

基于水化学分析的滇 17 井流体异常识别及应用*

田 雷, 余怀忠, 周志华

(中国地震台网中心, 北京 100045)

摘要:以滇 17 井的水化学观测项为例, 分析该观测井周边水文地质及水文地球化学情况, 确定含水层性质及其与周边水体的补给关系, 通过二阶差分方法, 确定观测数据二阶差分结果的异常波动, 提取相关信息。结果表明: 观测含水层与周边大型地表水体及浅层地下水等不存在直接水力联系, 观测数据的变化反应了含水层的整体变化, 其变化的主要原因是地下应力环境改变。二阶差分方法处理结果显示: 相对于无震期间的数据变化, Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- 的二阶差分结果在观测井周边 200 km 内 5~5.9 级地震、300 km 内 6~6.9 级地震及 500 km 内 7 级以上地震发生时段会出现明显波动, 并伴随有高值突跳。这一研究结果表明在明确含水层性质的前提下, 使用二阶差分方法能够直观反应区域应力变化, 为地震趋势判定提供依据。

关键词:滇 17 井; 水化学; 氢氧同位素; 二阶差分; 地震对应关系

中图分类号: P315.724

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2018)04-0551-08

0 引言

水文地球化学方法已成为地震观测预报的重要手段之一 (Wakita, 2009)。大量研究及观测发现地震常伴有流体地球化学异常变化 (Scholz *et al*, 1973; 张炜, 1988; Du *et al*, 2008; Skelton *et al*, 2015; Wang, Manga, 2015)。其主要的机理是在地震的孕育发生过程中, 地球深部的物理化学反应会导致补给关系、水岩反应等条件发生改变, 从而导致地下水的化学组分产生明显变化。主要有以下几种原因: ①在应力积累或地震发震过程中, 由于岩石破裂破坏含水层结构, 使不同层位的地下水或地表水产生混合 (Du *et al*, 2010); ②由于热力及应力积累作用地壳深部高温流体向上流动, 导致围岩发生隐爆, 使其向上发生越流, 这也是多数中、深源大震引起地热、电导以及流体地球化学异常变化的原因 (Nishizawa *et al*, 1998); ③应力积累导致岩石发生微破裂, 产生了新鲜的岩石断面或产生了压溶效应, 引起水化学组分变化 (Inan *et al*, 2012); ④在地震孕育和发生过程中, 由于地震波的作用使矿物颗粒表面吸附的物质脱附, 形成可以观测到的地球化学变化 (Teng, Ta, 1980; Igarashi *et al*, 1995)。上

述①~③条原因与区域构造应力的变化直接相关, 原因④所造成的观测数据变化是由地震波的传播造成的, 且从持续时间和变化幅度上都与其他 3 条原因不同, 易于识别和区分。

当观测项有异常现象出现时, 首先需排除人为及外界干扰, 了解该异常变化的真实性, 认识引起异常变化的物质来源, 确定该异常变化为地下构造及应力环境改变所致, 才可认定为前兆异常, 进而讨论其所代表的前兆意义 (刘耀炜等, 1999)。基于这一思想, 本文对滇 17 井的水化学观测资料, 包括: Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- 进行分析。通过二阶差分方法提取前兆异常信息, 对比观测数据及处理后的形态, 讨论与地震的对应关系及处理方法的可行性。

1 滇 17 井水文地质条件

滇 17 井位于云南省普洱市思茅区大寨村, 属于无量山—营盘山断裂带、普洱断裂, 所属构造单元位于兰坪—思茅中新代断陷盆地, 该盆地沉积物主要由三叠系、侏罗系和白垩系组成, 其上局部地层叠加覆盖着新生代地层, 地层厚度较大, 但各层系有不同程度缺失。盆地内地表第四系覆盖层厚 21.54 m, 下埋白垩系景星组下段, 以

* 收稿日期: 2017-08-30.

基金项目: 地震科技星火计划项目 (xh17045) 和国家自然科学基金项目 (41503114) 联合资助.

紫红色泥质、粉砂质的白质基底泥岩及灰白色石英砂岩为主。

滇 17 井从 1984 年开始进行水位观测, 1997 年开始进行水化学离子观测, 观测期间积累了较多数据及一定震例。水位观测能够清晰地记录到其周边部分 5 级以上地震的水震波, 水化学测项为日值观测, 连续性较好。井孔标高 1 497 m, 井深 112.27 m, 位置在 (101.05°E, 22.73°N), 为动水位自流井观测。据井孔剖面图显示 (图 1), 地下 14.03 ~ 26.69 m 存在粉砂状类粉砂质泥岩, 为良好的隔水层, 下伏地层为有溶蚀现象的粉砂岩, 是良好的承压含水层, 富水性较强, 不易受浅层地下水等其他水体干扰。

笔者通过对滇 17 井进行实地调查及取样, 发现

该观测井位于山间盆地中, 周围无高大建筑, 周边没有大型的工业企业, 居民较少、用水量不大、地下水埋深较浅, 且没有发现与观测井位于同一含水层的抽注水井, 判定该观测井周边环境良好, 存在干扰的可能性较小。通过检查观测系统及操作流程, 采样及样品检测符合地震前兆观测规范, 未发现明确的人为影响。因此, 观测数据异常与人为操作失误没有明显联系。

2 基于水化学分析的二阶差分方法

笔者利用水文地球化学方法, 分析滇 17 井含水层的水化学组分及其与周边大型地表水体的水力联系情况, 在确定导致观测数据变化的物质来自于地壳内部之后, 通过二阶差分方法, 确定数据二阶差分结果, 提取有效异常变化信息。

水文地球化学方法主要是利用水化学检测分析方法和理论, 确定观测井含水层的水化学组分, 及含水层与周边大型地表水体的水力联系情况。主要分析方法有 Piper 图 (Piper, 1944)、氢氧同位素分析等方法。Piper 图是根据物质的水化学元素组成, 判断物质的水化学类型, 在菱形区域进行投影, 并分析样品间的差别 (陆徐荣等, 2010)。氢氧同位素分析方法主要是判定地下水及地表水与大气降水之间氢氧同位素的关系 (Craig, 1961)。

在地壳应力加载过程初期, 地壳出现挤压、拉张或滑动趋势, 而一些脆弱的岩石或构造体在应力积累过程中会产生破裂, 大构造体会产生微裂隙, 地下水进入这些裂隙后, 与新鲜的岩石断面发生反应, 导致水化学成分发生改变 (Mörth *et al*, 2004; Woith *et al*, 2013)。由于应力加载的强度变化, 不同岩石及构造体的破裂程度的复杂性和不确定性, 以及水岩反应的速率随着反应时间、地下水压力、温度及流速等因素的变化, 导致观测含水层水化学组分的含量及变化速率产生大幅度波动, 通过差分处理后显示较为直接。同时, 在应力积累过程中, 原本的隔水层由于应力作用产生新的通道或渗透率发生了明显的改变, 导致地下水出现越流现象, 使不同层位的含水层产生了混合, 导致水化学组分含量发生变化。由于应力加载过程中孔隙、裂隙的变化情况不均一, 水量的混入量及越流发生程度及范围变化过程较为

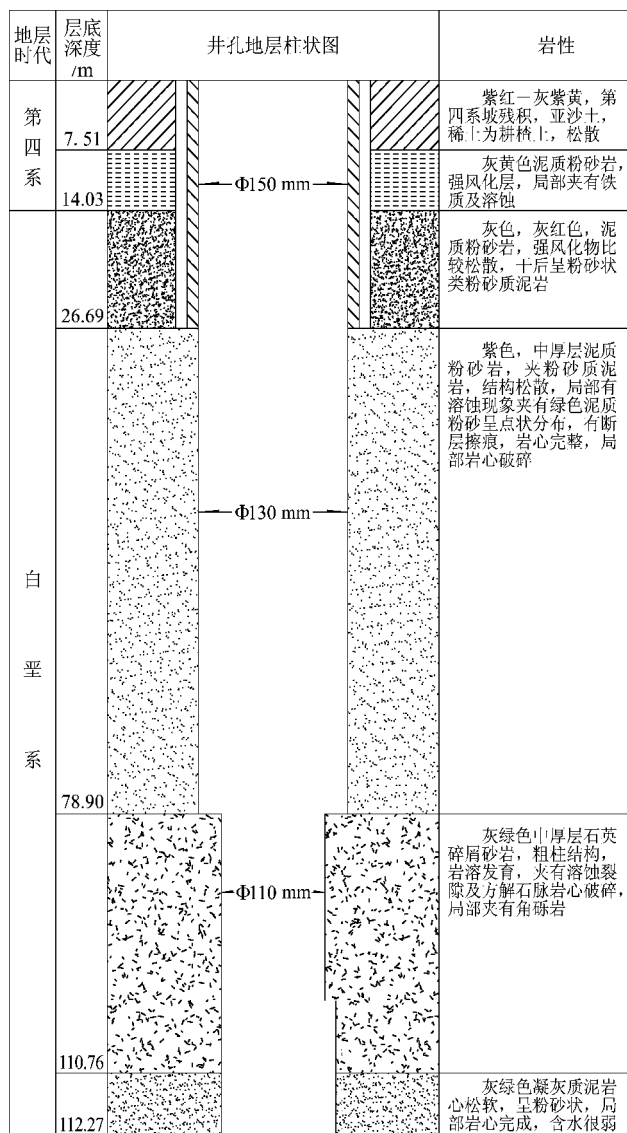


图 1 滇 17 井井孔柱状图

Fig. 1 The histogram of the Dian-17 Well

复杂，水化学组分变化速率差别较大，从而引起了二阶差分结果的高频次异常波动（Thomas, 1988；Claesson *et al.*, 2007）。

本文通过对观测数据进行去突跳及应用二阶差分 5 阶模型提取相关的异常变化特征信息（晏锐等, 2007；兰双双, 迟宝明, 2010）。二阶差分模型是数据处理中的一种常用分析方法，差分是一种压抑长周期、突出短周期变化的线性滤波（朱成英等, 2011）。这种处理方式能够表现出二阶差分结果的变化情况，一定程度上能够了解地壳介质的应力状态（莫承彬, 覃佑邦, 1995；韦忠礼, 1999；由志福, 钟约先, 1999）。观测数据的一阶差分结果：

$$f'(x_i) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x_i + \Delta x) - f(x_i)}{\Delta x} \tag{1}$$

式中： x_i 表示采样时间； $f(x_i)$ 表示 x_i 时刻的测值； Δx 为时间步长。由于水化学观测数据为日值观测，（1）式可写为（任晓霞等, 2004）：

$$f'(x_i) = f(x_{i+1}) - f(x_i) \tag{2}$$

再次求导可得观测数据的二阶差分结果：

$$\begin{aligned} f''(x_i) &= f'(x_{i+1}) - f'(x_i) \\ &= f(x_{i+2}) - 2f(x_{i+1}) + f(x_i) \end{aligned} \tag{3}$$

3 结果与分析

3.1 地球化学分析结果

笔者共进行了 2 次取样，分别为 2016 年 1 月及 10 月，每次采集 4 组样品：滇 17 井中的自流井水，距离滇 17 井 8 km 的信房水库水，距离滇 17 井 5 km 的梅子湖的湖水，距离滇 17 井 0.5 km 的村民自建机井的浅层地下水。这 4 组样品分别代表了滇 17 井所观测的承压含水层中水的不同类型：可能与观测含水层存在季节性补给的水库水，水量较稳定的潜在干扰源的湖水，以及与观测的承压含水层最可能产生水力联系的浅层地下水。

根据水样检测结果，2 次取样数据差别较小，选取 10 月的取样数据进行分析。采用 OHAUS 的便携式检测仪器对水样的 pH 值、温度、TDS、电导率进行检测，水化学组取样采用 250 mL 经去离子水清洗的带塞附盖塑料瓶，取样 4 瓶，2 瓶用于水化学组分分析，2 瓶用于氢氧同位素分析。水化学组分由中国地质大学（北京）水质分析实验室完成，分析仪器是 DIONEX - 120 型离子色谱仪；氢氧同位素分析由核工业北京地质研究院分析测试中心完成，采用仪器为 Picarro L2130 - i，分析结果如表 1 所示。

表 1 滇 17 井及周边水体样品水化学分析结果
Tab. 1 Test results of the Dian - 17 Well and the surrounding reservoirs

取样点	$\lambda_E/$ (°)	$\varphi_N/$ (°)	温度/ ℃	TDS/ (mg·L ⁻¹)	电导率/ (μs·cm ⁻¹)	ORP/ mv	K ⁺ / (mg·L ⁻¹)	Na ⁺ / (mg·L ⁻¹)	Ca ²⁺ / (mg·L ⁻¹)	Mg ²⁺ / (mg·L ⁻¹)	F ⁻ / (mg·L ⁻¹)	Cl ⁻ / (mg·L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ / (mg·L ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ / (mg·L ⁻¹)	CO ₃ ²⁻ / (mg·L ⁻¹)	NO ₃ ⁻ / (mg·L ⁻¹)	pH	$\delta^{18}O/$ ‰	$\delta D/$ ‰
滇 17 井	101.05	22.73	21.7	193	792	-61	0.7	46.07	38.46	6.73	0.46	0	3.77	259.23	0	2.44	7.66	-11.17	-80.63
村民井	101.06	22.74	16.2	50	563	219	0.95	4.38	15.22	1.56	0	8.25	0	28.11	0	22.65	6	-10.08	-70.94
梅子湖	100.98	22.75	21.1	30	119	165	0.6	0.14	6.63	1.35	0	2.64	1.06	23.79	0	1.64	8.18	-7.66	-59.66
信房水库	100.95	22.72	21	27	122	159	0	0	7.3	1.39	0	0.38	0.39	35.27	0	0.84	7.73	-8.55	-63.33

由表 1 可见，滇 17 井含水层水化学类型为 HCO₃ - Na·Ca 型水；村民井代表的浅层地下水类型为 HCO₃·NO₃ - Ca 型水；周边大型地表水信房水库和梅子湖均为 HCO₃ - Ca 型水，水化学类型存在较大差异。样品分析结果表明，滇 17 井中 HCO₃⁻ 含量及矿化度较高，且该含水层的水化学类型及其他相关指标与浅层地下水和大型地表水体的差别较大，表明其来源于不同的环境，没有直接的水力联系。

Piper 图结果表明（图 2），滇 17 井的水化

学投影位置位于菱形投影区域的下部偏左，而另外 3 组水样均位于区域中间偏左，距离较远。证明滇 17 井与其他水样的水化学组成及类型差别较大。根据 Piper 图在不同区域的投影位置特点，观测井中碱金属与碱土金属含量相近，弱酸根大于强酸根，与其他水体的检测及分析结果存在较大差异。以上表明，滇 17 井所观测含水层中的水在其径流过程中与围岩发生了一定程度的水岩反应，其径流路径及循环时间较长（王瑞久, 1983）。

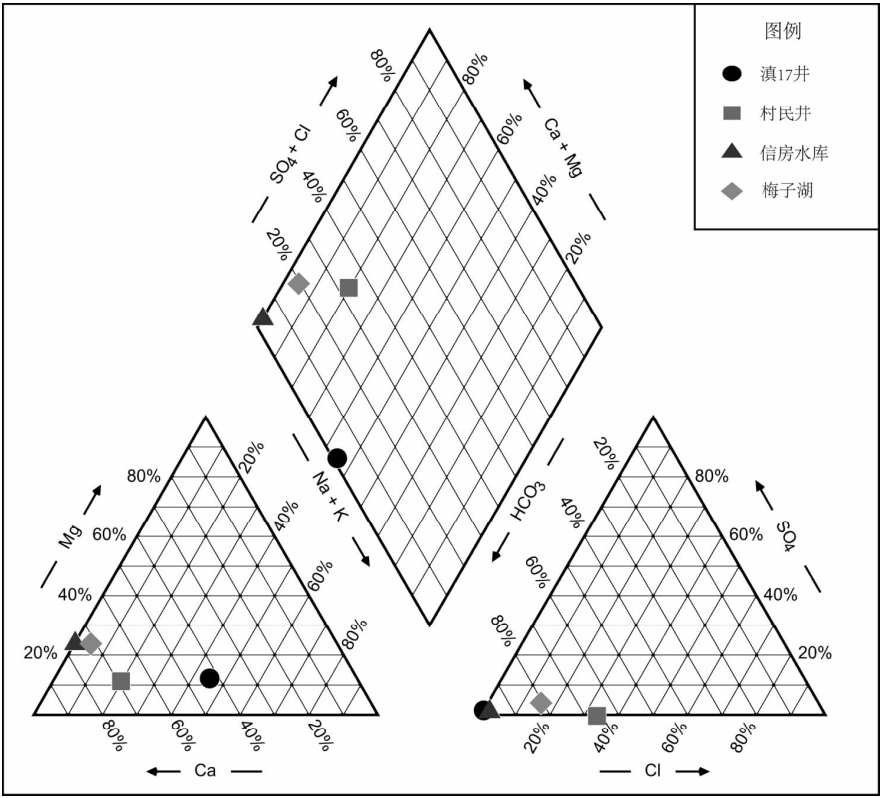


图2 滇17井及周边水体水化学成分 Piper 图

Fig. 2 The Piper diagram of the hydro-chemical component of the Dian - 17 Well and surrounding reservoirs

大气降水线方程为： $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$ (G. M. W.) (Craig, 1961)；我国西南地区的降水线方程为： $\delta^2\text{H} = 7.87\delta^{18}\text{O} + 11.09$ (L. M. W.) (黄天明等, 2008)。对所取水样品的氢氧同位素组成与西南地区大气降水线进行对比 (图3)，发现滇17井的同

位素组成与地表水体及浅层地下水的同位素组成差别较大。根据大气降水氢氧同位素组成演化规律 (图4)，地表水由于蒸发等作用会向右偏离大气降水线 (章新平, 姚檀栋, 1994；顾慰祖, 2011；张磊等, 2016)。

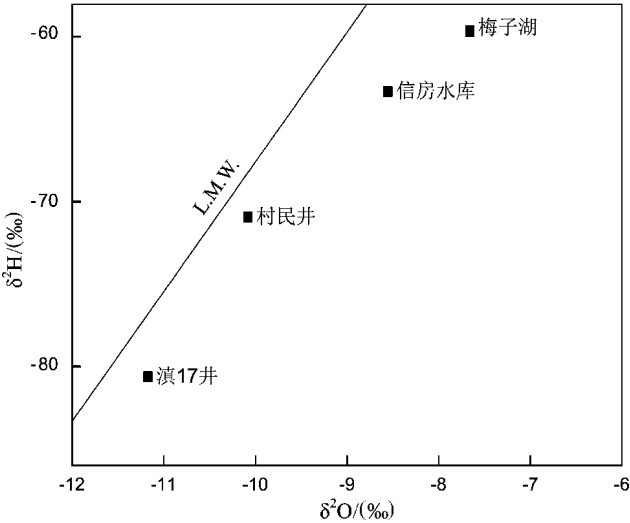


图3 滇17井及周边水体氢氧同位素组成

Fig. 3 Composition of hydrogen and oxygen isotopes of the Dian - 17 Well and its surrounding waters

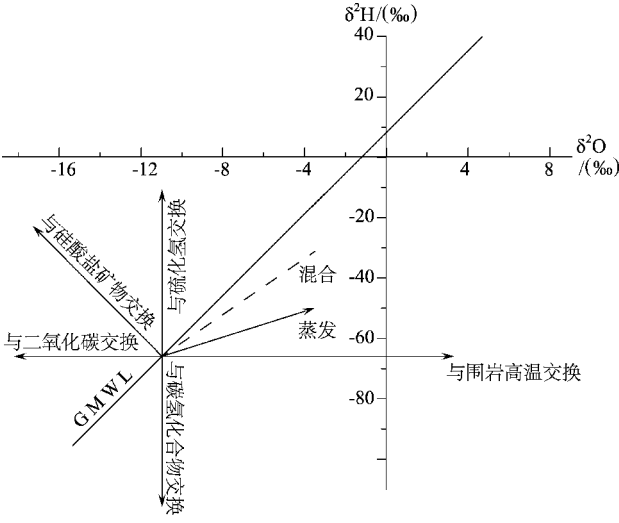


图4 降雨氢氧同位素组成演化示意图

Fig. 4 The evolution of the stable hydrogen and oxygen isotopes in precipitation

滇17井的水文地球化学调查分析显示,该井水体与浅层地下水及地表水体没有直接水力联系,且滇17井的氢氧同位素较接近于西南地区大气降水线,证明该含水层的最终补给来源为大气降雨,但该含水层中的水经过较长时间的地下径流,水化学组成及类型与浅层地下水及地表水不同。观测井观测数据的大幅度变化,均为含水层中水体

真实变化,反应了真实的含水层中组分及含量的变化情况,因此可应用于二阶差分分析。

3.2 二阶差分结果

良好的承压含水层水化学组分的改变,主要依赖于水岩反应的反应程度,而能够改变其反应程度的影响因素则可归结为岩石本身性质及地下水状态。岩石的性质包括岩石岩性、与水发生水

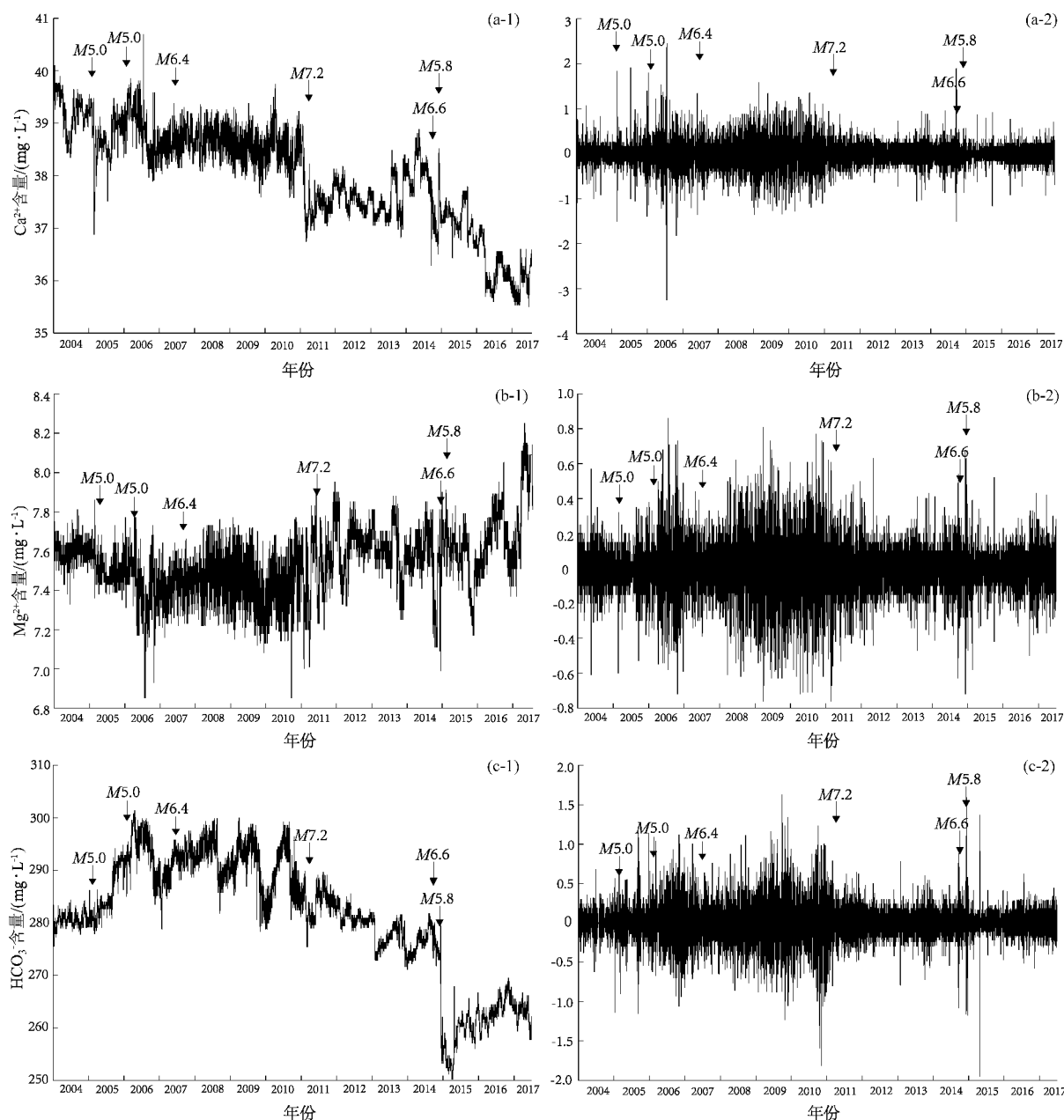


图5 滇17井 Ca^{2+} (a-1)、 Mg^{2+} (b-1)、 HCO_3^- (c-1) 观测曲线及其二阶差分结果 (a-2, b-2, c-2) 与地震对应关系

Fig. 5 The relationship between the observation curve of calcium (a-1), magnesium (b-1), bicarbonate (c-1) and the corresponding relationship between their second order differential results of the Dian-17 Well and earthquakes (a-2, b-2, c-2)

岩反应的岩石表面积及裂隙大小等；而地下水状态包括地下水流速、温度、压力、水化学性质及水岩反应时间等，这些因素都能够影响水岩反应的程度。

在应力加载过程中，岩石产生的破裂，地下水的压力、流速会随着应力加载的改变而改变，应力积累程度越高，岩石破裂程度越大，差异性也越大，同时地下水流速、压力等也会产生较大变化，这些过程都会导致水岩反应程度的差异。而二阶差分能够反映水岩反应速率的差异，这种差异能够侧面反映应力积累的程度，即指示该区域的应力积累情况。

由于滇 17 井于 2003 年进行了观测系统的改造，本文选取了改造后的资料进行分析。图 5 为 2004 年 1 月 1 日至 2017 年 6 月 30 日滇 17 井 Ca^{2+} ， Mg^{2+} ， HCO_3^- 观测曲线（数据均为日值观测）及对应的二阶差分结果（图 5）。为了对比地震的发生情况，进一步对 2004—2016 年该井周边地震进行了统计，给出测井周围 200 km 范围内 5 ~ 5.9 级以上地震、300 km 内 6 ~ 6.9 级地震以及 500 km 内 7 级以上地震的分布情况（图 6）。

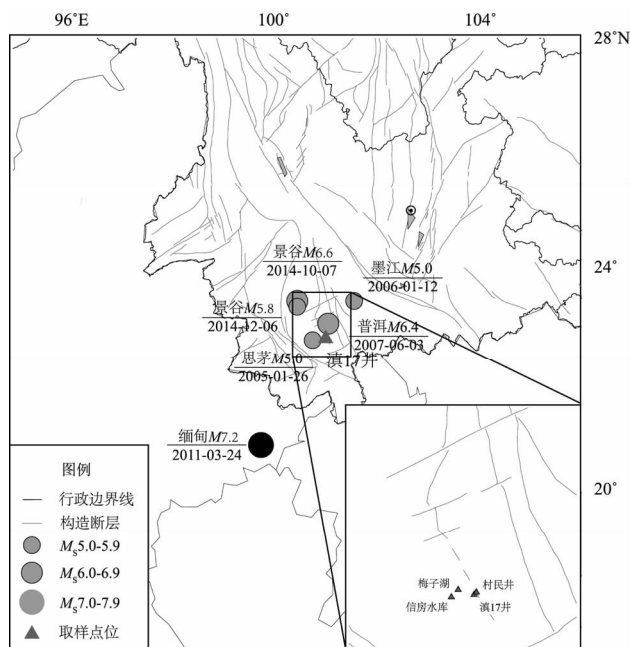


图 6 滇 17 井周边 500 km 内 5 级以上地震及取样点位置分布图（2004-01-01—2017-06-30）

Fig. 6 The distribution of the earthquakes and the location of the samples around the Dian-17 Well (2004-01-1—2017-06-30)

从图 5 可以看出，滇 17 井水化学数据的长期观测曲线由于存在一定年变及地震震后效应，观测数据与地震的对应关系不明显。以滇 17 井的 Ca^{2+} 为例（图 5a），通过对数据进行二阶差分处理，得到的二阶差分结果较原始观测曲线发生了明显变化。在强震发生之前，观测数据的二阶差分结果都存在一定幅度的高频波动，5 ~ 5.9 级地震前多以短时间高频并伴有突跳的情况出现，高频情况并不突出；6 级以上地震高频情况较为显著，2007 年普洱 6.4 级地震及 2014 年景谷 6.6 级地震前，均出现了高频波动现象，2011 年缅甸 7.2 级地震前高频现象更加明显。同时，在地震较为平静的 2011 年下半年至 2014 上半年的 3 年内，其二阶差分结果均出现了相对的平稳变化期，各水化学测项处理结果变化也较为平稳，可作为平静期背景值的数据参考。

滇 17 井 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 也显示出了同样的高频波动情况（图 5b, c）。根据地震震中距及震级大小，在地震发生前滇 17 井水化学测项二阶差分结果出现了高频次波动变化及大量突跳，数据形态与 Ca^{2+} 所显示的情况较为类似。2007 年普洱 6.4 级地震与 2014 年景谷 6.6 级地震震级相差 0.2 级，震中距相差 76 km，但通过滇 17 井 3 项水化测项均可明显发现，2007 年普洱地震前所产生的二阶差分高频波动现象明显强于 2014 年景谷地震，表明该高频波动随震中距增大，变化剧烈程度会出现大幅度的减小的现象。通过对比不同震级地震前水化学测项的二阶差分结果变化可知，5 ~ 5.9 级地震前多表现为高值突跳，并伴有短时间的高频波动；6 ~ 6.9 级地震前多为高频波动，伴有一定高值突跳；7 级以上地震则表现为长时间大幅度的高频次波动，且期间伴有一定的高值突跳，变化情况最为剧烈。

4 结论

滇 17 井所观测的含水层为承压含水层，埋藏较深，观测数据受外界干扰的可能较小。

对滇 17 井水化学及氢氧同位素检测结果表明，观测的承压含水层与周边大型地表水体及浅层地下水没有直接快速的水力联系，受周边地表水体、浅层地下水及大气降雨直接补给的干扰较小；该含水层中的地下水径流过程中经过一定的水岩反

应, 离子含量较地表水及浅层地下水含量较高, 符合低矿化度水流经砂岩径流区后, 发生水岩反应, 形成高矿化度水的水化学类型及水文地球化学过程, 但该含水层中的水仍为未成熟水, 水体成熟度较低, 没有经过地下热源的加热作用 (Zhou *et al.*, 2010)。

由氢氧同位素的构成情况可知, 滇17井含水层的最终补给来源为大气降雨, 但径流时间较长, 发生了一定的同位素交换及演化过程。而地表水则受同位素蒸发作用影响, 向右侧偏离该区域的大气降水线, 在同位素的构成上与承压含水层中的水存在较大差异。

结合二阶差分方法, 得到滇17井观测数据二阶差分结果中的高频及突跳部分, 这些异常波动来自于岩石破裂所产生的新鲜断面和地下水流速及压力等条件的改变, 这些异常波动能够较为准确地反应滇17井周边区域构造应力变化的情况。在周边有中强地震发生时, 二阶差分结果出现明显的异常高频次波动, 且伴随有高值突跳, 而在地震相对平静时期, 其变化较为平稳。

本文提出的水化学与数据处理结合的方法能够确定观测井与周边水体的水化学差异, 判定其水力联系情况, 进而排除干扰因素, 在此基础上, 通过二阶差分方法, 能够准确提取滇17井水化学测项在震前出现的高频波动异常信息, 为该区域区域构造应力的改变提供有力的证据, 也为该区域未来地震趋势的判定提供有力支撑。

中国地震台网中心孟令媛、韩颜颜等在论文撰写方面提出了宝贵意见, 云南省地震局高文斐提供了观测数据, 在此一并表示衷心感谢。

参考文献:

顾慰祖. 2011. 同位素水文学[M]. 北京: 科学出版社.
 黄天明, 聂中青, 袁利娟. 2008. 西部降水氢氧稳定同位素温度及地理效应[J]. 干旱区资源与环境, 22(8): 76–81.
 兰双双, 迟宝明. 2010. 汶川地震近区深层井孔-含水层系统水位异常响应研究[J]. 水文地质工程地质, 37(2): 1–5.
 刘耀炜, 范世宏, 曹玲玲. 1999. 地下流体中短期异常与地震活动性指标[J]. 地震, 19(1): 19–25.
 陆徐荣, 周爱国, 王茂亭, 等. 2010. Piper图解淮河流域江苏地区浅层地下水水质演化特征[J]. 工程勘察, 38(2): 42–47.
 莫承彬, 覃佑邦. 1995. 二阶差分法在电阻率测深中的应用[J]. 物探与化探, 19(1): 60–67.
 任晓霞, 任佳, 闫熠, 等. 2004. 赤城台水位异常与地震关系的研究

[J]. 地震地磁观测与研究, 25(6): 91–96.
 王瑞久. 1983. 三线图解及其水文地质解释[J]. 工程勘察, (6): 21–23.
 韦忠礼. 1999. 二阶差分方程非振动的渐近性态[J]. 数学年刊 A 辑(中文版), 20(1): 57–66.
 晏锐, 黄辅琼, 陈颀. 2007. 小波分析在井水位的气压和潮汐改正中的应用[J]. 中国地震, 23(2): 204–210.
 由志福, 钟约先. 1999. 基于最小二阶差分的相展开方法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 39(2): 18–22.
 张磊, 刘耀炜, 任宏微, 等. 2016. 氢氧稳定同位素在地下水异常核中的应用[J]. 地震地质, 38(3): 721–731.
 张炜. 1988. 水文地球化学预报地震的原理与方法[M]. 北京: 教育科学出版社.
 章新平, 姚檀栋. 1994. 我国部分地区降水中氧同位素成分与温度和降水量之间的关系[J]. 冰川冻土, 16(1): 31–40.
 朱成英, 高小其, 李艳萍, 等. 2011. 新04号泉溶解气CO₂异常特征分析[J]. 地震地磁观测与研究, 32(3): 95–99.
 Claesson L, Skelton A, Graham C, *et al.* 2007. The timescale and mechanisms of fault sealing and water-rock interaction after an earthquake[J]. Geofluids, 7(4): 427–440.
 Craig H. 1961. Isotopic Variation in Meteoric Waters[J]. Science, 133(3465): 1702–1703.
 Du J G, Amita K, Ohsawa S, *et al.* 2010. Experimental evidence on formation of imminent and short-term hydrochemical precursors for earthquakes[J]. Applied Geochemistry, 25(4): 586–592.
 Du J G, Si X Y, Chen Y X, *et al.* 2008. Geochemical anomalies connected with great earthquakes in China[J]. Nova Science Publishers, Inc: 57–92.
 Igarashi G, Saeki S, Takahata N, *et al.* 1995. Ground-water radon anomaly before the kobe earthquake in Japan[J]. Science, 269(5220): 60–61.
 Inan S, Paul B Werner F, *et al.* 2012. Springwater chemical anomalies prior to the M_w7.2 Van Earthquake (Turkey) [J]. Geochemical Journal, 46(1): 11–16.
 Mörtz M, Torssander P, Skelton A, *et al.* 2004. Hydrogeochemical changes before and after a major earthquake [J]. Geology, 32(8): 641–644.
 Nishizawa S, Igarashi G, Sano Y, *et al.* 1998. Radon, Cl⁻ and SO₄²⁻ anomalies in hot spring water associated with the 1995 earthquake swarm off the east coast of the Izu Peninsula, Central Japan[J]. Applied Geochemistry, 13(1): 89–94.
 Piper M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water – analyses[J]. Eos Transactions American Geophysical Union, 25(6): 914–928.
 Scholz C H, Sykes L R, Aggarwal Y P. 1973. Earthquake prediction: a physical basis[J]. Science, 181(4102): 803–810.
 Skelton A, Andren M, Kristmannsdóttir H, *et al.* 2014. Changes in groundwater chemistry before two consecutive earthquakes in Iceland[J]. Nature Geoscience, 7(10): 752–756.
 Teng, Ta L. 1980. Some recent studies on groundwater radon content as an earthquake precursor[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 85(B6): 3089–3099.

- Thomas D. 1988. Geochemical precursors to seismic activity [J]. Pure & Applied Geophysics, 126(2-4): 241-266.
- Wakita H. 2009. Geochemistry as a tool for earthquake prediction [J]. Earth Planets & Space, 25: 175-183.
- Wang C Y, Manga M. 2015. New streams and springs after the 2014 M_w 6.0 South Napa earthquake [J]. Nature Communications, 6: 7597.
- Woith H, Wang R J, Maiwald U, *et al.* 2013. On the origin of geochemical anomalies in groundwaters induced by the Adana 1998 earthquake [J]. Chemical Geology, 339(2): 177-186.
- Zhou X Ch, Du J G, Chen Zh, *et al.* 2010. Geochemistry of soil gas in the seismic fault zone produced by the Wenchuan M_s 8.0 earthquake, southwestern [J]. China. Geochemical Transactions, 11(1): 1-10.

Fluid Anomalies Detection of the Dian - 17 Well Based on Geochemical Analysis and its Application

TIAN Lei, YU Huaizhong, ZHOU Zhihua

(China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China)

Abstract

Taking hydrochemical observation items in Dian-17 well as an example, we identified the hydrogeological and geochemical condition around the observation well and determined the nature of aquifer and its recharge relationship with surrounding water bodies. By means of the two order difference method, we determined the abnormal fluctuation of the two order differential result of the data, and extracted the relevant information. There is no direct hydraulic connection between the aquifer and other possible disturbance sources, such as large surface water bodies and shallow groundwater. The change of observation data reflects the overall change of the whole aquifer, whose main reason might be the change of environment of tectonic stress. The result of the second order differential acceleration shows that calcium, magnesium and bicarbonate monitoring data have a high - frequency fluctuation and high value kicks before some $M5$ earthquakes within 200 km, $M6$ earthquakes within 300 km, and $M7$ earthquakes within 500 km from the epicentre. This research shows that the second order differential acceleration result is an evidence of the increasing tectonic stress on the premise of confirming the condition of the observation well, and can be a support for the earthquake prediction.

Keywords: the Dian - 17 observation well; geochemistry; hydrogen and oxygen isotopes; second order differential acceleration; corresponding relation to earthquakes