

盛艳蕊、张子广、张素欣等, 2015, 昌黎井水位破年变异异常分析, 中国地震, 31 (2), 399 ~ 408。

昌黎井水位破年变异异常分析

盛艳蕊¹⁾ 张子广¹⁾ 张素欣¹⁾ 杨歧焱¹⁾ 于春颂²⁾

1) 河北省地震局, 石家庄市槐中路 262 号 050021

2) 河北省地震局秦皇岛中心台, 河北 秦皇岛 066100

摘要 井水位破年变异异常是中强震前中短期异常的重要表现形式, 但降雨、地下水开采等因素也会引起水位年变动态的改变。本文利用动态年周期方法识别出 2000 ~ 2013 年昌黎井水位破年变异异常, 结果显示, 2010、2012 年该井水位破年变是与地震活动有关的前兆异常, 其他时段的水位破年变异异常多为降雨、井孔条件改变、附近井孔抽水等因素引起, 表明该井水位异常可以为震情判定提供依据。

关键词: 井水位 破年变 动态年周期方法 异常分析

[文章编号] 1001-4683 (2015) 02-0399-10 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

地下水可灵敏地记录到地壳微小的体应变, 反映地震孕育信息, 但水位的变化也包含其它干扰因素。干扰排除、前兆异常识别及异常特征的分析, 是进行震情判定工作的基础。井水位异常的主要特征有多年趋势上升、下降以及水位破年变或固体潮畸变等 (国家地震局科技监测司, 1995), 其中井水位破年变异异常是中强震前中短期异常的重要表现形式之一, 分析水位破年变异异常对震情判定具有重要意义。

井水位破年变异异常是指水位年变形态遭到破坏 (国家地震局科技监测司, 1995; 周翠英等, 2010), 总结《中国震例》中水位破年变主要类型有年变幅改变、年变规律消失、改变多年基值、年动态改变 (反向变化、上升或下降时间提前或推迟)、上升或下降速率改变等, 其中反向变化、速率改变的破年变异异常对应地震的信度较高。井水位破年变异异常多出现在地震前十几天 ~ 1 年左右, 属中短期异常, 一般在地震发生后异常逐步结束; 破年变异异常对应的地震震中距多在 300km 范围左右 (张肇诚等, 1988、1990a、1990b、1999、2000、2002; 陈棋福等, 2002a、2002b、2003)。

分析昌黎井水位年动态变化, 发现 2000 年以来井水位破年变异异常频次增多。近年来由于经济的发展, 环境干扰对观测井的影响增多, 井水位破年变是环境干扰引起还是构造活动引起的地震前兆异常, 需要进一步分析。本文利用动态年周期方法识别 2000 ~ 2013 年昌黎

[收稿日期] 2014-08-18; [修定日期] 2015-04-09

[项目类别] 河北省地震科技星火计划项目 (201308) 和河北省地震局地震科研基金项目 (2012026) 资助

[作者简介] 盛艳蕊, 女, 1983 年生, 硕士, 主要从事地震地下流体研究。E-mail: shengyr2007@sina.com

井水位破年变异常,基于前人研究成果,主要从降雨、井孔观测条件改变、附近井孔抽水、孕震机理等方面分析引起昌黎井水位破年变异常的原因。

1 昌黎井井孔概况

昌黎井地处燕山山前平原,饮马河冲积扇上,距离昌黎-宁河断裂约 1.5km(图 1),位于断裂的西北盘(上升盘),为地热异常区温泉钻孔,成井深度 301.04m,主要出水段为 172~180m(图 2),地下水类型为裂隙、孔隙混合承压水(曹新来等,2001)。昌黎井处于低山丘陵水文地质区,北部山区到井区的地形坡度较大,是该井裂隙水的补给区(车用太等,2004a)。昌黎井水位具有明显的年变特征:每年 3 月底至 4 月初水位下降,5 月份前后一段时间下降速率较大,雨季来临水位开始回升,一般在降雨充分的 7~8 月水位回升较快,随后缓慢上升,直至翌年 3 月份达年最高水位,雨季水位回升幅度受降雨量大小影响(车用太等,2004b);这种变化的动态说明含水层受春灌影响水头降低,雨季水位又迅速回升则说明补给区不是很远。2004 年 7 月洗井后水位仍具有年变特征。

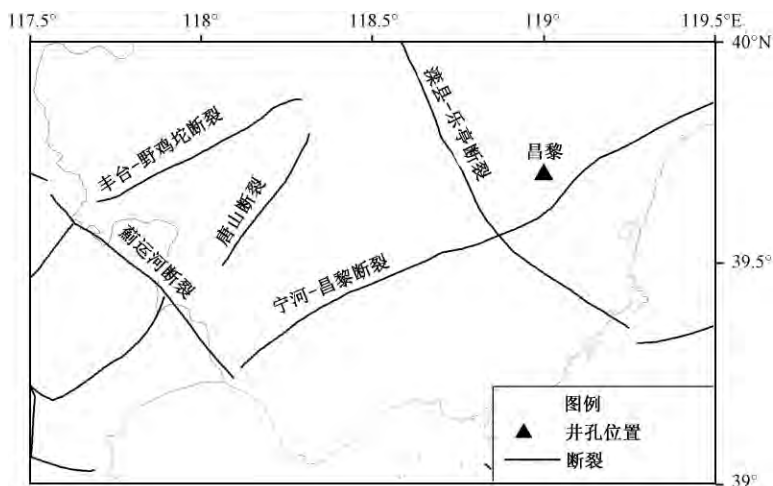


图 1 昌黎井周边地质构造简图

2 昌黎井水位破年变异常判别

本文利用动态年周期方法识别昌黎井水位破年变异常,依据《中国震例》中总结的破年变异常特征进行分析。

2.1 动态年周期方法

$h(t)$ 为井水位年动态变化, $\bar{h}(t)$ 为某一相对时段井水位平均值,作为标准年动态,用该时段的标准年动态和实际观测曲线对比,当两者变化相差较大时,作为异常。标准年动态曲线根据地震前 2~3 年井水位变化较平稳时期的观测值计算得到。

$$\bar{h}(t) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m h_{jt} \quad (t = 1, 2, \dots, n_j) \quad (1)$$

式中, m 为相对时段内所含的年数, n_j 为第 j 年的观测次数, h_{jt} 是第 j 年度 t 时刻的水位观测

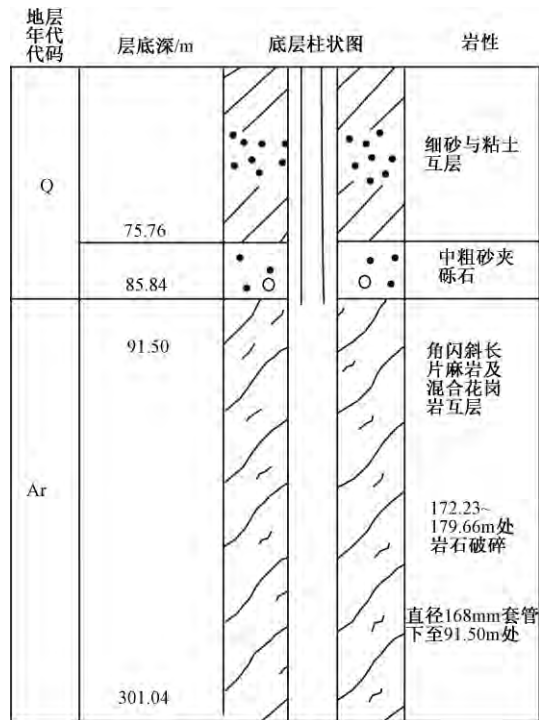


图2 昌黎井井孔柱状图

值(刘喜兰等,2003)。

1983~1999年昌黎井水位多年水位均值在0.9m左右波动,选取水位年动态清晰、变化较为稳定的1997~1998年的水位平均值作为标准年动态,利用标准年动态和实际观测值对比,发现2001、2002年水位在0.5m以下波动,未达到往年的水位高值,水位年变幅改变。2004年洗井之后水头升高,2007年以后水位基本稳定,在1.2m左右波动变化,但年动态未改变,与标准年动态(为符合实际水位动态变化,有些年份标准年动态为上述时段计算的水位值+0.4m)相比,2007、2008年水位趋势上升,上升速率改变;2009年雨季水位未回升;2010年2月中旬~5月反向上升;2012年4月反向上升;2013年10月底反向下降(图3)。

3 昌黎井水位破年变异异常分析

分析昌黎井水位破年变成因,主要从降雨、井孔观测条件改变、附近井孔抽水以及孕震机理等方面进行。

3.1 水位破年变与降雨关系

昌黎井含水层上部有较厚的粘土隔水层,不直接接受降雨补给,该井北部为燕山山脉南麓,地势陡峭,出露大面积的花岗岩和片麻岩,主要通过地下径流对井水位补给。多年观测资料表明,正常情况下,昌黎井水位在雨季(或稍有推迟)有上升变化,因此,分析水位的破年变,可从降雨渗入量的变化入手。

1983~2000年昌黎地区年降雨量为332~848mm(表1),平均年降雨量589mm,雨季大幅降雨多集中在7~8月,也有年份提前到5~6月,或推迟到9~10月。1999~2002年连续

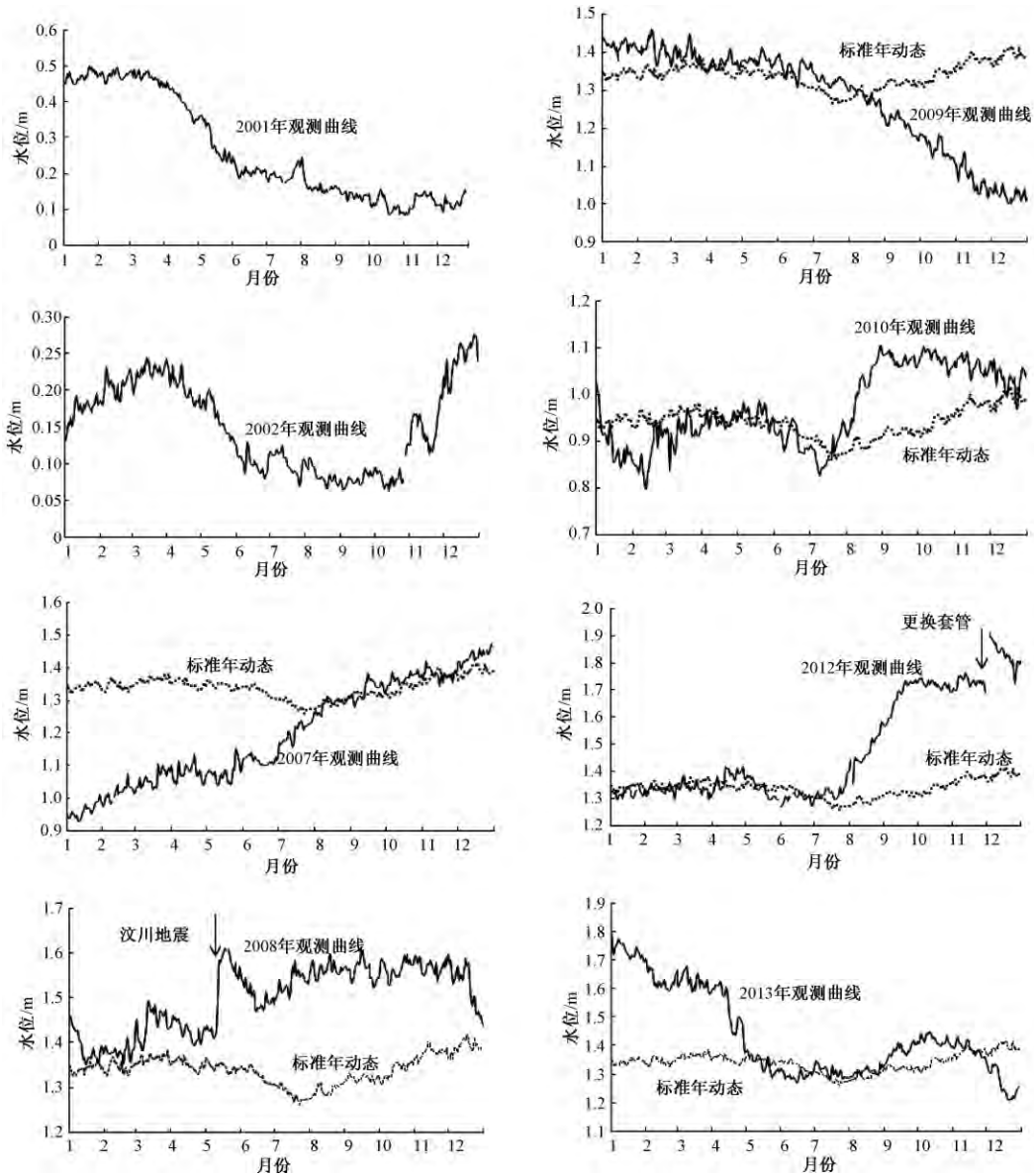


图3 昌黎井水位观测曲线与标准年动态水位曲线的对比

4 年年降雨量小于多年平均年降雨量,2001、2002 年雨季最大月降雨量小于 200mm (图 4), 对含水层补给较少,通过地下径流对井水位补给也会偏少,径流补给对井水位有滞后效应 (一般情况下,雨季之后水位翌年 3 月才能达到最高值),对比 1989、1992、1993 年降雨量低于多年平均降雨量时,出现雨季之后水位回升较少、年变幅改变的破年变异异常。因此,可以认为 2001 ~ 2002 年昌黎井水位年变幅改变异常与 1999 年以来的降雨量显著偏少有关。

2007、2008 年昌黎井水位趋势上升,且上升速率较快。2000 ~ 2005 年雨季降雨量均值 343.5mm,2006 ~ 2008 年雨季降雨量分别为 468.5、454.6 和 384.3mm。对比发现,2006 ~

表 1 1999 ~ 2002 年昌黎地区年降雨量表

年份	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
降雨量/mm	668	600	848	816	732	686	457	689	700	463
年份	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
降雨量/mm	470	674	670	536	488	761	332	425	377	390

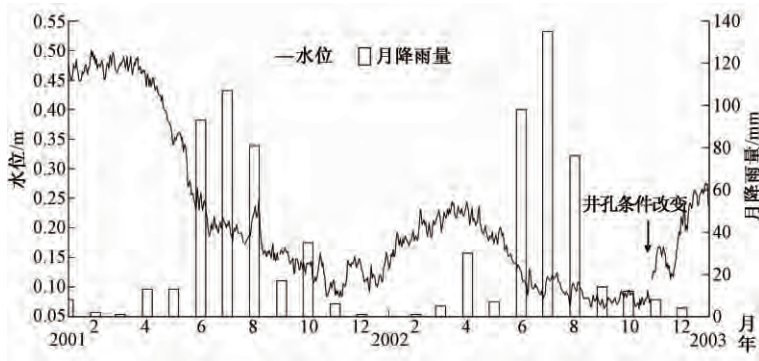


图 4 昌黎井水位曲线与月降雨量曲线的对比

2008 年雨季降雨量较往年雨季降雨量均值偏大, 计算 2006 ~ 2008 年雨季降雨量与水位高值相关系数为 0.74406, 说明降雨对水位的影响较大。降雨对井水位的影响有即时效应和滞后效应, 下面用褶积滤波方法分析降雨量对昌黎井水位的影响。

把井孔水位、含水层看成一个系统, 具有系统函数 $R(t)$, 降雨量 $C_R(t)$ 为输入信号, 降雨对井水位的影响值 $H_R(t)$ 为输出信号, 三者之间的褶积关系为: $H_R(t) = R(t) * C_R(t)$, 井水位的趋势变化 $h(t)$, 则昌黎井水位

$$H(t) = h(t) + H_R(t) = h(t) + R(t) * C_R(t) \tag{2}$$

降雨对井水位影响的即时效应, 利用一次项拟合, 降雨对井水位的滞后效应, 利用多项式拟合, 则降雨对井水位影响的数学模型为

$$R(t) = \begin{cases} 0 & t \leq 0 \\ A_0 + A_1 t & 0 < t \leq t_1 - t_0 \\ A_2 + A_3 t + A_4 t^{-1} + A_5 t^{-2} & t_1 - t_0 < t \leq t_2 - t_0 \\ 0 & t > t_2 - t_0 \end{cases} \tag{3}$$

假定井水位的趋势变化 $h(t)$ 为线性变化, 利用线性项 $B_0 + B_1 t$ 拟合, 考虑降雨对井水位的即时及滞后效应(张学民等, 1996), 则

$$\begin{aligned} \rho_s(t) &= B_0 + B_1 t + R(t) * C_R(t) = B_0 + B_1 t + \sum_{\tau=0}^{t_2-t_0} R(\tau) C_R(t - \tau) \\ &= B_0 + B_1 t + A_0 \sum_{\tau=0}^{t_1-t_0} C_R(t - \tau) + A_1 \sum_{\tau=0}^{t_1-t_0} \tau C_R(t - \tau) + A_2 \sum_{\tau=0}^{t_2-t_1} C_R(t - \tau) + \\ &A_3 \sum_{\tau=0}^{t_2-t_1} \tau C_R(t - \tau) + A_4 \sum_{\tau=0}^{t_2-t_1} \tau^{-1} C_R(t - \tau) + A_5 \sum_{\tau=0}^{t_2-t_1} \tau^{-2} C_R(t - \tau) \end{aligned} \tag{4}$$

昌黎地区降雨多集中在每年的7~8月,井水位在7月底8月初左右开始回升(即时效应),水位在翌年2月底3月初左右达到最高值(滞后效应),因此认为,降雨影响即时效应为1个月,滞后效应为5个月,降雨对井水位的影响为6个月(宋晓磊等,2006),则 $t_1 - t_0 = 1, t_2 - t_1 = 5$ 。根据式(4)可知降雨对昌黎井水位的影响有8个待定系数,即 $B_0、B_1、A_0、A_1、A_2、A_3、A_4、A_5$ 。将昌黎井水位观测值及降雨量作为时间的函数代入(4)式,通过多元回归得到8个系数,最后得出降雨对井水位影响的定量值。

经褶积滤波消除降雨对昌黎井水位的影响之后,井水位变化较平稳(图5),因此,认为2007~2008年井水位年变异常是由于2006~2008年的降雨量变化引起的。

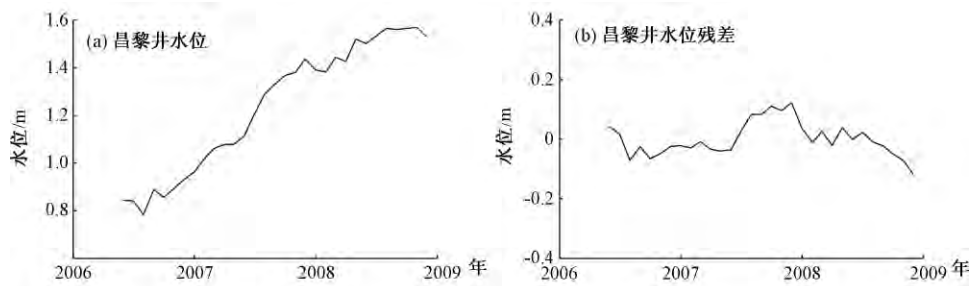


图5 昌黎井原始水位与降雨量校正对比曲线

3.2 水位破年变与井孔条件改变的关系

2002年昌黎井的水位处于观测以来的最低值,存在断流危险,于2002年10月对井口装置进行改造,在出水口加装了三通,三通的內径是原排水管内径的三分之一,泄流量减少,井水位势必会上升。2003年6月出水口流出黑色、有臭味的粘稠状物质,7月15日~8月1日断流,雨季过后又缓慢回升至自流,2004年初,出水口底部由于多年腐蚀,出现严重漏水,于2004年7月3~24日采用空压机负压洗井(岳秀侠等,2005),洗掉残留在井壁及井底的沉淀物,使井壁周边的含水层导水能力变大,井-含水层系统水量交换增加,因此,水位上升(图6)。由此可见,昌黎井水位2002年10月~2004年的水位年动态消失的破年变异常是由于井孔条件改变引起的(张素欣等,2003)。



图6 1983~2007年昌黎井水位日均值曲线

3.3 水位破年变与附近井孔抽水关系

2009 年昌黎井水位呈趋势性下降,雨季降雨量较往年偏大,但雨季之后水位无回升(图 7)。经现场调查核实,该井东南方向约 500 m 处有一口温泉井,2008 年 12 月 20 日开始抽水供浴池用水,温泉井的水温为 38.5℃ 左右,从排水量和浴池顾客流量看,该浴池用水量非常大,温泉水温与昌黎井水温一致,推测两井出水层位深度相当(张子广等,2011)。昌黎井所处地热异常区的长轴为北东方向,从所在位置看,两井同属于昌黎-宁河断裂附近,温泉井处于昌黎井的下游,该井大量抽水势必会引起昌黎井水位下降较快,从时间上看,昌黎井水位趋势下降的时间点与温泉浴池大量抽水时间吻合,因此认为,2009 年昌黎井水位趋势下降年变动态消失的破年变异异常是井孔附近温泉井抽水引起。

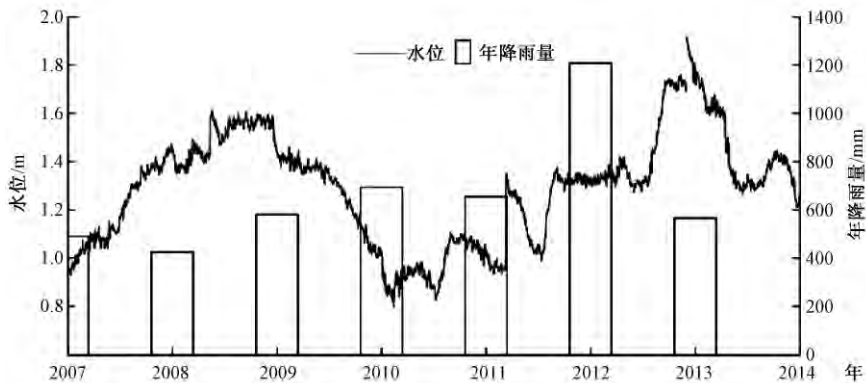


图 7 昌黎井水位、年降雨量对比曲线

应用地下水均衡理论(薛禹群等,1979),对一个含水层(组)来说,任一时间段内,含水层储水量的变化为地下水补给量与排泄量之差,以水位的变化表现出来,含水层水位的变化 ΔH 以观测井孔水位的变化反映出来(曹新来等,2001)

$$\Delta H = \frac{Q_{\text{补}} - Q_{\text{排}}}{\mu A} \quad (5)$$

式中, ΔH 为含水层水位变化幅度, $Q_{\text{补}}$ 为地下水补给量, $Q_{\text{排}}$ 为抽水量, μ 为储水系数, A 为含水层面积。

从昌黎井水位年动态变化来看,春灌会引起水位降低,雨季降雨使水位回升,说明降雨是该井区水的主要补给方式,春灌是主要的排泄方式。2009 年昌黎地区年降雨量为 580.4mm,接近多年均值降雨量,即 2009 年降雨对水的补给量 $Q_{\text{补}}$ 较往年变化不大,雨季之后不是灌溉季节,在没有剧烈地质条件变化时期,含水层面积 A 和含水层储水系数 μ 基本不变,抽水 $Q_{\text{排}}$ 增加,势必引起昌黎井水位的下降。

2013 年 10 月底昌黎井水位下降,且下降速率较快(图 7),11 月底水位整点值曲线呈锯齿状周期性波动变化(图 8 中黑色圈标出),这种变化多出现在白天,周六、周日的观测曲线较为平滑。昌黎井位于昌黎县酒厂内,经调查核实,距离观测井大约 30m 处有一口抽水井,酒厂周一到周五工作时间抽水,周末休息停止抽水,与昌黎井水位锯齿状变化时间一致,由于种种原因,抽水量无法获得,认为临井抽水引起了昌黎井水位下降。图 7 显示昌黎井水位

下降时段仍具有明显的固体潮效应,说明水位下降,未掩盖其固体潮的变化,潮差变化约9cm,表明该井仍能灵敏地记录到含水层微小的变化。所以昌黎井水位2013年10月底的下降异常虽因抽水影响,但也不能排除包含地震前兆信息的可能。

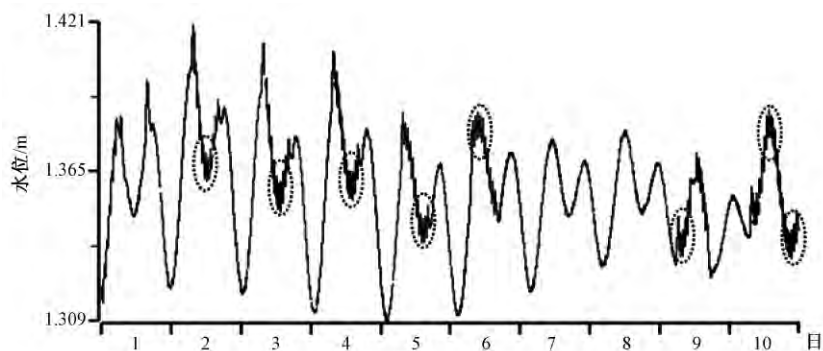


图8 2013年12月1~10日昌黎井整点值水位变化曲线

3.4 水位破年变异常映震能力分析

2010年2月下旬,昌黎井水位在趋势下降的背景下,转折上升(图7),附近温泉热水井开发仍在持续,而且雨季未到来且是春灌开采时段,水位出现上升的异常变化,认为可能与2010年3月6日滦县4.2级地震、4月9日丰南4.1级地震有关,5月初水位恢复正常动态。

2011年3月11日的日本9.0级地震发生时,昌黎井水位有同震响应,阶升幅度约0.063m,地震之后水位缓慢下降,恢复正常动态。

2012年3月底至4月底,昌黎井水位在正常下降的背景下,发生上升的破年变异常(图9),该时段未出现大幅降雨,异常结束后约1个月,发生2012年5月28日唐山4.8级地震,因此,认为这种异常变化可能与此次地震有关。

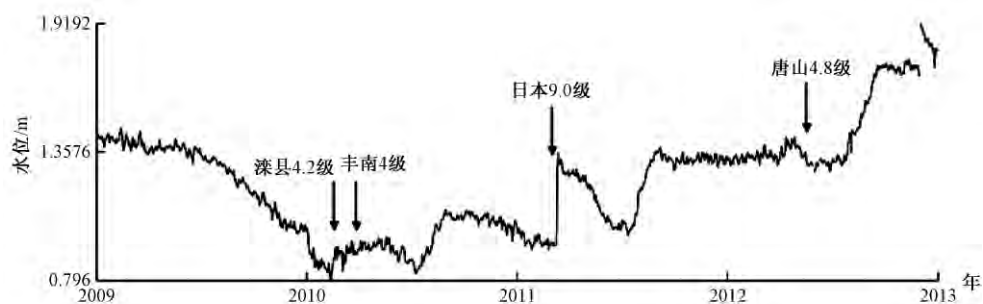


图9 地震前后昌黎井水位的观测曲线

上述几次地震前,昌黎井水位破年变异常特征见表2。

4 结论与讨论

(1) 利用动态年周期方法分析2000~2013年昌黎井水位破年变异常,结果显示,2001、2002、2007、2008年的破年变异常是因为降雨影响,2002年10月~2004年破年变异常是因

表 2 地震前昌黎井水位破年变异常特征表

序号	地震时间	发震地点 及震级	震中距 /km	异常出现时间	异常特征	异常持续 时间/天
1	2010-03-06	滦县 4.2 级	57.20	2010-02-13	上升变化	102
2	2010-04-09	丰南 4.1 级	86.70	2010-02-13	上升变化	102
3	2011-03-11	日本 9.0 级	2030	2011-03-12	同震(阶升)	1
4	2012-05-28	唐山 4.8 级	57.80	2012-03-29	上升变化	30

井孔条件改变引起的,2009 年异常为临近井孔抽水引起,2010、2012 年的破年变异常为地震前兆异常,2013 年破年变异常有临井抽水影响,但也不排除包含地震前兆异常信息的可能。

(2) 昌黎井水位自观测以来资料连续性较好,有一定的映震能力,2010、2012 年昌黎井水位在正常年动态变化的基础上出现短期反向破年变的异常变化,对应了唐山地区的几次中等地震。但由于近几年附近井孔抽水的影响,昌黎井水位日变形态出现周期性波动,而且对年变动态有一定的影响,在以后的资料分析中应考虑这些环境干扰因素对井水位的影响。

(3) 降雨量的变化会引起昌黎井水位的年变幅、上升速率改变等破年变特征,因此,对于类似于昌黎井这种具有良好降雨补给条件的井孔,出现年变规律改变或者出现短期破年变动态时,首先要分析降雨对其观测数据的影响,然后再考虑其它因素。

参考文献

- 曹新来、王贺生、张素欣等,2001,昌黎井含水层系统的水位水温动态关系与地震活动,华北地震科学,19(2),55~61。
- 车用太、王吉易、李一兵等,2004a,首都圈地下流体监测与地震预测,北京:气象出版社。
- 车用太、鱼金子,2004b,地下流体典型异常的调查与研究,北京:气象出版社。
- 陈棋福、郑大林、车时等,2002a,中国震例(1992~1994),北京:地震出版社。
- 陈棋福、郑大林、刘桂萍等,2002b,中国震例(1995~1996),北京:地震出版社。
- 陈棋福、郑大林、高荣胜等,2003,中国震例(1997~1999),北京:地震出版社。
- 国家地震局科技监测司,1995,地震地下水手册,北京:地震出版社。
- 刘喜兰、郑文俊、金艳等,2003,天津地区井水位年变异常研究,地震地质,25(2),298~306。
- 宋晓磊、黄清华,2006,降水渗透过程分析及其对视电阻率的影响,北京大学学报(自然科学版),42(4),470~477。
- 薛禹群、朱学愚,1979,地下水动力学,北京:地质出版社。
- 岳秀侠、李冬圣、陈明传等,2005,昌黎井清洗及井口改造,华北地震科学,23(3),56~59。
- 张素欣、张子广、刘俊明等,2003,2002 年 10 月以来昌黎井水位趋势上升分析,华北地震科学,21(4),19~22。
- 张学民、王志贤、臧明珍,1996,降雨对地电阻率干扰的分析,华北地震科学,14(4),71~75。
- 张肇诚、罗兰格、李海华等,1988,中国震例(1966~1975),北京:地震出版社。
- 张肇诚、罗兰格、李海华等,1990a,中国震例(1976~1980),北京:地震出版社。
- 张肇诚、罗兰格、李海华等,1990b,中国震例(1981~1985),北京:地震出版社。
- 张肇诚、郑大林、徐京华等,1999,中国震例(1986~1988),北京:地震出版社。
- 张肇诚、郑大林、徐京华等,2000,中国震例(1989~1991),北京:地震出版社。
- 张肇诚、郑大林、徐京华等,2002,中国震例(1992~1994),北京:地震出版社。
- 张子广、盛艳蕊、李非等,2011,昌黎井水位、水氡趋势动态特征分析,华北地震科学,29(2),19~22。
- 周翠英、耿杰,2010,山东地区地震分析预报手册,济南:山东科学技术出版社。

Analysis on anomalous annual variation of water level in Changli well

*Sheng Yanrui*¹⁾ *Zhang Ziguang*¹⁾ *Zhang Suxin*¹⁾ *Yang Qiyan*¹⁾ *Yu Chunsong*²⁾

1) Earthquake Administration of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China

2) Qinhuang Seismic Station, Earthquake Administration of Hebei Province, Qinhuangdao 066100, China

Abstract Anomalous annual variation of well water has higher prediction efficiency in moderately strong earthquakes, but factors such as rainfall, groundwater exploitation can also cause dynamic change of water levels. In this paper, the method of dynamic annual period is used to identify anomalous annual variation of water level in Changli well, from 2000 to 2013. The result shows that anomalous annual variations in 2012 and 2013 are related to earthquake precursory anomaly, the anomalous annual variations in other times are mainly caused by rainfall, well observation condition changes, or groundwater exploitation. This shows anomalous annual variation can be the basis for earthquake situation judgment.

Key words: Water level Anomalous annual variation Dynamic annual period Analysis of anomaly