

胡小静,付虹,卞跃跃,等. 2022. 云南红河地区地下流体井-含水层系统特征研究[J]. 地震研究, 45(2): 300-307, doi: 10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2022.0027.

Hu X J, Fu H, Bian Y Y, et al. 2022. Study on the characteristics of the well-aquifer system of the underground fluid observation in Honghe region, Yunnan Province[J]. *Journal of Seismological Research*, 45(2): 300-307, doi: 10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2022.0027.

# 云南红河地区地下流体井-含水层系统特征研究\*

胡小静<sup>1</sup>, 付虹<sup>1\*</sup>, 卞跃跃<sup>2</sup>, 李燕玲<sup>1</sup>, 李琼<sup>1</sup>, 张翔<sup>1</sup>

(1. 云南省地震局, 云南昆明 650224; 2. 中国地质博物馆, 北京 100034)

**摘要:** 从地下流体观测井-含水层系统对降水的响应特征、对气压和潮汐的响应特征、含水层水文参数的计算对比以及水-岩作用平衡状态4个方面, 研究了云南红河地区5口地下流体观测井-含水层系统特征。结果表明: 不同井-含水层系统对外界扰动(影响因素)的响应能力有所差别, 其中高大井对地壳应变响应的灵敏性最强, 其次是开远井、建水井, 石屏井和蒙自井最弱, 响应能力主要与井-含水层水力参数、承压性和水-岩平衡状态等因素有关。

**关键词:** 井-含水层系统; 响应特征; 地下流体井; 红河地区

**中图分类号:** P315.723

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2022)02-0300-08

doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2022.0027

## 0 引言

地震孕育和发生过程中产生的静态或动态应力作用有时会引起断裂带含水层状态的变化(Wang, Manga, 2010; Wang et al, 2013; Kinoshita et al, 2015; Zhou et al, 2020), 而含水层状态信息包括很多方面, 如对外部各类动力加载作用的响应, 渗透性、导水性等各类介质参数, 深部地下流体作用程度等(史浙明, 王广才, 2013; Yan et al, 2016; 孙小龙等, 2018, 2020; Zhou et al, 2021)。多年的观测实践表明, 当从观测井中瞬间移除或增加一定体积的水体后, 井水位会突然下降或升高, 之后慢慢恢复。许多专家学者经过理论计算和野外试验后认为, 可利用水位恢复与时间的对应关系估算含水层渗透系数(Bouwer, 1989; Matsumoto, Shigematsu, 2018; Sun et al, 2019), 该方法的引进使得获取含水层参数较之前传统的抽水试验更易操作; 另外, 为了更系统地

识别井-含水层系统的承压性和对外界加载作用的灵敏性, Rojstaczer (1988) 提出了基于传递函数得到目标井-含水层系统的响应特征曲线, 并与地下水位实际观测所记录到的固体潮汐、气压等周期性动力加载作用的信息进行对比拟合的方法, 经过多年的实践操作, 在国内也得到了有一定程度的推广应用。

云南红河地区流体观测井分布集中, 但对每口观测井-含水层自身的性能、参数等的研究相对匮乏, 为了尽可能捕捉断裂带深部的变化信息, 本文以上述研究结果为基础, 基于该地区5口地下流体观测井对降水、气压和潮汐的响应过程和地下流体井-含水层系统的特征开展了相关的研究。

## 1 地质概况及地下流体观测井概况

### 1.1 地质概况

本文选取的地下流体观测井主要分布在云南

\* 收稿日期: 2021-08-31.

基金项目: 地震科技星火计划项目(XH20130Y)资助.

第一作者简介: 胡小静(1985-), 高级工程师, 主要从事地震地下流体研究. E-mail: 360325439@qq.com.

✉ 通讯作者简介: 付虹(1963-), 研究员, 主要从事地震震综合预测研究. E-mail: 280460086@qq.com.

红河地区，构造上地处川滇菱形块体东南角，该区域内断裂带较为发育，曲江断裂、石屏—建水断裂、小江断裂带（南段）、蒙自—开远断裂等交汇于此处（图1）。其中石屏—建水断裂长约400 km，带宽2~10 km，由一系列斜列或近于平行展布的断裂组成，总体走向315°，倾向NE，以右旋走滑为主；小江断裂南段长约250 km，带宽约30 km，由近SN向、NE向、WN向等多组方向的断裂相互交织穿插共同组成，结构十分复杂，总体走向0~10°；曲江断裂长约110 km，总体沿曲江河谷延伸，走向310°~320°，沿断裂挤压强烈，发育宽几十米至数百米的断层挤压破碎带，总体表现为以右旋走滑错动为主兼逆冲的压扭性断裂。

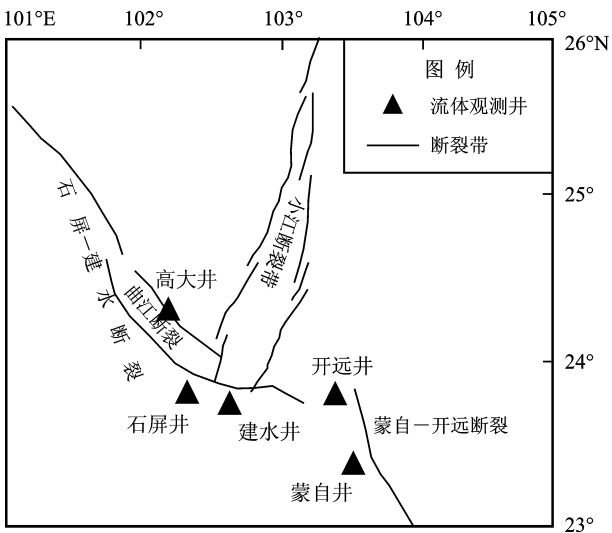


图1 观测井周边地质构造图

Fig. 1 Geological structures around the observation wells

1.2 地下流体观测井概况

研究区内分布有5口地下流体观测井，分别为高大、开远、建水、石屏、蒙自井。其中高大井深201.4 m，观测含水层揭露厚度39 m，涌水量

6.2 L/s，处于震旦纪下统，井孔岩性为深灰色、灰绿色石英岩，岩芯破碎呈块状和片状，岩性单一，根据岩芯结构分析，井孔所在区域是受控制的强挤压断裂破碎带，隔水层为第四系、第三系粉砂岩、煤层。石屏井深401.29 m，观测含水层厚度99.98 m，涌水量1.56 L/s，观测含水层岩性为元古界昆阳群大龙口组灰岩、白云岩夹板岩，岩溶发育中等，含岩溶水，以管道流为主，富水性中等。建水井深180.21 m，观测含水层揭露厚度79.2 m，涌水量2.31 L/s，位于井深101.01~180.21 m处，岩性为泥盆纪曲靖组灰岩，相对隔水层为第四系红粘土、砾石层。蒙自井深603.04 m，观测含水层厚度214.92 m，涌水量2.97~6.01 L/s，地层由第四系残积相，上第三系强-弱风化泥灰岩，下第三系小龙潭组泥灰岩夹砂、煤段及下第三系木花果组粘土岩组成；按区域地质条件分析、推断，下第三系以下地层为三迭系个旧组灰岩、白云岩；观测含水层在389~604 m，岩溶裂隙较发育，富水性中等，为弱-中等裂隙水。开远井深224 m，井孔观测的含水层有两段，井孔岩芯所揭露厚度分别为4.36、54.62 m，岩性时代属三叠系的灰岩，地下水类型为岩溶裂隙承压水。

从研究区内5口观测井水位的正常变化动态（表1）来看，大多具有一定的年变规律，整体表现为雨季（6—9月）有所上升、旱季有所下降，上升和下降的速率有一定差别。

2 地下流体井-含水层系统响应特征

2.1 观测井水位对降水的响应特征

高大、建水、石屏3口流体观测井的水位变化具有一定的年变规律，整体表现为雨季（6—9月）有所上升、旱季有所下降（图2、3）。本文收集了

表1 研究区内5口观测井水位正常变化动态

Tab. 1 The normal variation of water level in observation wells

序号	井孔名称	正常动态
1	高大井	具有明显的年变形态，每年8月左右上升，10月左右下降
2	开远井	具有明显的年变形态，每年7月左右上升，10月左右下降
3	建水井	降水量达到一定量时，具有明显的年变形态；年降水量偏少时，无年变形态，平稳波动
4	蒙自井	2017—2018年，整体呈现出上升趋势；2019—2021年，整体呈现出下降趋势
5	石屏井	整体呈现出下降趋势，去除趋势后具有明显的年变形态，每年7月左右上升，9月左右下降

这 3 口井所在地的月降水量资料, 利用降雨-水位动态的组合水箱模型 (王旭升等, 2010; 孙小龙等, 2013), 通过月降水量变化模拟水位的动态变化, 分析模拟水位与实测水位之间的相关性, 以此来判断井水位对降水的响应特征。模拟计算过程中, 通过正常动态变化时期的降水与水位资料来求取相关拟合参数, 同时利用基于 Gamma 分布

密度函数 (Besbes, De Marsily, 1984) 建立的单位脉冲响应函数来处理地下水补给的滞后延迟效果。

图 2 显示, 高大井和石屏井模拟水位与实测水位之间相关系数分别为 0.714 和 0.754, 均表明目前地下流体井的水位变化过程与降水具有较好的一致性, 水位年变形态基本受控于降水。

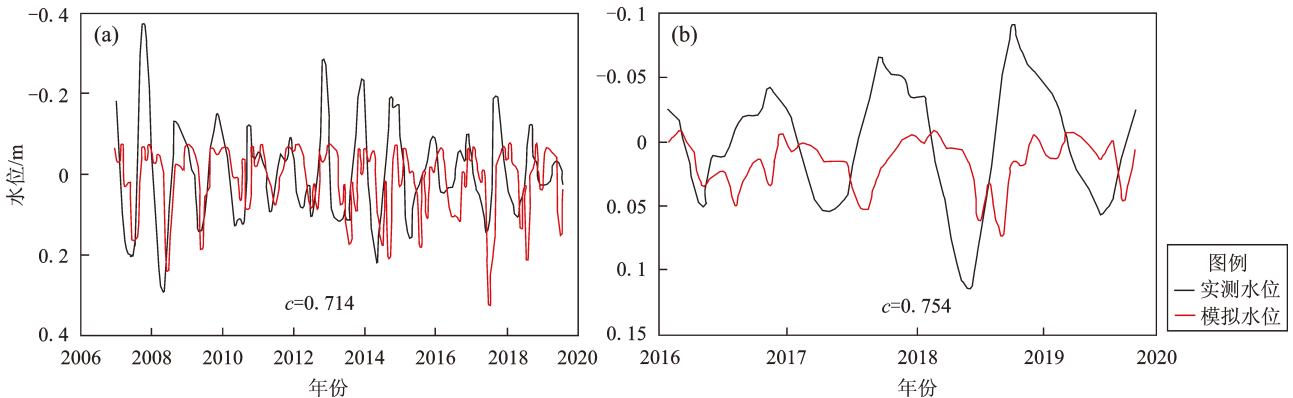


图 2 高大井 (a)、石屏井 (b) 模拟水位和实测水位关系图

Fig. 2 Relationship between the simulated water level and the measured water level in Gaoda well (a) and Shiping well (b)

由于 2010—2016 年建水井水位无明显的年变形态, 不能使用降雨-水位动态的组合水箱模型定量模拟降雨引起的水位变化过程。由图 3 可以看出, 2007—2019 年, 建水井水位仅在 2007、2008、2017 和 2018 年出现过 4 次明显的上升下降年变形态, 与其对应的降水量年累积都达到 850 mm 以上, 其它年份降水量累积都小于 850 mm (图 3)。为了进一步明确水位年变幅度与降水量之间的相关性, 分别作水位变化量与月降水量之间的线性

相关,  $R^2 = 0.2884$ ; 作水位年变幅度与年累积降水量之间的相关性,  $R^2 = 0.5442$ ; 作水位集中上升期变化幅度与同一时段的集中降水量之间的线性相关,  $R^2$  高达 0.8147 (图 4)。以上结果表明当年降水量大于 850 mm, 水位会出现明显的上升、下降年变形态, 短期内的快速上升幅度与同期集中降水量关系非常密切, 而在年降水量低于 850 mm 时, 水位基本保持平稳的背景状态, 不呈现出明显的年变规律。

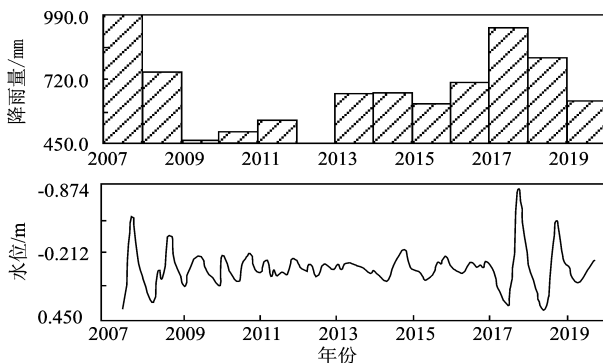


图 3 建水井水位与年降水量

Fig. 3 Water level in Jianshui well and the local annual precipitation

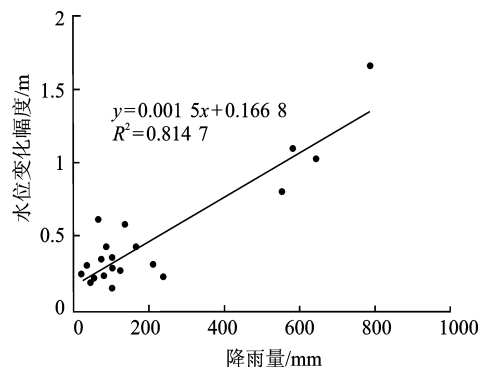


图 4 建水井水位与降水量相关性示意图

Fig. 4 The correlation between the water level in Jianshui well and the local precipitation

上述结果表明，流体观测井水位与降水量之间有良好的相关性，相关系数均高于 0.7，但不同的流体观测井水位对降水的响应过程有一定的差别，其中高大井和蒙自井年动态基本受控于年降水量；建水井只有当年降水量高于 850 mm 后，水位才会出现明显的上升、下降年变形态，年降水量较小时，不足以引起水位出现明显的年变形态。

## 2.2 井-含水层对地壳应变响应的灵敏性特征

基于实测数据，利用传递函数法得到目标井-含水层系统的气压响应特征曲线  $BE-\omega$ ，与理论计算所得的特征曲线进行对比拟合，可识别出观测含水层的承压性和井-含水层系统对动力加载作用的灵敏性。因此，可以利用井水位对气压和固体潮的传递函数，分析观测井含水层对不同周期加载的全频率响应特征，确定各观测井水位对地壳应变的灵敏性。

基于井水位对周期性动力加载作用的响应特征，Rojstaczer (1988) 将井水位对气压的整体响应描述如下：

$$BE(\omega) = \left| \frac{x_0 \rho g}{A} \right| = \left| \frac{p_0 - A - s_0 \rho g}{A} \right| \quad (1)$$

$$\theta(\omega) = \arg(x_0 \rho g / A) \quad (2)$$

式中： $BE$  和  $\theta$  分别为与频率  $\omega$  有关的气压效应系数和相位； $A$  和  $x_0$  分别为气压和水位的变化幅度； $p_0$  和  $s_0$  分别为孔隙压和水位降深； $\rho$  为水的密度； $g$  为重力加速度。

Rojstaczer (1988) 将浅层垂向的气流扩散系数、潜水层垂向的水流扩散系数和承压层水平向的渗透系数分别归算为与频率相依的无量纲参数  $R$ 、 $Q$  和  $W$ ，不同的  $R/Q$  或  $Q/W$  值对应不同的理论  $BE-\omega$  特征曲线。为了和理论曲线进行对比，可用井水位对气压和固体潮的传递函数方法来计算实测水位数据的  $BE-\omega$  特征曲线：

$$\left| \begin{matrix} BB & BT \\ TB & TT \end{matrix} \right| \left\| \begin{matrix} HB \\ HT \end{matrix} \right\| = \left| \begin{matrix} BW \\ TW \end{matrix} \right| \quad (3)$$

式中： $BB$  和  $TT$  分别表示气压和体应变固体潮的功率谱密度； $BT$  和  $TB$  分别表示气压和理论体应变固体潮的互功率谱密度及其复共轭； $BW$  和  $TW$  分别表示气压和水位、体应变固体潮和水位的互功率谱密度； $HB$  和  $HT$  分别表示水位、气压和体

应变固体潮之间的传递函数。

利用 2017 至 2019 年 8 月的井水位分钟值，笔者分别计算了高大、建水和蒙自 3 口观测井水位对气压和应变固体潮的传递函数（图 5）。从图 5 可以看出，蒙自井的气压传递数值和相位值都很离散，无明显的规律性，表明其对气压和固体潮的响应灵敏性很弱，表现为半承压性。而高大井、建水井的气压传递函数则明显收敛，高频段（大于 100 cpd）与低频段有明显差异，表明这两口井对水位微动态信息的反应较为灵敏。从这 3 口井的观测历史来看，高大井和建水井均已观测 10 a 以上，整个含水层已经处在一种相对平衡稳定的状态，而蒙自井为 2017 年新打井孔，含水层水体之间的交换活动仍在发生，而这些水体的宏观交换无论在水质成分方面，还是在水位本身上升下降的波动幅度方面，变化都是很明显的，而地壳应变作为微观变化量，其幅值和量级本身都非常小，这些大幅度的宏观变化使得极小量级的地壳应变信息几乎被掩盖或者很难记录到，从而在很大程度上减弱了该井水位对地壳应变的响应灵敏度。

上述结果表明，在相对承压和平衡的状态下，观测井含水层对水位微动态信息完全受控于气压和固体潮的加载，对地壳应变的响应较为灵敏，但由于不同井-含水层系统自身的差异，对周期性的加载响应特征会有所差别。

## 2.3 井-含水层系统水力参数特征

当从观测井中瞬间移除或增加一定体积的水体后，井水位随会突然下降或升高，之后慢慢恢复，利用水位恢复与时间的对应关系可估算含水层渗透系数，微水试验正是基于这种模型下的一种简便且相对快速获取水力参数的野外试验方法（Bouwer, 1989; Matsumoto, Shigematsu, 2018; Sun *et al.*, 2019）。具体计算过程如下：

一个有限井径的承压性井-含水层系统，当从观测井中瞬间移除或增加一定体积的水体后，其水位的恢复服从如下规律（Cooper *et al.*, 1967）：

$$H/H_0 = (8\alpha/\pi^2) \int_0^\infty e^{-\beta u^2/\alpha} du / [u\Delta(u)] \quad (4)$$

$$\Delta(u) = [uJ_0(u) - 2\alpha J_1(u)]^2 + [uY_0(u) - 2\alpha Y_1(u)]^2 \quad (5)$$

$$\beta = Tt/r_c^2, \alpha = r_w^2 S/r_c^2 \quad (6)$$

式中:  $r_c$  是套管半径;  $r_w$  是裸孔半径;  $S$  是储水系数;  $T$  是导水系数;  $H_0$  为初始水位值;  $H$  为  $t$  时刻的水位值;  $J_0$  是 0 阶的第一类贝塞尔函数;  $J_1$  是 1 阶的第一类贝塞尔函数;  $Y_0$  是 0 阶的第二类贝塞尔函数;  $Y_1$  是 1 阶的第二类贝塞尔函数。

本文分别对高大井和蒙自井进行了微水试验, 从井内瞬间移走约 1 L 的水体, 然后依据非稳定流抽水试验模式, 实测井水位的恢复过程拟合求取含水层导水系数。计算过程中依据两口井的井孔柱状图, 选取高大井  $r_c$  和  $r_w$  分别为

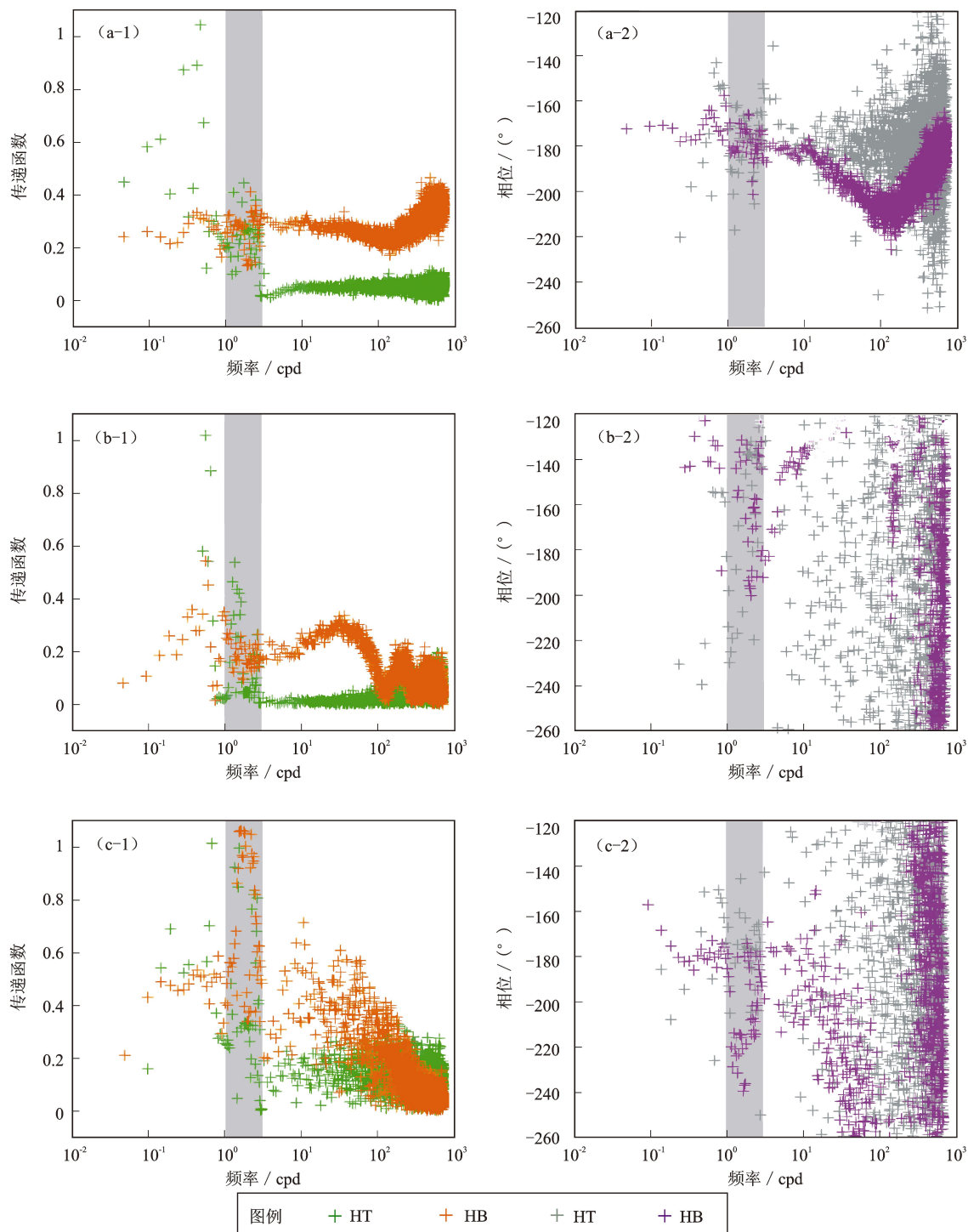


图5 高大 (a)、建水 (b)、蒙自 (c) 井水位对气压 (HT)、固体潮 (HB) 的传递函数  
Fig. 5 Transfer functions of the water level in Gaoda well (a), Jianshui well (b) and Mengzi well (c) to air pressure (HT) and solid tide (HB)

97 mm 和 100 mm, 选取蒙自井  $r_c$  和  $r_w$  分别为 84 mm 和 155.5 mm; 由于储水系数在量级确定的情况下, 对微水试验中水位恢复的影响不是很大, 根据云南地区大多数井孔在成井之初做的抽水实验结果统计, 观测井的含水层储水系数的量级均为  $10^{-4}$ 。对微水试验数据的拟合结

果显示 (图 6), 依据非稳定流抽水试验实测水位恢复值拟合求得高大井、蒙自井含水层导水系数分别约为 8、2.0  $\text{m}^2/\text{d}$ , 二者之间具有明显的差别。同时也可以看出, 同样是移走 1 L 水, 两口井水位恢复的过程在时间尺度上具有非常大的差异。

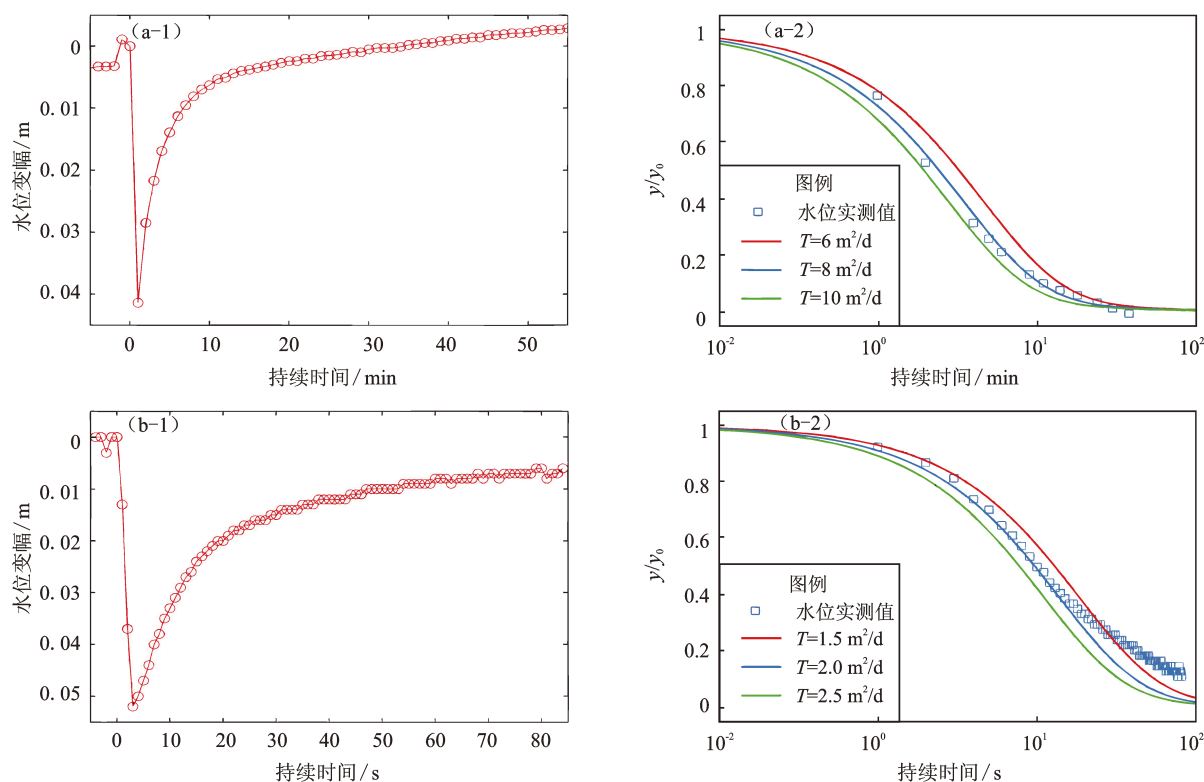


图 6 利用微水试验得到高大 (a)、蒙自井 (b) 含水层导水系数

Fig. 6 The water conductivity of the aquifers in Gaoda (a) and Mengzi (b) wells using the micro-water test

## 2.4 井-含水层系统的水-岩平衡特征

笔者分别于 2017 年 5 月和 2019 年 7 月对研究区的地下流体井水进行了采样测试。结果显示, 高大井、开远井和建水井水化学类型和水岩平衡程度均未发生改变 (图 7), 其中高大井水化学类型表现为  $\text{HCO}_3-\text{Na}$  型水, 水平衡状态处在未成熟水趋近于半成熟水状态, 发生了一定的水-岩作用, 但并不强烈; 建水井水化学类型表现为  $\text{HCO}_3-\text{Ca}$  型水, 水平衡状态处在一直属于未成熟水, 且处在 Mg 端元附近, 表明该井的补给一直来源于浅层地表水, 水-岩作用较弱; 开远井水化学类型表现为  $\text{HCO}_3-\text{Ca}-\text{Na}$  型水, 其中  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  与  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  之间有少量的阳离子置换过程, 水平衡状态一直处在在未成

熟水状态, 深部水-岩作用弱。

石屏井和蒙自井的水-岩平衡程度一直未发生改变, 蒙自井目前仍处在半成熟水状态, 石屏井长期处在未成熟水状态 (图 7a), 但它们的水化学类型发生明显的演化过程, 石屏井由原来的  $\text{SO}_4-\text{Na}$  演化为目前的  $\text{HCO}_3-\text{Na}-\text{Ca}$  型水, 蒙自井由原来的  $\text{SO}_4-\text{Na}$  演化为  $\text{HCO}_3-\text{SO}_4-\text{Na}$  (图 7b)。分析其原因为, 石屏井和蒙自井分别为 2016、2017 年新打井孔, 从其水质成分的演变过程来看, 成井初期, 水体的离子组分中含有大量的  $\text{SO}_4^{2-}$ , 表明其水源补给路径较远, 随着含水层系统的水体交换, 离子组分中  $\text{HCO}_3^-$  含量明显增多, 表明其逐渐开始受到大气降水等浅层地表水的补给。



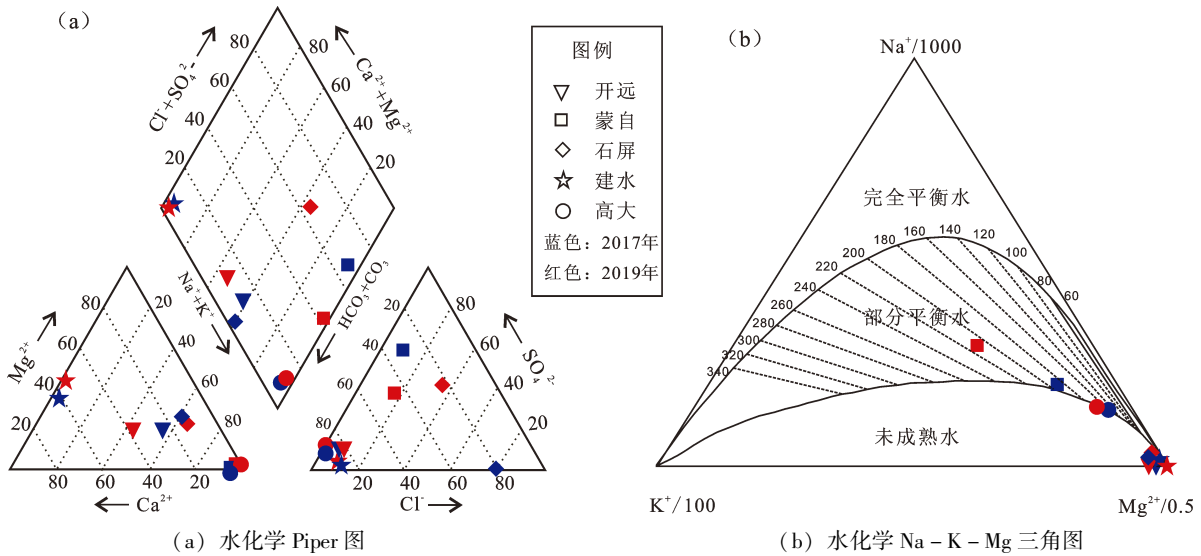


图 7 2017、2019 年水化学结果对比分析

Fig. 7 Comparative analysis of hydrochemical results in 2017 and 2019

### 3 讨论

针对云南红河地区的 5 口地下流体井, 笔者系统梳理了不同井孔的相同点和不同点, 进而对不同井-含水层系统响应特征的共性和差异性作以下讨论:

(1) 从含水层岩性来看, 高大井为石英岩, 富含  $\text{SiO}_2$ , 内部化学性质相对稳定; 其它井孔均为灰岩, 其主要成分为  $\text{CaCO}_3$ , 容易发生岩溶作用, 使得含水层水质成分容易发生改变。根据传递函数结果, 高大井的承压性最好, 且水岩平衡状态趋于半成熟水, 因此认为含水层岩性对井孔的相对承压和水-岩平衡的状态有一定的影响。

(2) 从井孔成井时间来看, 蒙自井和石屏井均为新打井孔, 成井约 3 a, 其余井孔的观测时间均在 10 a 以上。在观测初期, 这两口新打井孔的水位变化曲线均存在一定的宏观趋势性变化, 同时其水化学组分在不断地演化, 这个演变过程与昭通地区 2015 年新打的鲁甸井和巡龙井在 2017—2018 年的演变过程较为类似 (胡小静, 2020)。这种类似的演变过程表明, 新打井孔的含水层系统在观测初期可能均要经历几年时间的水体交换方可达到平衡状态。在这种状态下, 气压、固体潮响应函数结果也显示这两口新打观测井对各类信号加载的响应相对较弱, 因此认为, 新打井孔在观测初期, 可能会由于井-含水层地表水体交换比较明显, 导致对深部地壳应

变响应的灵敏度相对较弱。

(3) 上述不同的研究方法显示, 不同井孔对降雨的响应过程、含水层承压性、对地壳应变的响应灵敏性及水岩平衡状态之间均存在一定的差别, 其中高大井可认为是这几个井孔中观测状态最佳的井孔, 蒙自井则是各方面条件相对较差的井孔, 二者的井-含水层导水系数也存在非常明显的差别, 可能表明井-含水层参数在很大程度上影响了井水位对外界扰动的响应程度和方式。

### 4 结论

本文利用云南红河地区集中分布的 5 口地下流体观测井的水位、气压、固体潮等观测资料, 从地下流体观测井-含水层对降水的响应过程, 对地壳应变信息的灵敏性, 部分含水层参数的计算对比, 以及观测井水岩作用平衡状态等方面, 对这 5 口地下流体观测井-含水层特征进行了研究, 主要得出以下结论:

(1) 地下流体观测井水位与降水量之间有良好的相关性, 但不同的观测井水位对降水的响应过程有所差别。

(2) 高大井的井-含水层具有较强的承压性, 水-岩平衡程度趋于半成熟水状态, 对地壳应变响应较为灵敏, 开远井和建水井次之。

(3) 蒙自井作为新打井孔, 井-含水层与外界地表水体之间的交换比较明显, 在很大程度上

减弱了井-含水层对地壳应变响应的灵敏度。

(4) 不同井-含水层系统对降水、气压、固体潮等外界扰动(影响因素)的响应能力有所差别,这主要取决于含水层水力参数,同时还受控于井-含水层的承压性、水-岩平衡状态、岩性、成井时长等因素。

## 参考文献:

- 胡小静,付虹,李涛,等. 2020. 云南普洱大寨井水位同震响应研究及预测意义[J]. 地震研究, 43(2): 340-347.
- 史浙明,王广才. 2013. 承压含水层地下水位固体潮潮汐因子和相位滞后与汶川地震的关系[J]. 中国科学:地球科学, 43(7): 1132-1140.
- 孙小龙,刘耀炜,晏锐. 2013. 云南姚安井 2009 年 10 月后水位下降的成因分析[J]. 地震学报, 35(3): 410-420.
- 孙小龙,向阳. 2018. 基于同震水震波的水文地质参数求取方法探讨[J]. 水文地质工程地质, 45(3): 22-29.
- 孙小龙,刘耀炜,付虹,等. 2020. 我国地震地下流体学科分析测报研究进展回顾[J]. 地震研究, 43(2): 216-231.
- 王旭升,王广才,董建楠. 2010. 断裂带地下水位的降雨动态模型及异常识别[J]. 地震学报, 32(5): 570-578.
- Besbes M, De Marsily G. 1984. From infiltration to recharge: use of a parametric transfer function[J]. Journal of Hydrology, 74(3-4): 271-293.
- Bouwer H. 1989. The Bouwer and Rice slug test—an update[J]. Ground Water, 27(3): 304-309.
- Kinoshita C, Kano Y, Ito H. 2015. Shallow crustal permeability enhancement in central Japan due to the 2011 Tohoku earthquake[J]. Geophysical Research Letters, 42(3): 773-780.
- Cooper H H, Bredehoeft J D, Papadopoulos I S, et al. 1967. Response of a finite diameter well to an instantaneous charge of water[J]. Water Resour Res, 3: 263-269.
- Matsumoto N, Shigematsu N. 2018. In-situ permeability of fault zones estimated by hydraulic tests and continuous groundwater-pressure observations[J]. Earth, Planets and Space, 70(1): 1-12.
- Rojstaczer S. 1988. Determination of fluid flow properties from the response of water levels in wells to atmospheric loading[J]. Water Resources Research, 24(11): 1927-1938.
- Sun X, Xiang Y, Shi Z, et al. 2019. Sensitivity of the response of well-aquifer system to different periodic loadings: A comparison of two wells in Huize, China[J]. Journal of Hydrology, 572(2019): 121-130.
- Wang C Y, Manga M. 2010. Earthquakes and water. Lecture notes in earth sciences[M]. Berlin-Heidelberg: Springer, 225.
- Wang C Y, Wang L P, Manga M, et al. 2013. Basin-scale transport of heat and fluid induced by earthquakes[J]. Geophysical Research Letters, 40: 3893-3897.
- Yan R, Wang G, Shi Z, 2016. Sensitivity of hydraulic properties to dynamic strain within a fault damage zone[J]. J Hydrol, 543: 721-728.
- Zhou Z H, Tian L, Zhao J, et al. 2020. Stress-Related Pre-Seismic Water Radon Concentration Variations in the Panjin Observation Well, China(1994-2020)[J]. Frontiers in Earth Science, 8: 596283.
- Zhou Z H, Zhong J, Zhao J, et al. 2021. Two Mechanisms of Earthquake-Induced Hydrochemical Variations in an Observation Well[J]. Water, 13: 2385.

# Study on the Characteristics of the Well-aquifer System of the Underground Fluid Observation in Honghe Region, Yunnan Province

HU Xiaojing<sup>1</sup>, FU Hong<sup>1</sup>, BIAN Yueyue<sup>2</sup>, LI Yanling<sup>1</sup>, LI Qiong<sup>1</sup>, ZHANG Xiang<sup>1</sup>

(1. Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China)

(2. The Geological Museum of China, Beijing 100034, China)

## Abstract

In this paper we study the characteristics of the well-aquifer system of 5 observation wells for underground fluid—Gaoda Well, Kaiyuan Well, Jianshui Well, Shiping Well and Mengzi Well in Honghe region, Yunnan Province. We firstly calculate hydrological parameters of the aquifers, then we analyze the equilibrium state of water-rock interaction, and the response of the well-aquifer system to precipitation, atmosphere pressure, and Earth tide. The results show that the responsiveness of different well-aquifer systems of the 5 wells to external disturbances (influencing factors) is different; Gaoda Well is the most sensitive to Crustal strain, then followed by Kaiyuan Well, Jianshui Well, Shiping Well, and Mengzi well. This is mainly because of the confining capacity, the hydraulic parameters of the well-aquifer system, and the water-rock equilibrium state, etc.

**Keywords:** well-aquifer system; response characteristics; observation well for underground fluid; Honghe area