没有阶梯变化。而地下水开采引起的下降为某一时间段的陡降，为明显的阶梯变化，这些区别从水位观测曲线上可直接判断。

(7) 在云南省旱情严重的背景下，地下水将被大量开采，从而引起多地多个地震监测井受到干扰。本文分析排除干扰的方法可以为地下水异常落实提供一定的借鉴。

参考文献：

陈亮,付虹,邹金明. 2010. 水文地质分析方法在建水区域地下水宏观异常分析中的应用[J]. 地震研究,33(2):176-182.

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.

房佩贤. 1996. 专门水文地质学[M]. 北京:地质出版社.

付虹,万登堡,张立. 2003. 云南地区地震宏观异常特征研究[J]. 地震研究,26(3):209-216.

《供水水文地质手册》编写组. 1977. 供水水文地质手册[M]. 北京:地质出版社.

国家地震局科技监测司. 1995. 地震地下水手册[M]. 北京:地震出版社.

国家地震局预测预报司. 1997. 地震宏观异常预报方法[M]. 北京:地震出版社.

林辉,顾宁杰,林佳宽. 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.

汪成民,车用太,万迪埏,等. 1988. 地下水微动态研究[M]. 地震出版社.

王大纯. 2005. 水文地质学基础[M]. 北京:地质出版社.

Analysis of Water Level Anomaly in Subsurface Fluid  
Monitoring Well in Jianshui

CHEN Liang<sup>1</sup>, DING Fu-xiong<sup>2</sup>, ZHANG Lei<sup>2</sup>, FU Hong<sup>3</sup>

- (1. Seismological Bureau of Jianshui County in Yunnan, Jianshui 654300, Yunnan, China)
- (2. Seismological Bureau of Honghe Prefecture in Yunnan, Mengzi 661100, Yunnan, China)
- (3. Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract

The water level of monitoring well dropped with the range nearly 8 meters, which was recorded by Subsurface Fluid Monitoring Station in Jianshui from at the end of Feb. to early Apr. in 2012. We compared the water levels of monitoring wells in Jianshui and around the Shiping-Jianshui Fault Zone on the same period, and found that the great dropping of water level in Jianshui Monitoring Well wasn't caused by tectonic activity. In addition, we surveyed pumping wells around the Jianshui Monitoring Well, and confirmed that the reason of it is borehole pumping nearby the Jianshui Monitoring Well by hydrogeology analysis methods. Combining with the local hydrogeology and field surveys, we could provide the rational explanation for groundwater anomaly according to the movement of law groundwater migration, and could determine whether the groundwater anomaly was caused by tectonic activity.

**Key words:** well water level; hydrogeology; groundwater exploitation