

龚永俭, 陈 嵩, 程立康, 等. 宝坻新台井水位对地下水开采的响应特征及机理探讨[J]. 华南地震, 2015, 35(2): 1-9. [GONG Yongjian, CHEN Song, CHENG Likang, et al. Study on Response Characteristics and Mechanism of Water Level in Baodi New Seismic Station Well for Groundwater Exploitation[J]. South china journal of seismology, 2015, 35(2): 1-9.]

## 宝坻新台井水位对地下水开采的响应特征及机理探讨

龚永俭, 陈 嵩, 程立康, 马丽丽, 李旭东

(天津市地震局, 天津 300201)

**摘要:** 结合对以宝坻新台井为中心、半径约 3 km 地域范围内的地下水开采井的调查结果、宝坻新台井概况和所在地区的水文地质资料以及对重点影响井——杨家口村生活井的抽水实验, 就宝坻新台井水位对周边地下水开采的响应特征进行了研究, 结果表明: 宝坻新台井对周边地下水开采的响应是邻层抽水效应的结果, 井管漏点、含水层组间“通透”很可能也是重要的影响因素; 杨家口村生活井开采地下水时宝坻新台井水位分钟值曲线会出现下降型畸变, 开采结束后逐渐恢复, 响应的滞后时间在 1 min 之内; 杨家口村生活井持续开采地下水 7 h 实验过程中, 宝坻新台井水位分钟值曲线下下降型畸变持续存在, 未呈现出“平衡状态”; 宝坻新台井水位对周边地下水开采的响应可能是由于井管存在漏点或井管外存在空隙的原因所致。

**关键词:** 地下水; 开采; 水位观测; 响应; 宝坻新台

**中图分类号:** P315.723

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-8662 (2015) 02-0001-09

**DOI:** 10.13512/j.hndz.2015.02.001

## Study on Response Characteristics and Mechanism of Water Level in Baodi New Seismic Station Well for Groundwater Exploitation

GONG Yongjian, CHEN Song, CHENG Likang, MA Lili, LI Xudong

(Earthquake Administration of Tianjin Municipality, Tianjin 300201, China)

**Abstract:** Binding on survey results of exploitation data of the wells about 3 km radius around Baodi new seismic station well, Baodi new station well profile and hydro geological data, and Yangjiakou village life well sustained pumping experiment, the paper preliminarily studies the response characteristics of water level in

**收稿日期:** 2014-09-27

**基金项目:** 中国地震局地震科技星火计划项目“天津前兆台网数据跟踪分析质量监控与产出应用研究(XH15003)”; 天津市地震局局内科研项目“宝坻新台井水位对地下水开采的响应特征及机理研究(20131006)”

**作者简介:** 龚永俭 (1972-), 男, 高级工程师, 主要从事地震台站流体、电磁观测技术和网络管理技术的研究。

**E-mail:** gong\_123@126.com.

Baodi new seismic station well by the surrounding groundwater exploitation. The results show that: the response of water level of the Baodi new seismic station well to the surrounding wells groundwater exploitation is mainly influenced by mining of Yangjiakou village life well with about 2 km away from the new station; during the water mining in Yangjiakou village life well, minute value curve of water level in Baodi new seismic station well will decrease in distortion, and it will gradually recover after the end of mining with lag time less than 1 min; the descending distortion still existed in the minute value curve of water level of Baodi new seismic station during the sustainable exploitation experimental process of groundwater in Yangjiakou village well for 7 hours, which did not appear "balance"; the response of water level of Baodi new seismic station well to water exploitation may be due to the leak in Baodi new seismic station well pipe or the void outside the well pipe.

**Keywords:** Groundwater; Exploitation; Water level observation; Respond; Baodi new seismic station

## 0 引言

地下流体广泛地赋存于地壳岩体的空隙之中。由于具有可自由流动性, 地下流体成为地壳动力过程中最活跃的因素, 地壳中几乎所有动力作用均与地下流体活动有关, 地震的孕育与发生过程也不例外。观测地下流体的各种物理、化学动态, 一直被人类作为探索地震预报科学的有希望的途径<sup>[1-2]</sup>。水位是地下流体学科的一个重要的物理测项, 水位异常在多个震例中均有突出的表现<sup>[3-4]</sup>, 车用太等<sup>[5]</sup>在对汶川  $M_s$  8.0 地震的震前异常研究中发现, 地下流体异常几乎达到全部震前异常的 46%, 而水位异常又约占到流体异常的 40%, 水位观测的价值由此可见。

但是, 水位观测往往会受到各类环境因素的影响, 严重的甚至可以导致非震异常的产生, 若不能及时识别异常种类及其成因, 很可能会在地震预测工作中做出误判, 给防震减灾工作造成重大的损失。因此, 对观测环境影响因素的调查要始终贯穿于整个观测过程<sup>[6]</sup>。大量研究结果表明: 地下水开采(包括超采)是影响水位观测的一个重要因素, 但观测井水位对周边地下水开采的响应却因“井”而异, 不但响应的形态各不相同, 而且滞后时间也各异<sup>[7-22]</sup>, 给异常的辨识工作带来了困难。宝坻新台井是宝坻地震台搬迁工程中新开凿的一口基岩流体观测井, 其构造位置条件优越, 有水位和水温 2 个地下流体主测项。水温测项曾在试观测期间有过震前反应, 因此, 很期待该井的 2 种地下流体观测资料能在地震预测工作中发挥重要作用。但是, 在日常观测中笔者发现该井水位疑似受到周边地下水开采的影响。为此, 笔者结合对该井为中心、半径约 3 km 地域范围内的地下水开采井的调查结果、宝坻新台井概况和

所在地区的水文地质资料以及对重点影响井——杨家口村生活井持续 7 h 的抽水实验, 就宝坻新台井对周边地下水开采的响应特征及其机理进行了初步研究。

## 1 观测井孔及水文地质概况

### 1.1 观测井孔概况

宝坻新台井位于天津市宝坻区方家庄镇老鸦台村南的天津市地震局宝坻地震台新台址院内, 地理坐标为  $N39.7^\circ$ 、 $E117.4^\circ$ , 海拔 2.5 m。在区域构造上, 该井位于宝坻断裂北侧, 南距宝坻断裂约 1 km, 处于宝坻断裂与蓟运河断裂交汇部位附近。该井所在地区属 1976 年唐山  $M_s$  7.8 地震的牵动区域, 在唐山地震后该地区曾发生两次  $M_s$  5.0 以上地震, 又经常存在小震活动, 是天津地区经常发生中等地震活动的地区之一(图 1)。

宝坻新台井成井时井深 523 m, 在井深 141.2 m 以上为第四纪砂及粘土沉积, 以下为不同风化程度的白云岩、白云质灰岩、灰岩等, 其中 442.6~467.9 m 为泥岩。467.03 m 以上全孔水泥固井, 井孔花管位于 470.4~518.0 m。井孔在 151.4 m 处变径, 由内径 273 mm 变为 146 mm(图 1)。

该井自 2013 年 1 月 1 日起正式进行水位和水温观测。水位观测使用的是中国地震局地壳应力研究所生产的 SWY-1A 型数字化水位仪, 仪器运转正常, 且每月均对水位仪进行校测, 水位观测数据连续、可靠。

### 1.2 井孔所在地水文地质概况

宝坻新台井所在地在行政区划上属于天津市宝坻区, 为平原区。资料显示: 天津平原区松散层自上而下划分为 5 个含水组, 第 I 含水组底界深

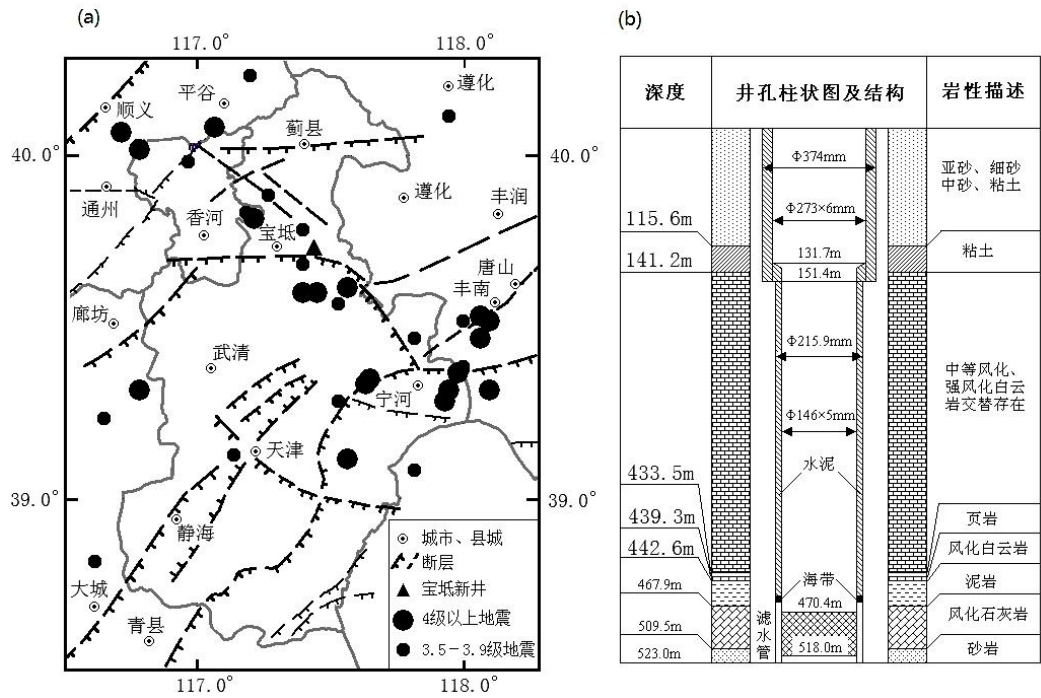


图1 宝坻新台井构造位置及钻孔柱状图  
Fig.1 Structural location and drill histogram of Baodi new seismic station well

度一般在 70 m 以上；第Ⅱ含水组在宝坻断裂以南，一般底界埋深 160~220 m，在宝坻断裂以北底界埋深为 110~200 m；第Ⅲ含水组底界深度 260~340 m；第Ⅳ含水组底界深度 360~430 m；第Ⅴ含水组底界深度 500~550 m。第Ⅰ含水组属于浅层地下水系统，第Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ含水组属于深层地下水系统<sup>[23]</sup>。浅层地下水岩性结构为多种岩性相间结构或上细下粗的双层结构，其间粘性土隔水层分布不稳定。水力特征为潜水、微承压潜水或浅层承压水，参与现代水循环，接受降水补给和蒸

发排泄，再补给能力较强。各深层含水组水力特征为高水头承压水，由于其埋藏较深，不直接参与现代水循环，补给条件较差，主要接受侧向补给和上部浅层水的越流补给，在开采量中，弹性释水量和弱透水层压密释水量占很大比重<sup>[24]</sup>。

2 周边主要开采井的调查

笔者对以宝坻新台井为中心、半径约 3 km 的地域范围内的农村居民生活井(即吃水井)、生产



图2 宝坻新台井周边主要开采井分布图  
Fig.2 Distribution map of main mining wells surrounding Baodi new seismic station well

井和农田灌溉井进行了较全面的调查, 主要开采井的位置分布用 Google Earth 绘图如图 2。

宝坻新台井及周边主要开采井的基本参数和开采概况如表 1 所示。

调查显示: 宝坻新台井周边主要开采井是农村居民生活井(吃水井), 井深一般在 90~220 m, 仅方家庄镇杨家口村生活井深些, 为 301 m。农村居民生活井每日均开采地下水, 开采时间相对较固定, 大致在早(6: 00~8: 00)、中(11: 00~13:

00)、晚(17: 00~20: 00) 农村居民做饭和吃饭期间, 这主要是当地村民自治组织考虑村民取水方便而定。绝大多数村庄的生活井开采是由电子自动控制装置来控制抽水机的开、关时间。绝大多数生活井全年开采时间基本一致, 抽水泵没有更换过, 故每日对地下水开的采量大致相同; 有的生活井开采时间在夏季有增加或在冬季有减少, 开采量相应随之变化, 但大多数月份开采时间和地下水的开采量稳定。周边农田主要用河水灌溉,

表 1 宝坻新台井周边主要开采井一览表

Table 1 List of the main mining wells surrounding Baodi new seismic station well

编号	地理位置	经度/°	纬度/°	井深/m	类型	开采时 间
01	宝坻新台院内	117.400 00	39.700 00	523	观测	水位、水温观测井, 从不开采
02	方家庄镇老鸦台村	117.399 073	39.705 048	125	生活	6:00~8:00, 11:00~13:00(冬季: 11:00~13:00)
03	方家庄镇杨家口村	117.395 823	39.715 647	301	生活	05:30~07:30 10:30~12:30(冬季: 11:00~12:30)
04	方家庄镇小杜庄村	117.405 838	39.712 420	90	生活	11:00~17:30
05	方家庄镇北郝庄村	117.400 325	39.717 353	不详	生活	不详
06	方家庄镇刘黄庄村	117.419 312	39.717 233	360	生活	11:30~13:30
07	方家庄镇小角甸村	117.417 387	39.711 940	不详	生活	不详
08	方家庄镇南刘村	117.436 505	39.698 637	不详	生活	11:30~13:30
09	方家庄镇中郝庄村	117.431 233	39.707 188	不详	生活	11:30~12:30
10	方家庄镇冯家庄村	117.430 692	39.708 772	不详	生活	11:00~13:00
11	方家庄镇大芮庄村	117.428 675	39.715 923	不详	生活	11:30~12:30
12	方家庄镇安平庄村	117.419 488	39.711 085	120	生活	11:20~11:45
13	方家庄镇碱场村	117.386 400	39.706 200	不详	生活	11:00~13:00 18:00~19:00
14	方家庄镇杜家庄村	117.375 875	39.709 190	不详	生活	不详
15	方家庄镇西王庄村	117.366 510	39.705 978	不详	生活	6:00~18:00
16	方家庄镇马家庄村	117.368 117	39.703 623	不详	生活	不详
17	王卜庄镇龙虎庄村	117.432 468	39.675 017	180	生活	6:00~7:30, 11:00~13:00, 18:00~19:00
18	王卜庄镇王卜庄一村	117.422 383	39.682 072	180	生活	6:10~7:10, 18:10~19:10
19	王卜庄镇王卜庄二村	117.434 000	39.679 142	180	生活	6:00~7:00, 19:00~20:00
20	王卜庄镇王卜庄三村	117.434 637	39.685 267	180	生活	6:00~7:00, 18:00~19:00
21	口东街道小张各庄村	117.380 707	39.681 458	不详	生活	不详
22	口东街道大张各庄村	117.379 368	39.688 975	不详	生活	11: 00~13:00, 18:00~20:00
23	口东街道梁家胡同村	117.387 303	39.682 557	170	生活	6:00~7:00, 11:00~13:00
24	口东街道南王庄村	117.387 240	39.678 735	220	生活	6:00~7:00, 11:00~12:30, 18:00~19:00
25	口东街道东齐各庄村	117.396 520	39.677 840	170	生活	11:00~13:00, 夏季加一次: 18:00~19:00
26	口东街道胡家庄村	117.407 623	39.674 865	180	生活	6:30~7:30, 11:30~12:30, 17:00~18:00
27	中祥农业科技公司	117.401 305	39.696 690	100	生产	每日不定时开采
28	福运福食用菌公司	117.398 087	39.699 562	不详	锅炉	每日不定时开采
29	福运福食用菌公司	117.396 687	39.700 168	不详	制冷	每日不定时开采(夏季)
30	福运福食用菌公司	117.395 353	39.700 015	不详	制冷	每日不定时开采(夏季)
31	福运福食用菌公司	117.395 235	39.700 153	不详	生活	每日不定时开采
32	福运福食用菌公司	117.397 945	39.700 650	不详	生产	每日不定时开采
33	宝坻新台西侧田地	117.388 370	39.704 603	不详	灌溉	按需不定时开采(冬季不开采)
34	宝坻新台西侧田地	117.387 947	39.703 320	不详	灌溉	按需不定时开采(冬季不开采)
35	宝坻新台西侧田地	117.386 108	39.702 357	不详	灌溉	按需不定时开采(冬季不开采)
36	宝坻新台西侧田地	117.384 308	39.701 380	不详	灌溉	按需不定时开采(冬季不开采)
37	宝坻新台西侧田地	117.390 040	39.700 910	不详	灌溉	按需不定时开采(冬季不开采)
38	宝坻新台西侧田地	117.387 755	39.699 745	不详	灌溉	按需不定时开采(冬季不开采)

注: 表中所列井深不详的生活井深度基本在 150~220 m, 生产井和灌溉井的深度基本在 80 m 以内, 仅具体深度不详。

部分农田因离河流较远或者附近河流干涸而开采地下水灌溉。分布在农田的灌溉井基本上是浅井,井深在 80 m 以内,开采地下水随农田的干旱程度及作物的生长需求而变化,时间不固定,每次开采可能持续一到数日,每次开采地下水在量值上不固定。周边工厂主要从事食用菌类生产和加工,生产井均为浅井,井深在 80 m 以内,开采时间和开采量随生产需要而变化,短时期内表现为开采量不稳定,但长年则相对稳定。

### 3 宝坻新台井水位对地下水开采的响应特征

#### 3.1 日常响应特征

在对宝坻新台井水位数据进行预处理时,笔者发现该井水位分钟值曲线在 05:30~07:30 左右和 10:00~12:00 左右(部分季节有错动 0.5 h 或 1 h 的现象或个别日期有不同,特别是节假日)会出现一个明显的下降型畸变。为此,笔者进行了环境因素调查,对观测仪器和观测条件(特别是供电系统)进行了核实和实验,发现宝坻新台井水位分钟

值曲线的这种下降型畸变与观测仪器、观测条件均无关,从其特征来看,应当是对周边地下水开采的响应。

宝坻新台井水位对周边地下水开采的日常响应特征在分钟值观测曲线上表现较明显,主要表现为下降型畸变。由于宝坻新台井水位对固体潮有较明显的反映,因此,这种下降型畸变可以分为 3 种情形:① 下降速率增大,这种情况发生在宝坻新台井水位动态本身就处于下降的阶段;② 曲线近似平直,这种情况发生在宝坻新台井水位动态本身接近波峰、波谷的变化阶段;③ 上升速率减慢,这种情况发生在宝坻新台井水位动态本身处于上升阶段。宝坻新台井水位下降型畸变响应一般每日均有出现,时间段相对固定。对宝坻新台井水位因地下水开采导致的畸变,一般肉眼可判定,也可结合固体潮理论值曲线分析和判定(图 3)。

从图 3 可以看到:宝坻新台井水位分钟值曲线较清晰地反映出固体潮的形态,在 05:32~07:32 左右、10:02~12:02 左右,宝坻新台井水位分钟值曲线有下降型畸变出现,其中 05:32~07:32 左右水

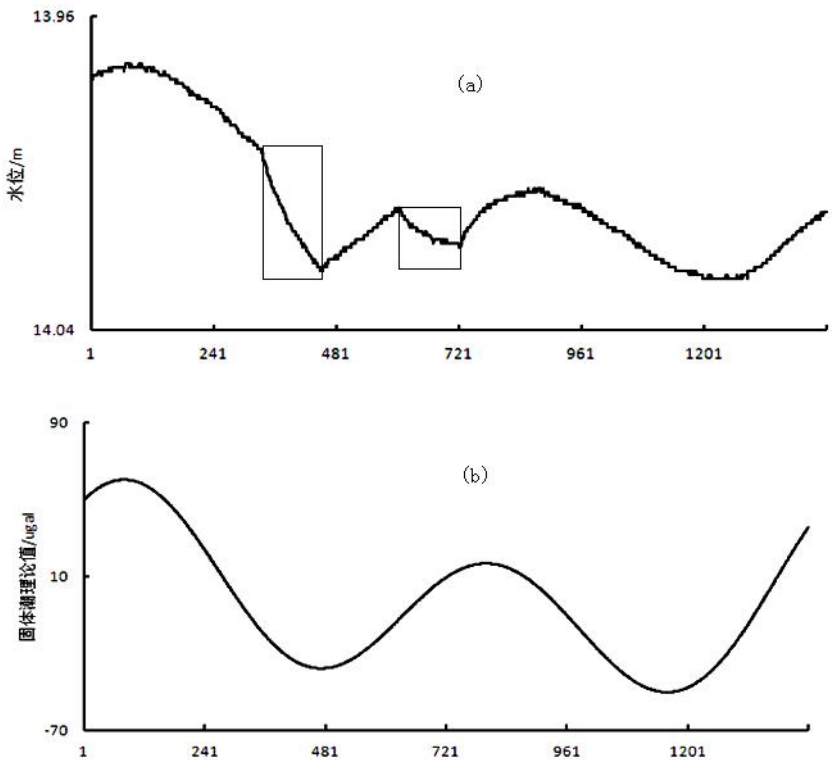


图 3 宝坻新台井水位分钟值曲线(a)和固体潮理论值曲线(b)(2014-05-22)  
Fig.3 Minute value curve of water level in Baodi new seismic station well (a)  
and theoretical value curve of earth tide (b)(May 22rd, 2014)

位分钟值曲线表现为下降速率增大,之后是恢复和上升,在 10:02~12:02 左右再次出现下降型畸变,这次水位下降由于正处于水位上升的动态背景,下降速率变慢(注:时间的准确界定来源于中国地震台网数据处理系统绘制的图件,本文中的图件较小稍难准确识别时间边界)。这是宝坻新台井水位对周边地下水开采较典型的响应特征。

由于宝坻新台井水位的下降型畸变响应在每日出现的时间段的相对固定性,笔者判断这不可能是由于周边生产和灌溉井导致,因为周边生产和灌溉井的开采在时间方面没有很有强的规律性。因此,这很可能是农村居民生活井的一口或几口同时开采导致。笔者根据开采时间的调查,认为方家庄镇杨家口村生活井是重点怀疑对象(周边最近的生活井为方家庄镇老鸦台村生活井,但该井的开采时间与宝坻新台井对地下水开采的响应时间不同)。笔者于 2014 年 5 月 23 日到杨家口村生活井现场查看,发现该井当时设定的自动抽水时间为 05:30~07:30 和 10:00~12:00,但自动控制装置比北京时间慢了 2 min。据该村负责水井工作的党支部书记苗时谦介绍,用于控制抽水泵开、关的电子自动控制装置走时不太准,经常有走慢的现象,村里不定期对电子自动控制装置校时,在村里有红白喜事时,村内开泵时间延长,由人工控制开、关泵的时间。笔者对 5 月 22 日和之前几天的宝坻新台井水位分钟值曲线与杨家口村生活井开采时间对比(剔除电子自动控制装置走时误差)发现,杨家口村生活井开采时间与宝坻新台井水位出现下降型畸变的时间基本吻合,观测井水位对地下水开采响应的滞后时间基本在 1 min 之内。因此,基本可以判定杨家口生活井开采是影响宝坻新台井水位下降型畸变的主要因素。

### 3.2 连续抽水实验情况下响应特征

为了进一步确定宝坻新台井水位分钟值曲线下降型畸变是对杨家口村生活井开采地下水的响应,以及确定在影响宝坻新台井水位观测的生活井持续开采的情况下,宝坻新台井水位分钟值曲线是否会持续出现下降型畸变,最终能否达到一个“平衡状态”(或“稳定状态”)。笔者在杨家口村干部的支持和配合下,对杨家口村生活井进行了一次较长时间的持续抽水试验。

抽水实验日期为 2014 年 5 月 31 日,抽水时间段为 05:30~12:33,约 7 h。实验前,在杨家口村生活井出水口处加装一块流量表,用于实时

监控该井地下水累积开采量。抽水实验采用人工控制开、关泵的方式,并在实验前对宝坻新台井数字化水位仪以及杨家口村生活井开、关泵人员的时钟精确校对,以确保生活井对地下水的开采时间和宝坻新台井的响应滞后时间实测的准确性。实验过程中每隔 15 min 人工记录一次水表底数。通过对水表走数分析,发现杨家口村生活井平均每分钟的开采量稳定,基本在  $0.5 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

抽水实验中,选择邻近宝坻新台井的一口深约十余米的地电类项目辅助观测井连续进行水位测量,每 15 min 一个测值。笔者发现在整个试验过程中,该浅井的水位保持恒定,波动值在 5 mm 以内,属于正常变化和人为观测误差的范围内,没有出现下降变化。这说明杨家口村生活井的开采对浅井水位的变化没有影响,也可以反推一定深度的浅井地下水开采对于深井的水位观测基本没有影响。

抽水实验当天宝坻新台井水位分钟值曲线如图 4(a)所示。

从图 4 可以看出:宝坻新台井水位分钟值曲线在 05:30 左右处于波峰期,05:30 之后杨家口村生活井抽水后,宝坻新台井水位分钟值曲线在 05:31 开始就出现了下降型畸变,一直持续到抽水结束的 12:33,期间在 09:28 抽水实验并短时停泵后重新启动,在该时间点,宝坻新台井水位分钟值曲线上出现一个微小的平直台阶(注:时间界定来源于中国地震台网数据处理系统绘制的图件,本文中的图件较小稍难准确识别时间边界)。这进一步印证了宝坻新台井水位只对杨家口村生活井开采地下水响应的迅速性,其时间滞后在 1 min 之内。周边其余稍浅的井孔开采地下水,宝坻新台井水位则无明显的响应。宝坻新台井对杨家口村生活井开采的响应特征为下降型畸变,时间滞后在 1 min 之内,实验 7 h 也未发现宝坻新台井水位下降有“平衡状态”,但似乎有相对减缓的迹象(注:图 4 中水位分钟值曲线的后 4 h 有畸变系由于降雨前气压骤变影响,与抽水实验无关)。

笔者曾设计对杨家口村生活井开采过程水位的变化进行测量,以对宝坻新台井水位对该生活井开采地下水的响应进行定量分析。但在抽水实验前,笔者进行试验测量,发现由于该井井口较小且有变径以及水泵管道连接部位等问题,测钟无法深入到水面,此项工作只得做罢。笔者也曾考虑采用固体潮改正的方法对水位响应的幅度定量化,但由于杨家口村生活井每日均有抽水,而



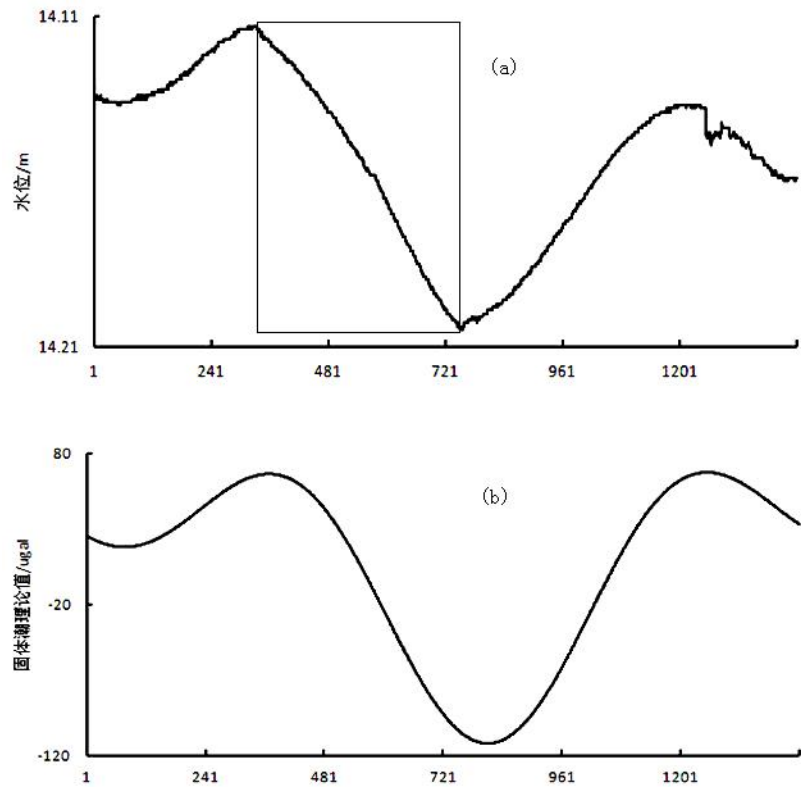


图 4 宝坻新台井水位分钟值曲线(a)和固体潮理论值曲线 (b)(2014-05-31)

Fig.4 Minute value curve of water level in Baodi new seismic station well (a)  
and theoretical value curve of earth tide(b) (May 31st, 2014)

表 2 宝坻新台井和杨家口村井水体离子含量表

Table 2 List of the ions content in water of Baodi new seismic station well and Yangjiakao village well				
井孔名称	Cl <sup>-</sup> /(mg/L)	Ca <sup>2+</sup> /(mg/L)	Mg <sup>2+</sup> /(mg/L)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /(mg/L)
宝坻新台井	55	61.1	24.1	255
杨家口村井	23	53.0	20.5	239

计算过程中难免要将每天抽水的影响拟合进去，这种方法也不能得到预期的结果。因此，本项研究未能得到观测井水位响应幅度的量值。

4 机理探讨

宝坻新台井水位对杨家口村生活井地下水开采响应的机理探究，首先要搞清宝坻新台井观测层与杨家口村生活井的取水层是否处于同一含水层组。地下水是复杂的溶液。地下水的化学成份是地下水与环境长期相互作用的产物<sup>[25]</sup>。两口井地理位置相距较近，若水体来源于同一水层，则其主要离子的含量应当是相近的。可以通过分别化验宝坻新台井和杨家口村生活井水体中的离子含量来确定这两口井的水力联系。为此，笔者对这两口井的水体离子含量进行了取样、分析(表2)。

从表 2 可以看出：宝坻新台井和杨家口村生活井水样中的的钙离子(Ca<sup>2+</sup>)、镁离子(Mg<sup>2+</sup>)和重碳酸根离子(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)的含量较接近，而氯离子(Cl<sup>-</sup>)的含量相差则较大。很明显，这两口井的水体并非来源于同一含水层组。

理论上，在承压含水层非稳定流抽水过程中，不同深度的含水层地下水位将会受到影响而发生水位上升或下降，水位上升现象称为 Noordbergum effect<sup>[26]</sup>，水位下降现象则称为邻层抽水效应<sup>[27]</sup>。观测井孔水位对非同一含水层的地下水开采的响应是指在没有发生水量交换的情况下，非抽水含水层水位随抽水含水层水位变化而变化，其本质是地层压力变化引起的——当抽水井与观测井有水通道联系时，抽水可引起观测井水位降低，响应快，影响持续时间较长；当抽水井与观测井没有

水通道联系时,抽水可引起围岩下陷,而观测井承压变化不大,观测水位反而会出现相对视上升(实际上是围岩下沉了,水是不可压缩的,体积变化不大),并随时间增长影响效应逐渐消失<sup>[28-29]</sup>。

杨家口村生活井和宝坻新台井均在宝坻断裂以北,各含水组的深度要比断裂以南浅些,而在天津平原区松散层自上而下划分为5个含水组,其中第Ⅲ含水组底界深度260~340 m,第Ⅳ含水组底界深度360~430 m,第Ⅴ含水组底界深度500~550 m。宝坻新台井的花管位于470.4~518.0 m,观测地下水层应为第Ⅴ组。杨家口村生活井的井深为301 m,又处于宝坻断裂以北,其开采层可能为第Ⅳ组(当然也可能是第Ⅲ组)地下水。如果杨家口村生活井开采层为第Ⅳ组地下水,则与宝坻新台井观测层相邻,若为第Ⅲ组地下水,与宝坻新台井观测层相隔一层。宝坻新台井是一口性能较好的井孔,水位能够清晰地记录到固体潮,因此其对非观测层地下水开采导致的压力变化会有相应的响应。杨家口村井对地下水开采是间断进行的,而其开采层与宝坻新台井的观测层可能是相邻或接近的含水层,因此会导致宝坻新台井水位分钟值曲线的畸变产生。

在抽水实验的7 h内宝坻新台井水位一直出现下降型畸变,但在最初下降速率较大,其后似乎有相对减缓的迹象。宝坻新台井水位在抽水实验的7 h内一直没有出现“平衡状态”,笔者对此没有定论,但认为可能是以下原因之一或几种因素综合影响的结果:

(1) 抽水实验持续7 h还不足够长。若大尺度地延长抽水实验的时间段,宝坻新台井水位变化的趋势将可能更清晰。但是,由于杨家口村生活井的产权单位因担心水泵长时间运转会温度过高被烧毁拒绝配合且课题经费少,而不得不停止进一步的实验探索。

(2) 宝坻新台井井管在杨家口生活井的开采层可能有漏点。陈嵩等曾对宝坻新台井井管进行过敲击试验,发现在敲击井管后宝坻新台井水位出现一个上升台阶,有专家怀疑该井的井管在某一层位可能有漏点。假设宝坻新台井井管有漏点,且恰在杨家口生活井开采层,那么宝坻新台井水位观测层则不完全限于花管所在的层位,杨家口村生活井开采层与宝坻新台井的水位观测就有了直接的联系,杨家口村生活井开采时宝坻新台井水位降低则是必然。但这仅仅是推断,如果将来能进行示踪试验和数值模拟实验等,可望取得可

靠的结果。

(3) 该地区相邻含水层组之间在局部地区有“通透”的可能。据宝坻新台井的柱状图及钻孔资料,宝坻新台井所在地区地表141.2 m以下为不同风化程度的白云岩、白云质灰岩、灰岩等,有条件在相邻地下水层组之间形成通道。而且,在区域构造上,宝坻新台井南距宝坻断裂仅约1 km,该井还处于宝坻断裂与蓟运河断裂交汇部位附近,宝坻断裂和蓟运河断裂均是较大断裂,有一定的活动性。另外,该井所在地区还分布有一些小断裂。断裂也可能造成不同含水层组之间在局部地区的相互连通。相邻含水层在部分地区不排除有“通透”的可能,若此种情形存在,则相邻含水层组之间的补给途径可能存在越流现象。

## 5 结语

宝坻新台井水位对周边地下水开采响应主要受到距其约2 km的杨家口村生活井开采地下水的影响,周边其它浅井开采地下水对其影响不明显。

杨家口村生活井地下水开采时,宝坻新台井水位分钟值曲线会出现下降速率增大、曲线近似平直、上升速率减慢3种下降型畸变,宝坻新台井水位对杨家口生活井的地下水开采的响应滞后不明显时间在1 min之内。杨家口村生活井地下水开采结束后宝坻新台井水位逐步恢复,恢复的时间依开采时间段不同而不同。

杨家口村生活井持续开采地下水7 h过程中宝坻新台井水位下降持续,未呈现出“平衡状态”,同时考虑观测井水位效应是下降,而不是上升。这可能是宝坻新台井井管可能有漏点或隔水层不稳定或断层破碎带或岩层孔隙等可能导致邻近的地下水层间有“通透”所致。从响应时间很短看,宝坻新台井管存在漏点或井管外存在空隙是可能性较大的原因,但越流量较小(两层化学成分存在差异)。

宝坻新台井水位对周边地下水开采的响应特征反映了邻层或相近层地下水开采井对水位观测影响可能是较显著的,在水位观测井选址时应尽量避开周边有邻层或有相近层地下水开采井孔的地域。

致谢:天津市地震局邵永新研究员在课题设计和实施过程中提出了许多宝贵的建议,审稿专家为本文修改提出了许多宝贵的建议,在此衷心



地表示感谢。另外,天津市地震局李颖楠同志承担了抽水实验的部分事务性工作,李越同志承担了抽水实验井和宝坻新台井的水质化验工作,在此一并致谢。

### 参考文献:

- [1] 国家地震局预测预防司. 地震地下流体观测技术[M]. 北京:地震出版社, 1994.
- [2] 车用太, 王广才, 刘五洲, 等. 关于发展我国地下流体前兆流动观测问题的建议[J]. 国际地震动态, 2002, 11: 1-7.
- [3] 国家地震局预测预防司. 地下流体地震预报方法[M]. 北京:地震出版社, 1997.
- [4] 范雪芳, 刘耀炜, 吴桂娥, 等. 华北地区水位与水氡中期、中短期前兆异常特征研究[J]. 地震研究, 2010, 33 (2): 147-158.
- [5] 车用太, 刘成龙, 鱼金子, 等. 汶川  $M_s$  8.0 地震的地下流体与宏观异常及地震预测问题的思考[J]. 地震地质, 2008, 30 (4): 828-838.
- [6] 龚永俭. 地震观测环境调查评估及监控[J]. 地震地磁观测与研究, 2012, 33 (3/4): 235-239.
- [7] 李立根, 李朝弼. 副1、副2井水位动态干扰因素研究[J]. 地震学刊, 1989, 8 (4): 108-109.
- [8] 毛春长, 赵永顺, 郭玉俊, 等. 晋10-1井水位短周期变化的原因[J]. 山西地震, 1993, 15 (1): 29-32.
- [9] 张淑亮, 车用太, 范雪芳, 等. 介休井水位异常的调查与分析[J]. 地震研究, 2002, 25 (4): 320-327.
- [10] 樊秀峰, 吴振祥, 简文彬. 福州温泉区地下热水开采与水位动态响应研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15 (4): 82-86.
- [11] 尹宏伟, 梁丽环, 韩文英, 等. 新泽5井水位趋势下降分析[J]. 华北地震科学, 2004, 22 (2): 27-31.
- [12] 车用太, 鱼金子, 刘成龙, 等. 地下流体动态的观测环境干扰影响距离研究[J]. 国际地震动态, 2006 (4): 10-16.
- [13] 高立新, 车用太, 纪建国, 等. 抽水对地下水位、汞、氡的影响——以古城试验为例[J]. 西北地震学报, 2006, 28 (2): 144-148.
- [14] 高业新, 吴庆华, 韩玉英, 等. 抽水含水层对非抽水含水层水位影响的效应分析[J]. 现代地质, 2009, 23 (1): 164-170.
- [15] 陈小云. 福州市地下水开采对华林1号井水位观测井的干扰[J]. 地下水, 2010, 32 (4): 86-87.
- [16] 张学真, 常安定, 刘奕慧. 抽水过程中井水位变化的分形特征研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38 (3): 218-222.
- [17] 鲜述东, 刘丽, 刘建光, 等. 盘锦地区水位观测与石油开采关系分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2011, 32 (5): 94-99.
- [18] 李桂清, 吴学渝, 刘兆友, 等. 深井热水开采对豫01井水位影响的探讨[J]. 高原地震, 2011, 23 (4): 41-47.
- [19] 沈晓松, 靳玉贞, 孟彩菊, 等. 太原地震台水位异常分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2012, 33 (5/6): 178-182.
- [20] 孙小龙, 刘耀炜, 马玉川, 等. 鲁豫交界地区深井水位持续大幅度下降原因分析[J]. 中国地震, 2013, 29 (1): 132-141.
- [21] 孙小龙, 刘耀炜, 晏锐. 云南姚安井2009年10月后水位下降的成因分析[J]. 地震学报, 2013, 35 (3): 410-420.
- [22] 吕芳, 张淑亮, 胡玉良, 等. 山西静乐井水位异常调查与分析[J]. 山西地震, 2013, 35 (3): 28-31.
- [23] 天津市地质矿产局编制. 天津市地质环境图集[M]. 北京:地质出版社, 2004.
- [24] 杨耀栋, 李晓华, 王兰化, 等. 天津平原区地下水位动态特征与影响因素分析[J]. 地质调查与研究, 2011, 34 (4): 313-320.
- [25] 张人权, 梁杏, 靳孟贵, 等. 水文地质学基础(第六版)[M]. 北京:地质出版社, 2011.
- [26] Kim J M, Parizek R R. Numerical simulation of the Noordbergum effect resulting from groundwater pumping in a layered aquifer system[J]. Journal of Hydrology, 1997, 202: 1-4.
- [27] 汪成民, 车用太, 万迪塑, 等. 地下水微动态研究[M]. 北京:地震出版社, 1988.
- [28] 刘水莲, 全建军, 陈美梅, 等. 水位观测资料的小波变换及异常提取[J]. 华南地震, 2014, 34 (2): 128-132.
- [29] 王俊, 王行舟, 陶月潮, 等. 泾县凤村井水位异常与地震关系分析[J]. 华南地震, 2014, 34 (3): 115-119.