

# 山东地下水动态观测井对2007年 印尼8.5级地震的响应特征

耿 杰, 陈安方, 潘双进  
(山东省地震局, 山东 济南 250014)

**摘要:**根据山东地下水动态观测井记录的2007年9月12日印尼苏门答腊南部海域8.5级地震的水震波资料,对不同类型仪器对水震波的响应特征及其影响因素进行了分析,认为影响其记震能力的主要因素是井孔含水层系统的水文地质条件、地质构造环境和观测仪器的类型。

**关键词:** 印尼8.5级地震; 山东省; 水震波; 地下水动态观测井; 影响因素

中图分类号: P315.72<sup>+3</sup> 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2008)02-0173-06

## Responding Characteristics of Dynamic Underground Water in Observation Wells of Shandong Province to Indonesia M8.5 Earthquake in 2007

GENG Jie, CHEN An-fang, PAN Shuang-jin  
(Earthquake Administration of Shandong Province, Jinan 250014, China)

**Abstract:** Based on the records of water-seismic wave of the dynamic underground water in observation wells of Shandong province to M8.5 earthquake occurred in South Sea of Indonesia on Sep. 12, 2007, the responding characteristics of the water-seismic wave with different kinds of observation instruments and the influence factors are analyzed. It is considered that major factors for influencing the instruments's earthquake recording ability are hydrological and geological condition of water-bearing stratum in the observation wells, geological structure and the kind of observation instrument.

**Key words:** The Indonesia M8.5 earthquake; Shandong province; Water-seismic wave; Observation wells for dynamic underground water; Influence factors

### 0 引言

地下水动态观测井的水位记录对于弹性地震波有相当的敏感度。一次大震发生后,其外围的井-含水层系统由于地震波的传播而造成水位同震的振荡异常称为水位的同震效应。同震效应研究是揭示地壳介质对应力-应变过程响应最直接和最有效的手段之一,地下流体对远大地震的同震效应特征可以反映出地下介质孔隙压、贮层应变的变化特征。因此对地下流体的同震响应研究,已成为目前国际上地下流体基础理论研究的热点。

2007年9月12日印尼苏门答腊南部海中发生8.5级地震,本文从山东省地下流体观测井记录

的该次地震水震波的特征分析入手,着重对不同类型仪器对水震波的响应特征及其影响因素等进行分析和讨论。

### 1 山东水动态观测概况

经过“九五”、“十五”以及山东省短临跟踪强化项目和地方骨干观测点的建设改造,山东省地下流体水动态观测有了较大的发展,现有地下流体水动态观测井68口,观测仪器共计78台套(部分观测井有2套不同型号仪器同步观测),其中LN-3A数字水位仪13套,SW-40水位仪24套,中科光大数字

收稿日期:2008-01-10

基金项目:国家科技支撑计划课题子专题(2006BAC01B02-03-02)和山东省自然科学基金项目(Y2005E02)

作者简介:耿杰(1964-),女(汉族),山东莱州人,副研究员,主要从事地下流体地震分析预报与研究工作。

表1 山东省水动态观测井记录的印尼8.5级地震水震波特征

井点名称	仪器型号	采样率	井点构造位置	井深/m	含水层岩性	记录水震波特征							
						记震次数	开始时间	结束时间	振荡持续时间/min	振荡幅度/mm			
济南市商河井(鲁09井)	SW-40	连续	北北西与北东向断裂交汇部位	2836.00	灰岩	3	19:18	19:55	37	255			
							11:57	12:07	10	2			
济南市珍珠泉	中科光大	10分钟	千佛山断裂东侧	200.96	灰岩		不清	不清	不清	震时自流			
济南市明水	中科光大	10分钟		251.11	灰岩	2	19:30	21:00	90	56			
临沂市费县	中科光大	分钟	蒙山山前断裂南侧	161.00	灰岩	2	08:10	08:30	20	11			
							19:27	19:52	25	264			
临沂市苍山	中科光大	分钟	沂沭断裂带西侧, 苍山-尼山断裂南侧	162.00	灰岩	2	07:59	08:27	28	148			
							19:22	20:06	445	608			
临沂市蒙阴	SW-40	连续	新泰-蒙阴断裂带以南	491.00	灰岩	1	07:58	08:44	465	204			
							19:29	19:42	13	11.5			
临沂市平邑	中科光大	分钟	上五井断裂带东侧	160.00	灰岩	3	19:19	20:09	50	424			
							08:00	08:39	39	286			
							11:53	12:10	17	134			
临沂市沂南	SW-40	连续	沂沭断裂带以西与北东向断裂带交汇部位	201.10	灰岩	3	19:15	出现机械故障,记录不全					
							不清	9:00	不清	不清			
							11:50	12:20	40	66			
							19:22	19:57	35	120			
临沂市莒南(鲁14井)	SW-40	连续	昌邑-大店断裂西侧	321.44	灰岩	1	08:00	08:24	24	63			
							11:56	12:14	18	12			
潍坊市昌乐	中科光大	分钟		543.00	砂岩	2	19:32	19:48	17	1.8			
							11	19:30	20:10	40			
潍坊昌邑(鲁02井)	SW-40	连续	昌邑-大店断裂西	1171.90	砂岩	3	08:20	08:40	20	6			
							31	19:35	20:10	35			
							不清	08:21	不清	17			
济宁兖州(鲁06井)	SW-40	连续	孙氏断裂带东侧	1076.89	灰岩	3	11:57	12:02	5	3			
							400	20:35	22:15	100			
							09:00	10:10	70	229			
							12:50	13:22	32	90			
济宁市兖州谷村	SW-40	连续		300.00	灰岩	3	19:20	20:00	40	66			
							07:55	08:30	35	41			
							11:52	12:05	13	21			
济宁市金乡鱼山	SW-40	连续		300.00	灰岩	3	19:20	20:15	55	207.5			
							07:58	08:30	32	112			
							11:48	12:02	14	14			
济宁市汶上	中科光大	10分钟		320.00	灰岩	2	19:30	19:50	30	55			
							08:00	08:30	30	6			
济宁市邹城	SW-40	连续	峰山断裂带支二断裂带上	802.00	灰岩	2	19:27	19:45	28	10			
							08:25	08:28	23	6			
菏泽市(鲁27井)	LN-3A	分钟	聊考断裂带东侧	2000.00	灰岩	1	19:35	20:11	36	大于400 mm			
						2	19:25	19:48	23	126			
聊古一井	LN-3A	分钟	聊考断裂带北段	2337.72(自流)	灰岩	2	07:59	08:17	18	26			
							19:30	19:54	24	416			
							08:06	08:18	12	124			
德州市禹城(鲁04井)	LN-3A	分钟	聊考断裂与广济断裂交汇处	2657.00	砂岩	3	19:24	19:52	28	91			
							08:02	08:25	13	61			
							12:01	12:05	4	11			
							19:24	19:55	31	30			
枣庄市薛城(鲁15井)	SW-40	连续	韩庄断裂北侧	501.61	灰岩	2	08:08	08:25	17	27			
							LN-3A	分钟					
							19:25	19:52	27	24			
烟台市栖霞井(鲁07井)	LN-3A	分钟	北北东和北西向断裂交汇处	600.00	花岗岩	2	不清	08:25	不清	17			
							35	19:24	19:55	31			
							08:04	08:28	24	23			



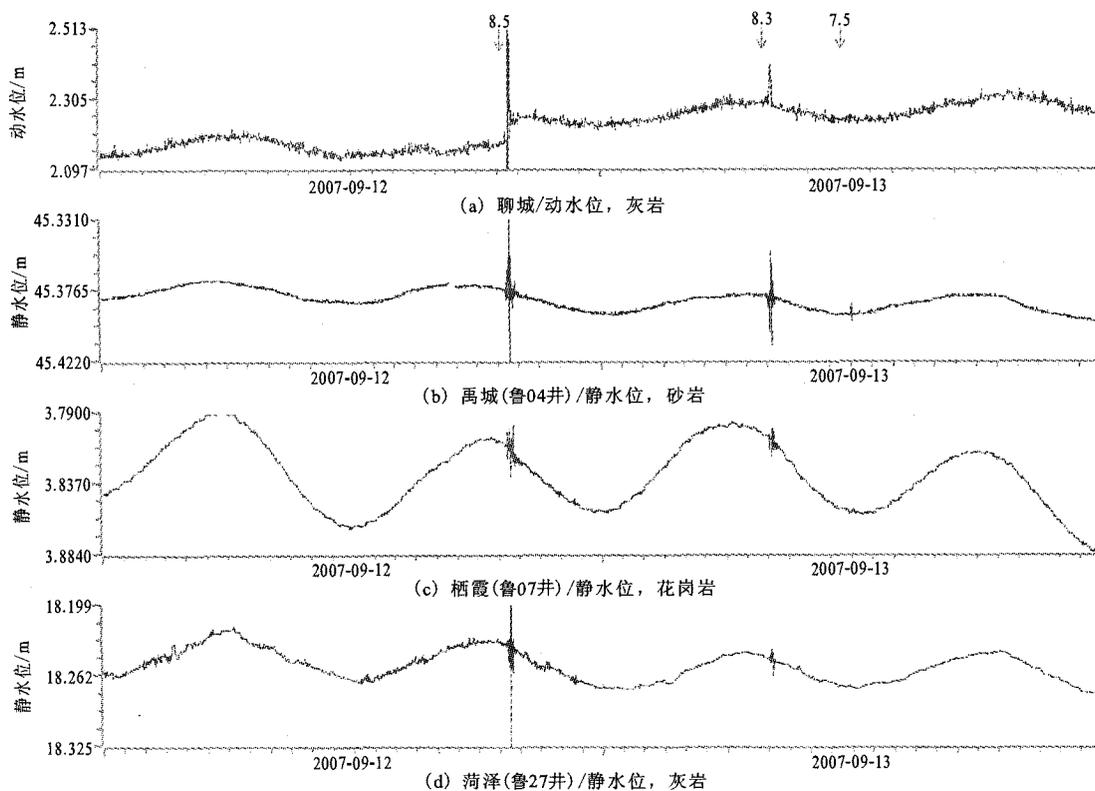


图2 LN-3A 数字水位仪在不同岩性中记录的印尼 8.5 级地震水震波  
 Fig.2 The water-seismic wave curves of the Indonesia M8.5 earthquake recorded by the digital underground water level instruments of LN-3A in different rocks.

州(鲁06井)和济南明水井分别为100分钟和90分钟,振荡时间最短的蒙阴(鲁33井)仅有13分钟。水震波振荡时间的长短与其最大双振幅成正比,水位振荡最大双振幅越大,振荡时间越长。

间和振荡最大双振幅有明显差异。

### 3 影响因素分析

井孔水位对地震波的反映能力(记震能力),可以用记震次数和幅度大小来衡量。分析山东地下水动态观测井记录的印尼 8.5 级地震的水震图特征和井孔的记震机制,认为影响其记震能力的主要因素是井孔含水层系统的水文地质条件、地质构造环境和观测仪器的类型。

#### 3.1 观测井的水文地质条件

井孔水位仪之所以能记录地震波,是因为井孔含水层系统具有弹性振动系统的特点。一口记录地震波能力强的井孔,必须具备各含水层具有较好的弹性力学性质,含水量丰富,迳流条件好,井孔与含水层连通好的特点<sup>①</sup>。从记录到水震波的井孔的水文地质条件分析(表1),记录到水震波的21口观测井中含水层岩性为灰岩的占80.9%,且记震次数及水位最大振荡双振幅多大于砂岩、花岗岩及粉砂层井,显示灰岩含水层井孔记震能力强于其它类型含

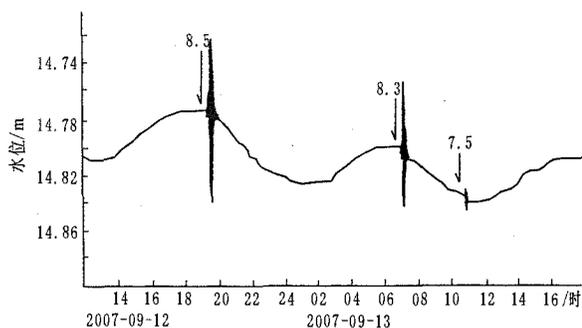


图3 济南井 SW-40 水位仪记录的印尼 8.5 级地震水震波

Fig.3 The water-seismic wave curve of the Indonesia M8.5 earthquake recorded by the underground water level instrument of SW-40 in Yinan well.

(5) 同一井孔内不同型号仪器同步观测的结果显示其记震能力不同。山东地区在同一井孔内有两套水位仪同时观测井孔共10口,两套仪器同时记到水震波的井孔有3口,但它们记录的水震波振荡时

① 丁仁杰,等.深井水位记震特征研究,1988.

水层的井孔。这是因为灰岩含水层具有良好的弹性力学性质,含水量丰富,迳流条件好,井孔与含水层连通性好。而砂岩或粉砂岩弹性较灰岩差、迳流条件亦较差,所以井孔记震能力较弱。

### 3.2 观测点所处的地质构造环境

井孔的记震能力与水井所处的地质构造环境密切相关。第四纪活动断裂交汇部位,历史上曾发生过中强地震的地区,井孔往往显示较强的记震能力。如苍山井和鲁27井在印尼8.5级地震时分别记录到最大双振幅608 mm和大于400 mm及振荡时间大于40分钟的水震波,而这两口井分别位于山东境内两次强震(1668年郯城8.5级地震和1937年菏泽7级地震)的震中及有区域台网观测以来山东内陆地区两次中强地震(1983年菏泽5.9级地震和1995年山东苍山5.2级地震)震中附近地区。苍山井位于苍山—尼山断裂与沂沭断裂的交汇部位附近,这两条断裂第四纪晚期有所活动,在其交汇部位发生过1668年郯城8.5级地震,1995年山东苍山5.2级地震发生在NNE向沂沭断裂带西侧;菏泽(鲁27井)处在聊考断裂与菏泽断裂的交汇部位,这两条断裂均为第四纪晚期活动断裂,它们的交汇部位发生过1937年菏泽7级地震和1983年菏泽5.9级地震。禹城(鲁04井)LN-3A数字水位仪记录的水震波最大双振幅91 mm,振荡时间达28分钟(图2(b)),该井含水层岩性为第三纪砂岩,其水文地质条件一般,但因其处在第三纪晚期活动的聊考断裂与广饶—广齐断裂的交汇部位,因而也表现出较强的记震能力。

鲁06井是鲁西南地区反映水震波最为灵敏的井<sup>②</sup>,距1983年11月7日菏泽5.9级地震震中约150 km,也记录到了清晰的水震波。其水震波最大双振幅达400 mm,振荡时间长达100分钟(表1)。该井观测的灰岩含水层分布广,厚度大,岩溶裂隙发育,连通性好,富水性强,导水好,又位于迳流排泄区,像一个巨大的连通管,含水层受到挤压和引张易引起其容积的较大变化,通过截面积较小的井孔反映出来即水位的大幅度升降。另一方面它位于NW向苍山—尼山断裂、SN向峰山断裂和EW向鄆城断裂3条断裂的交汇部位附近,曾发生过1675年兖州5级地震和1970年曲阜4.7级地震。苍山—尼山断裂和鄆城断裂为晚更新世活动断裂。由此可见良好的水文地质条件和特殊的地质构造环境决定了鲁06井具有较强的记震能力。

### 3.3 不同观测仪器记录水震波的差异

山东省有部分观测井在同一井孔中有两套水位仪器同步观测,为同一井—含水层系统不同型号仪器记录水震波特征进行对比提供了可能。总体来看,SW-40水位仪记录的水震波波型更完整,而数字化水位观测仪器由于是分钟或十分钟估点值,记录的水震波存在波形不完整的畸变现象(图4)。

全省有SW-40水位仪和LN-3A数字水位仪同步观测的井孔共5口,其中3口井(鲁09井,鲁14井,鲁02井)仅SW-40水位仪记到了水震波,这里鲁09井LN-3A数字水位仪有故障,其余两口井的LN-3A数字水位仪没有记到水震波。鲁27井和鲁15井两套观测仪器同时记到了水震波,SW-40水位仪记录的水震波最大双振幅分别为大于400 mm和30 mm,振荡时间分别为36分钟和30分钟,LN-3A数字水位仪记录的水震波最大双振幅分别为126 mm(图2(d)) and 24 mm,振荡时间分别为23分钟和27分钟,显示SW-40水位仪的记震能力优于LN-3A数字水位仪。同一井孔中有SW-40水位仪和中科光大数字水温水位观测的井孔共6口,仅沂南井两种仪器均有水震波记录。由于沂南井在2007年9月12日印尼8.5级地震时水位有强烈振荡,至使SW-40水位仪出现故障,无完整的水震波记录;13日仪器修复换纸后水位即显示强烈的振动特征,记录了9月13日8.3级强余震和7.5级强余震。SW-40水位仪和中科光大数字水位仪记录的这两次强余震的水位最大振荡双振幅分别为66 mm和12 mm,振荡时间分别为30分钟和18分钟,显示SW-40水位仪记震能力优于中科光大数字水位仪和LN-3A数字水位仪相比有较强的记震能力。

由于水位变化与含水层内孔隙介质的体膨胀密切相关,因此造成井水位振荡的地震波只能是造成介质压缩和膨胀的P波和SV波以及由这两种成分组成的瑞雷面波<sup>[1-3]</sup>。当地震波通过时引起含水层的瞬时变形,激发孔隙压力改变。而孔隙水没有足够的时间与外界交换,因此可以认为地震波引起含水层变形时近似为不排水条件。对井—含水层系统而言,该系统是开放的,含水层与井之间的水量交换与含水层的渗透系数有很大的关系。地震波通过时,渗透系数越大,水位振荡幅度越大,映震效果越明显<sup>[4]</sup>。另外井径、井孔水柱高度及水位仪频率特

② 郭惠敏.鲁西南深井水位动态变化特征,1987.

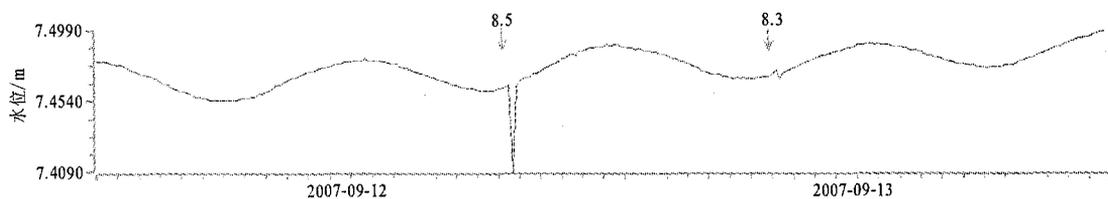


图4 汶上井中科光大数字水位仪记录的印尼8.5级地震水震波

Fig.4 The water-seismic wave curve of the Indonesia M8.5 earthquake recorded by the digital underground water level instrument of Zhongke - Guangda in Wenshang well.

性等与记录水震波有关<sup>[5]</sup>。

模拟水位(SW-40)水位仪是连续记录曲线,它能把水位振荡的全过程显示出来;现有的数字化水位是分钟估点测记录(部分观测井为十分钟和整点值),无法完整记录水位振荡的全过程,数据连续性差,水震波存在振荡波型的形态畸变。因而在对地震波形态、振幅和振荡时间方面,模拟水位观测仪器较间隔采样的数字化观测仪器存在明显的优势。但模拟观测系统也存在仪器机械故障、换纸造成的资料缺失和人为误差以及记录笔污染图纸和记录曲线虚的弊端。而数字化观测资料由于数据缺失现象少,人为误差小,加之跟踪速度较快,也有优于模拟观测系统的优势。但显然水位的分钟值采样和10分钟采样不能满足记录水震波(主要周期为10~20s)的要求。

#### 4 几点认识

通过对印尼苏门答腊南部海域8.5级地震山东省水动态观测井不同类型观测仪器记录的水震波特性和构造及水文地质条件的分析得出如下认识:

(1)前人和笔者的研究表明,一口井对水震波的记录除受震级、震中距等因素影响外,最主要还受井孔本身的水文地质条件和地质构造环境控制。如果观测井具有良好的水文地质条件和地质构造环境,那么这口井除了能较好地响应长周期的各种地壳应变,也能记录地震波引起的突然应变,因此也能记录较长周期的无震断层蠕动、震前断层预滑等效应,这对监视断层的活动和探索地震前兆无疑具有重要的意义<sup>[6]</sup>。

(2)大震的同震水震波响应是普遍存在的水位微动态之一,井孔同震水震波记震能力的强弱最主要取决于井-含水层系统的导水能力,而后者又与含水层受力状态有关。因此当地震孕育过程使含水层受力状态发生变化时,有可能引起井孔水震波记震能力的显著变化,而井孔记震能力变化的异常并在空间上有规律展布图象,有可能显示出未来强震的危险区,为我们提供了一种寻找未来地震危险区的可能的途径。

(3)数字化水位的分钟采样和10分钟采样不能满足记录水震波(主要周期为10~20s)的要求,其水位记录对地震波的响应能力存在减弱,但数字化观测的灵敏度、跟踪速度等明显优于模拟观测。

本文资料收集整理过程中,得到各地、市地震局的大力支持与帮助,笔者在此深表谢意。

#### [参考文献]

- [1] 汪成民,车用太,万迪坤,等.地下水微动态研究[M].北京:地震出版社,1988.
- [2] 殷积涛.井口水位对几种含水层变形的响应函数[A]//中地震局科技监测司编.地震预报方法实用化研究文集:水位、水化专集[G].北京:地震出版社,1990.
- [3] 张素欣,杨卫东,张子广.唐山矿井模拟与数字水位的记震能力对比分析[J].西北地震学报,2007,29(2):170-173.
- [4] 赵利飞,尹京苑.地下水前兆敏感水力学条件的数值模拟研究[J].西北地震学报,2000,22(3):306-310.
- [5] 张昭栋,王允培,郑金涵.井孔变径与井含水层系统对地震波的响应[J].华北地震科学,1992,10(3):66-73.
- [6] 荆智国.豫38井记录地震特征和记震机制分析[J].地震地质,1986,8(2):53.