

张素欣、张子广、盛艳蕊等, 2013, 一次显著的远场水位短临异常, 中国地震, 29(3), 386 ~ 392。

# 一次显著的远场水位短临异常

张素欣 张子广 盛艳蕊 宫猛

河北省地震局, 石家庄市槐中路 262 号 050021

**摘要** 2012 年 2 月 2 日辽宁营口发生了  $M4.3$  和  $M4.1$  地震。震前距震中 468km 的河北省黄骅井水位出现了显著的短临下降异常变化, 异常过程演化与震级较小的营口地震序列发展具有完整的可对比性。本文从地质、构造、震源机制等方面, 分析判断该异常与构造活动应有一定的相关性, 是一次显著的远场水位短临异常。

**关键词:** 黄骅井 营口地震 构造活动 水位 短临异常

[文章编号] 1001-4683 (2013) 03-0386-07 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

地下水作为一种极其活跃的物质参与了地震孕育、发生和调整的全过程, 并在地震前兆显示中作用突出。地下水位对岩体任何应力的改变都有灵敏的反映(国家地震局分析预报中心, 1987), 因此可以通过对地下水微动态观测来研究含水层受力、变形、破坏等过程(汪成民等, 1988)。如果含水层受到挤压, 其孔隙率会变小, 孔隙压力增大, 含水层的水向井孔流动, 导致水位上升。相反, 如果含水层受到拉伸, 含水层的孔隙率变大, 孔隙压力减小, 井孔的水返回含水层, 导致水位下降(刘耀炜等, 2010)。前人研究表明(李增申等, 2006; 张淑亮等, 1994; 曹新来等, 1998), 在较多的大地震前能观测到水位的突变异常变化和多次阶变序列异常情况。

2012 年 2 月 1 日 09 时黄骅井水位开始快速下降, 至 2 月 2 日 07 时下降幅度达 1.8m, 之后反转上升, 水温同步下降(图 1)。2012 年 2 月 2 日在辽宁营口(40.49°N, 122.41°E)发生了  $M4.3$  和  $M4.1$  两次地震, 辽宁大部分地区均有震感。黄骅井与营口 4.3 级地震的震中相距 468km(图 2), 为什么其水位异常演化过程与远在 468km 以外、且震级较小的营口地震序列发展具有完整的可对比性? 它与营口 4.3 级地震是因果关系还是同因不同果的关系? 异常变化可能的机理是什么, 其预测意义何在? 本文围绕这些问题, 在前人研究基础上, 从以往震例、地质构造、震源机制等方面展开研究与讨论。

[收稿日期] 2013-03-06

[项目类别] 河北省科技支撑项目: 河北省重点地区壳幔结构及地震监测预报关键技术研究(13275407D) 资助

[作者简介] 张素欣, 女, 1965 年生, 研究员。从事地下流体和综合地震预报与研究。Email: zsx@eq-he.ac.cn

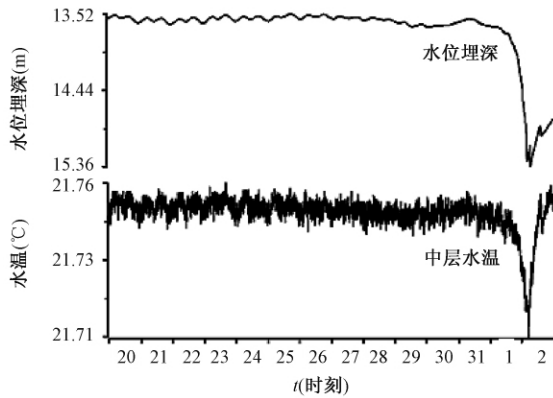


图1 2012年1月20日~2月2日黄骅井水位与水温同步异常变化图



图2 河北黄骅井和辽宁营口地震震中位置图

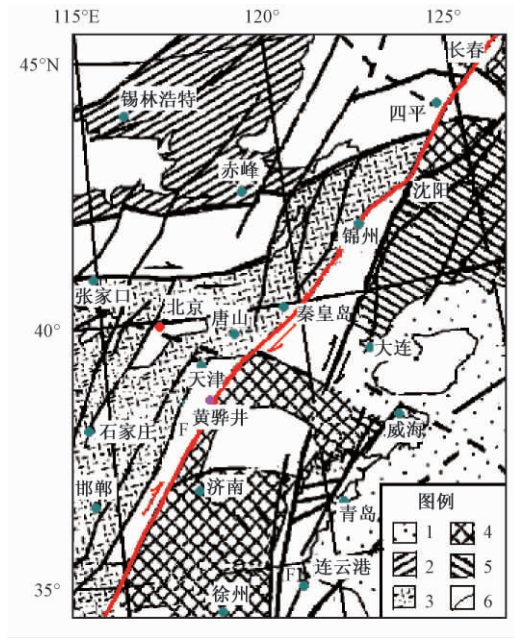


图3 黄骅井地理和构造位置示意图  
 1 海域;2 二连-松辽地块;3 晋蒙-鄂尔多斯地块;  
 4 渤海-鲁西地块;5 胶北-辽东地块;6 断裂

## 1 井孔及观测数据概况

### 1.1 井孔概况

黄骅井又名新埕1井,位于河北省黄骅市境内,处于华北沉降带中的埕宁隆起东北部边缘的埕西潜山构造带的羊二庄断裂东侧,东距渤海约1km。该井井深1250m,系奥陶系灰岩裂隙承压水,于1100m深处穿越羊二庄断裂带。羊二庄断裂从沙垒田凸起西侧向NE方

向延伸,与辽河中央凸起西侧的台安-大洼断裂相连(郟庐断裂北段),表现为左阶雁列-梳状NE向展布,在剖面上表现出高陡或花状特点,两侧地层差异较大(图3)(刘建忠等,2004;李三忠等,2004)。钻孔资料表明,井孔地层缺失下第三系和石炭二叠系,上第三系明化镇组直接与奥陶系不整合接触。断层、裂缝和地质不整合面构成了流体活动的通道,决定了该井水位动态的灵敏性。

1971年该井成井时自流,出水量 $375\text{ m}^3/\text{h}$ ,喷出的水中带出大量砂石块和气体。经多年泄流后,2001年出水量约 $170\text{ m}^3/\text{h}$ 。如此大的流量,说明该井的井孔-含水层系统导水性能良好。地下水水化学类型为 $\text{NaHCO}_3$ ,氯离子高度富集。观测段深度 $1093.5\sim 1250.0\text{ m}$ ,从地下 $1093.5\text{ m}$ 至地表有数层巨厚黏土层阻隔。因此,该井观测层承压性好,与地表水、降水无直接水力联系。1985年建地震观测站,同年12月投入试用,以动水位为主要观测手段。2001年首都圈前兆台网进行数字化改造后,该测井自10月起向河北省地震局传送资料,之前由沧州市地震局进行动水位模拟观测。

### 1.2 数据变化基本特征

多年来黄骅井水位动态变化总体上呈下降趋势,年变动态较清晰(图4)。由于该井顶板埋深较深,承压性好,与降雨无直接水力联系,因此水位持续下降主要是由于上游长期持续过量地热开采,且含水层埋藏深,水循环差,得不到及时渗透补给所致;另一方面,在大港油田开采提取的石油中绝大部分是水,虽然之后又将几乎同量的水通过注水井注入同含水层,但由于渗透系数小,渗透循环需要较长的时间过程。

黄骅井水位年变动态清晰,潮汐效应明显,最大潮差达 $90\text{ mm}$ 。水位与气压呈负相关,对气压响应快。2005~2007年的水位与气压日均值回归计算得到其相关系数为 $0.5289$ ,气压系数为 $0.42\text{ cm}\cdot\text{hPa}^{-1}$ (张子广等,2010)。该井水位动态存在风扰现象,风扰使水位变幅增大,曲线毛刺较多,但日变形态不变(图4),同震效应显著(晏锐等,2009;张素欣等,2005)。

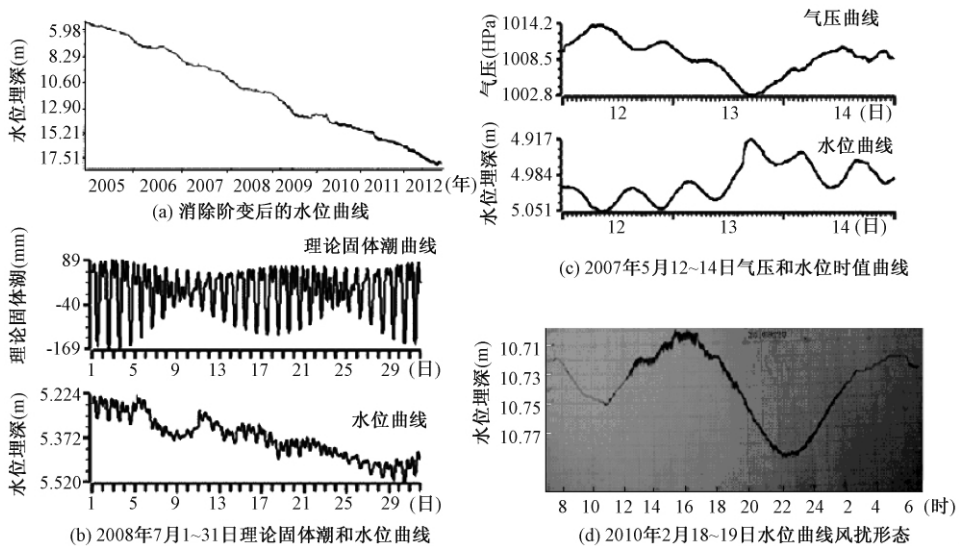


图4 黄骅井水位多年变化(a)、固体潮效应(b)、气压效应(c)和风扰形态(d)

## 2 黄骅井水位异常分析

### 2.1 水位异常过程演化与认证

2012年2月2日黄骅井水位下降异常变化经沧州市地震局工作人员于当日进行了现场落实与调查,但并未找到明显的干扰因素。模拟水位观测与数字化水位观测同步出现了突降变化,水位校测结果与实际变化情况相符,也没有发现校测引起的干扰变化(呼晶磊,2011);从数据的传输、供电系统和数采等环节未发现非正常的扰动因素;从水位和水温分钟值的变化规律和平稳性分析,资料变化是正常的;此外,大气压力变化正常,没有出现与水位同步的变化形态。因此认定水位下降异常变化系地应力变化所致应是可信的。

黄骅井水位半日波明显,2012年1月30日半日波消失并缓慢上升,31日缓慢下降,2月1日快速下降,至2日:0:51下降了720mm,之后在10cm振幅内小幅振荡44min,从2日01:35~01:47突降210mm,02:02营口1.6级地震前水位小幅振荡(图5)。

2月2日02:03~04:38水位快速下降676mm,之后又小幅振荡25min,然后小幅突升,在05:17达到最高值,05:16营口发生M4.3地震。

05:29~06:51快速回升157mm,05:43营口又发生了1次M4.1地震。

06:51~07:05水位突降260mm,之后匀速回升,至14:38水位回升504mm,此次回升过程中发生了1次3.4级地震和多次2.0级左右的地震。

14:41~15:06水位突降116mm,1h后营口发生了1次3.0级地震,之后到23:59水位开始缓慢匀速回升。

该井中层水温与水位异常变化具有同步变化特征。

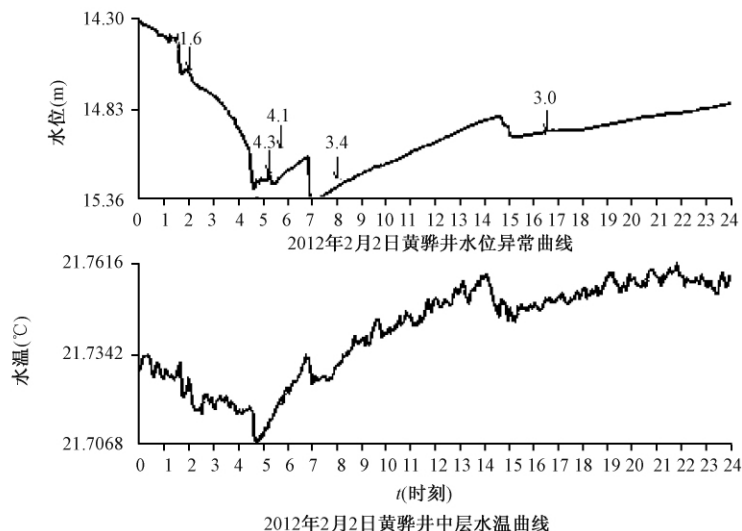


图5 黄骅井水位、水温同步短临异常曲线

从图5和对上述异常的变化过程的分析可见,该井水位异常过程以及地震序列中几次中等或有感地震前的突降现象不能因震级小、间距远而怀疑其前兆意义,同井水温的同步变化特征也佐证了异常的真实性。李富(2002)曾研究了地下流体地震前兆异常在形态的多

样性、空间分布的离散性、时间进程的不确定性、幅度的不规则性及其与地震关系的非确定性等,依据其研究结果,黄骅井水位在较远间距下对较小地震产生短临异常反应也是可以理解的。

## 2.2 异常与震源机制的关系

营口  $M_{4.3}$  和  $M_{4.1}$  地震均发生在 NE 向金州断裂带北端,震源机制解均为右旋走滑正断层,以张性破裂为主。黄骅井与营口地震震中连线的方位角约  $64^\circ$ ,4.3 级地震主破裂面(节面 1)的方向为  $250^\circ$ (图 6)。井孔位于地震主破裂张性区的延伸区,因此,水位下降和破裂延伸区的张性特征也是吻合的。

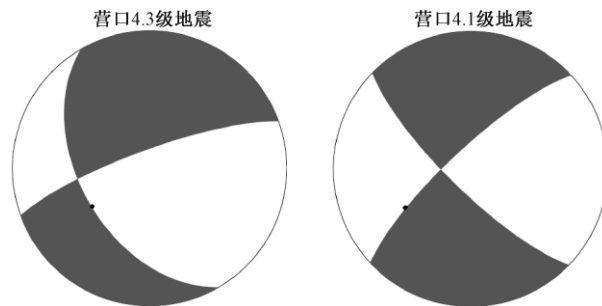


图 6 营口 4.3、4.1 级地震震源机制解(张萍等,2012)

## 3 震例分析

黄骅井 2001 年之前为动水位观测井,多次出现涌石异常现象,且涌石异常与唐山老震区及邻区的地震活动存在着较好的对应关系(于书全等,1991)。统计得知,1986 年 8 月~1989 年 6 月共发生涌石现象 12 次,期间唐山老震区及其附近地区发生  $M_L 4$  以上地震 10 次(组)。出现异常后有地震对应的 10 次,2 次无地震对应。涌石异常结束时间与地震发生时间间隔有 8 次(组)在 20 天以内,1 次为 72 天,另 1 次 43 天。

2006 年 7 月 4 日文安 5.1 级震级前,该井水位从 2005 年 1 月~2006 年 6 月呈下降趋势,6 月 28~29 日水位大幅上升,上升幅度在 200mm 左右,之后水位在高值变化。7 月 4 日凌晨水位再次加速上升,11 时 56 分发生了文安  $M_{5.1}$  地震(呼晶磊等,2008)。2001 年 7 月 16 日献县  $M_L 4.4$  震前的 7 月 4 日,该井突然断流。

## 4 异常机理分析

多年来,地震学家们力图解释地震地下水位异常与地震过程的内在关系,并从不同的角度提出了各种不同的理论和模式。较为流行的且与孕震体有关的有扩容-扩散模式、裂隙串通模式(IPE)、微裂-预位移模式等。与大范围应力场效应有关的具有代表性的观点有:红肿观点、多应力集中点不均匀模式、块动观点、同代观点、扩散-收缩模式、立交模式等(车用太,1990a)。依照扩容-渗透(DD)模式的解释,震中区附近的地下水位在震前应表现为下降→回升→发震的异常现象,而外围应表现为下降型异常现象。依照裂隙串通(IPE)模式,地下水位异常在震前应呈现为缓慢下降→加速下降→回升→发震的异常现象。显然,应用与孕震体有关的模式解释远场异常具有局限性,结果难以令人满意。

依照多点应力集中的观点,地震的孕育与发生是区域应力作用的结果,由于地壳被断裂切割成了不连续介质,当区域边界上有外力作用时,如板块挤压或地幔物质上涌,必然同步出现多个应力集中点。这些应力集中点介质的构造条件、几何形态与力学性质等不尽相同,其应力集中的程度、应变水平及其演化的进程等也会多种多样。通过研究震前地下水动态异常展布范围后可认为,大多数震前地下水异常很可能是与震源相关联的区域应力场的活动的反映,也就是说各种复杂的地下水异常反映的是一个映震场(李钦祖,1982)。黄骅井所观测的含水层连通的地下含水体裂隙大且十分发育,水循环深,径流长。特殊的地质构造和含水层结构表明了黄骅井所观测含水层可能易于接受华北地区应力场变化的影响(车用太等,1989)。同时由于观测层岩石为灰岩,质地较软弱,尤其是在较高的温度(推测在 65℃ 以上)和较低的有效围压环境条件之下,更易处于受力破裂或变形的状态(车用太,1990a)。当地壳应力状态发生改变时,岩体裂隙度就有可能发生变化从而导致含水层应力变化。因此,黄骅井水位在营口地震前呈大幅下降的短临地震异常由多点应力集中观点解释似较为客观,其水位短临异常变化与营口地震的发生可能都是对同一个区域应力变化的不同表现形式。

## 5 结语

黄骅井穿过了延伸长且断裂带两侧地层反转不整合的羊二庄断裂带,观测层位承压性好,这使该井的水位观测具有较高的灵敏性。观测层位为碳酸盐岩,其裂隙水能更好地反映地壳应力应变的变化(车用太,1990b)。通过上述分析,认为黄骅井水位下降异常与构造活动有一定的相关性,应是一次显著的远场水位短临异常反应。

## 参考文献

- 曹新来、张素欣,1998,万全井水位动态分析及地震前兆异常,地震学报,21(3),323~328。
- 车用太等,1989,不同温压条件下饱和砂岩的变形破坏与孔隙压力问题的试验研究,中国地震,5(1),9~15。
- 车用太,1990a,地下水动态映震理论与预报地震方法,地震,6(1),19~25。
- 车用太,1990b,地下水动态观测井映震灵敏条件研究,中国地震,6(4),67~73。
- 国家地震局分析预报中心,1987,地下流体预报地震论文集,北京:地震出版社。
- 呼晶磊、王鑫,2008,文安  $M_s 5.1$  地震前后埕古 I 井的水位异常变化分析,东北地震研究,24(2),35~39。
- 呼晶磊,2011,埕古 I 井校测活动造成的影响分析,防灾减灾学报,27(2),11~15。
- 李富,2002,试论地下流体前兆复杂性及其机制,地震研究,25(1),36~41。
- 李钦祖,1982,华北地区震源机制与地壳应力场,地震学报,4(1),55~61。
- 李增申、雷荣珍、李薇等,2006,晋 2 井动水位与周围显著地震的对应关系,华北地震科学,24(3),24~28。
- 刘建忠、李三忠、周立宏等,2004,华北板块东部中生代构造变形与盆地格局,海洋地质与第四纪地质,24(4),45~54。
- 李三忠、周立宏、刘建忠等,2004,华北板块东部新生代断裂构造特征与盆地成因,海洋地质与第四纪地质,24(3),57~66。
- 刘耀炜、陆明勇、付虹,2010,地下流体动态信息提取与强震预测技术研究,39~40,北京:地震出版社。
- 汪成民、车用太、万迪坤等,1988,地下水微动态研究,3~4,北京:地震出版社。
- 晏锐、黄辅琼,2009,黄骅井水位对苏门答腊 5 次地震的同震响应初步研究,中国地震,25(3),325~332。
- 于书全、尹凤春,1991,新埕 I 井涌水与邻区地震活动,地震,5(3),53~56。
- 张萍、李芳、于笑非等,2012,海城附近 4 个震群地震活动特征对比研究,防灾减灾学报,28(3),7~25。
- 张淑亮、王爱英,1994,大同镇川堡井水位阶变与地震关系初析,山西地震,7(3),23~25。

张素欣、张子广、张跃刚等,2005,2004年12月26日印尼大地震河北省数字水位、地热记震能力分析,华北地震科学,23(3),27~30。

张子广、盛艳蕊、张素欣等,2010,井水位对气压扰动的响应,地震研究,33(2),170~175。

## Significant short-term anomaly of water level in far-field

*Zhang Suxin Zhang Ziguang Sheng Yanrui Gong Meng*

Earthquake Administration of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China

**Abstract** The Yingkou  $M4.3$  and  $M4.1$  earthquakes in Liaoning Province occurred on February 2, 2012. Before the earthquake, the water level of Huanghua well in Hebei Province with the epicenter distance of 468km had a significant short-term decreasing anomaly. The abnormal process and Yingkou earthquake sequence of smaller magnitude make a complete comparison. The paper analyzes the anomaly phenomenon in terms of tectonic structure, dynamics environment and focal mechanism. The result shows that there is a certain correlation between tectonic activity and the anomaly, which can be taken as a significant short-term anomaly in far-field.

**Key words:** Huanghua well Yingkou earthquake Tectonic activity The water level Short-term anomaly