

李颖、殷伟伟、胡玉良等,2018,山西洪洞井水位对远场大震的响应特征分析,中国地震,34(1),93~103.

山西洪洞井水位对远场大震的响应特征分析

李颖^{1,2)} 殷伟伟^{1,2)} 胡玉良^{1,2)} 程冬焱^{1,2)} 穆慧敏^{1,2)}

1) 山西省地震局,太原市旧晋祠路二段 69 号 030021

2) 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站,太原市晋源区太原基准地震台 030025

摘要 对洪洞井水位自 2013 年数字化改造以来记录到的同震响应资料进行统计分析后认为:洪洞井水位对全球 $M_s \geq 7.5$ 的远场大震有较好的响应能力,其同震响应呈一定的方向性;对不同地震的响应形态具有固定模式,以水震波为主,部分水震波伴随阶变;水位振荡阶变的初始方向以上升为主。统计分析显示,井水位同震变化幅度与震级、井震距无明显相关性,水位响应时刻与井震距有一定关系。进一步核实表明:引起水位同震响应的地震波大多为 S 波,部分为 P 波、面波;S 波引起的水位变化幅度要小于 P 波,而面波引发的水位变化幅度最大。综合分析了前人对水位振荡的机理研究,并结合洪洞井具体情况对其相关机理进行了初步探讨。

关键词: 水位 同震响应 远场大震 机理解释

[文章编号] 1001-4683(2018)01-0093-11 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

井含水层系统对地震波有天然的放大效能(陈大庆等,2006),一次大震发生后,所产生的能量能够引起远场观测井孔的水位变化。1899 年,意大利一口深井最早记录到远震波引起的水位振荡。20 世纪 70 年代北京洼里井首次观测到水震波。地下水位的同震变化,反映了地壳变形和地面震动引起地下介质贮层变形、孔隙疏通、裂缝的清理、产生裂缝等机理(孙小龙,2007)。针对远场大震引起的地下流体同震响应现象,众多学者进行了研究(Cooper et al, 1965; Wakita, 1975; 敬少群等,2001; 舒优良等,2003; 杨竹转等,2007; 张清秀等,2007; Wang et al, 2009; 顾申宜等,2011)。

经整理分析山西洪洞井自 2013 年 8 月数字化更新改造以来的井水位观测数据,发现该井水位在多次远场大震发生时均有明显的同震响应。本文研究了该井水位 2013 年 9 月~2016 年 12 月的同震异常变化记录图形,综合分析了不同方位远场大震的响应能力及基本特征,并在前人提出的同震响应机理的基础上,结合洪洞井实际观测资料,对洪洞井水位同震变化的可能机理进行了解释。

1 洪洞井概况

山西洪洞井位于洪洞县广胜寺镇板塌村北 20m,井孔地理坐标为 $36.3^\circ\text{N}, 111.75^\circ\text{E}$ 。井

[收稿日期] 2017-03-06; [修定日期] 2017-07-23

[项目类别] 山西省地震局科研项目(SBK-1706)资助

[作者简介] 李颖,女,1986 年生,助理工程师,主要从事地震前兆监测工作。E-mail: yylee1212@126.com

口海拔高度为 500m。井孔位于霍山断裂西侧约 5km 处,附近有 NW 向断层通过(图 1)。该井成井于 1983 年,完钻深度 423m,现有井深 423.03m,套管下设深度 370m,套管直径 127mm,滤水管部位深 180~366m。观测段为 178.45~368.09m,观测层厚度大,透水性强。含水层岩性为下更新流砂砾层,含水层类型为承压构造水。现水位埋深 4.015m,为静水位观测。水温常年保持在 19℃左右。该井补给区为东部山区及以东 5km 的霍泉,不受大气降水 and 地表水的直接影响,具有明显的固体潮汐效应和气压效应。

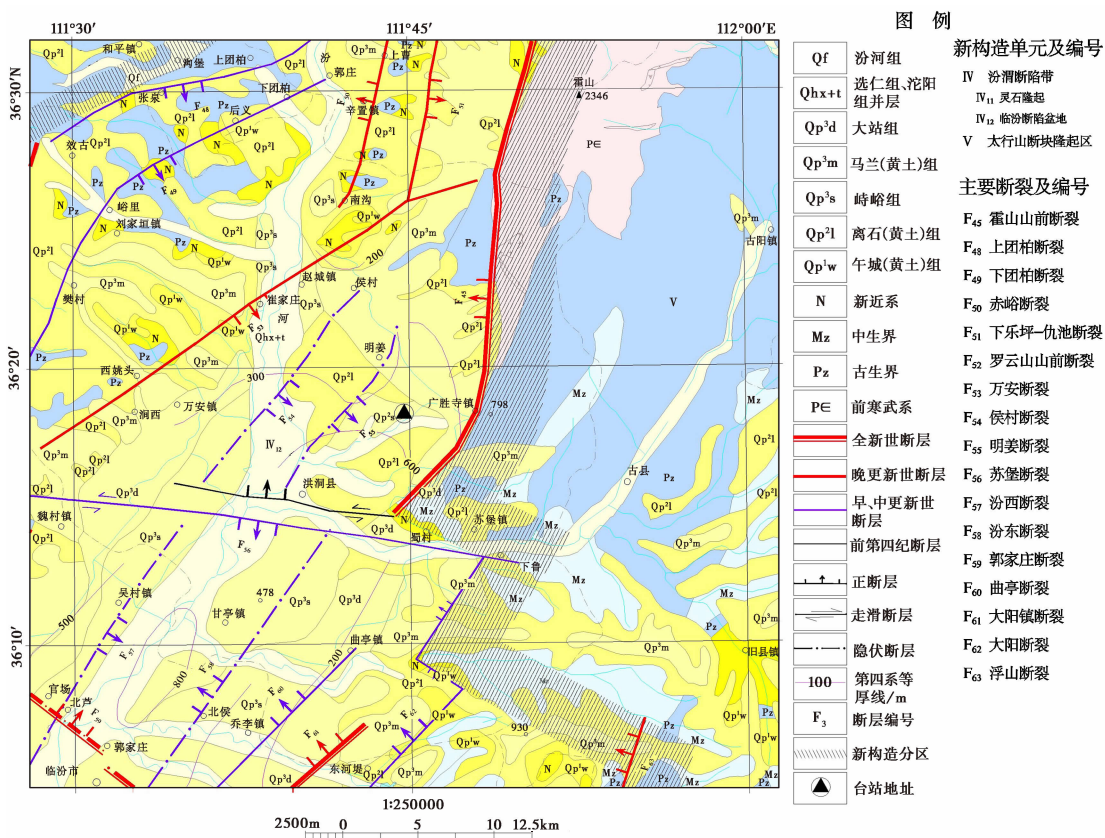


图 1 洪洞地震观测站地形地质构造

先后有 SW40-1 型水位自记仪、SW-3 型、SW-5 型、ZKGD2000 型等仪器用于洪洞井地下流体观测。洪洞井于 2013 年 8 月进行了数字化观测技术改造,安装了北京中科光大自动化设备有限公司生产的 ZKGD3000-N 型地下流体监测设备。该套设备是水位、气压、水温综合观测系统,能够同时采集观测井的水位、气压和水温数据,其水位精度达 0.001m,分辨率优于 1mm。改造后的观测资料表明,ZKGD3000-N 水位仪干扰少,性能稳定,故障率低,几乎未出现过高频毛刺和大幅突跳变化、数据阶变等现象,观测资料连续率和完整率较高,数据真实可靠。

2 井水位基本变化特征

图 2 为洪洞井水位动态曲线。由图 2 可见,洪洞井数字化水位分钟值曲线显示固体潮日变清晰,其固体潮呈现出了明显的日波和半日波变化形态;气压正常动态为夏高冬低型,与水位呈正相关;水位动态无年变周期,多年动态变化较平稳,表现为趋势性下降,没有明显的季节特征。

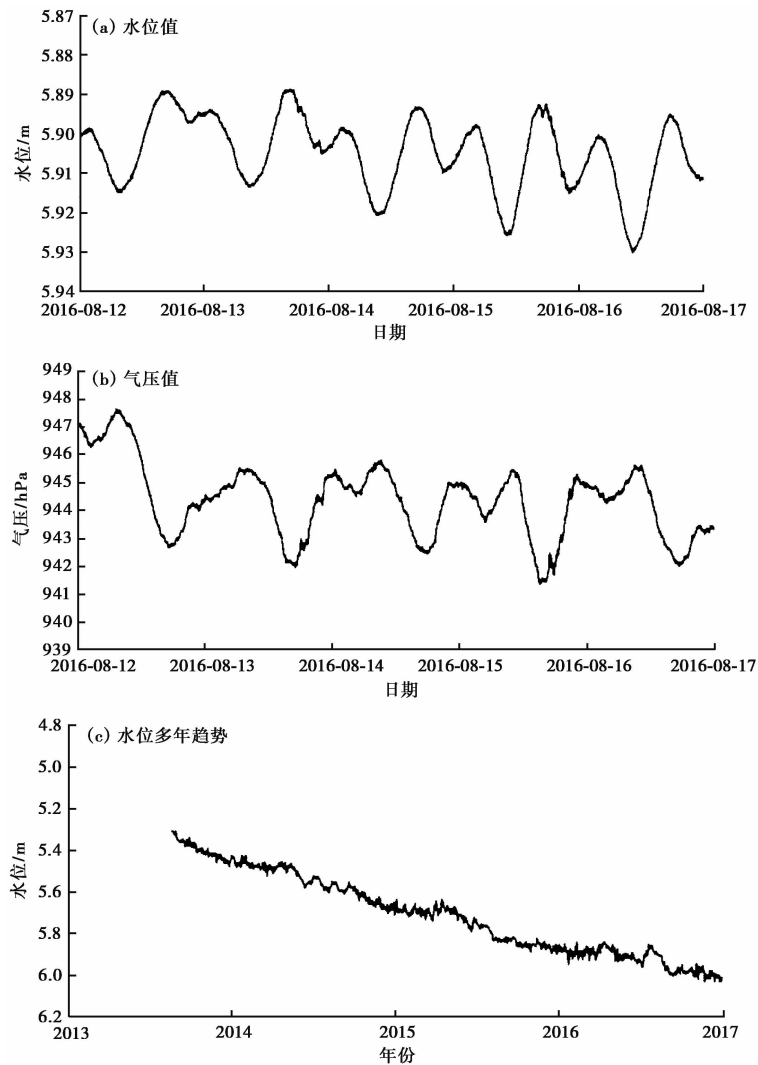


图 2 洪洞井水位动态曲线

3 水位同震响应及特征分析

2013 年 9 月~2016 年 12 月全球发生 $M_s \geq 7.5$ 地震 29 次(目录来自中国地震信息网),洪洞井水位记录到 18 次不同程度的远场大震同震曲线,响应率约 62.1%,这为水位同震响

应研究提供了丰富的资料。洪洞井水位对远场大震的同震响应形态特征见表1。典型同震响应曲线见图3。

表1 远场大震引起的洪洞井水位变化统计

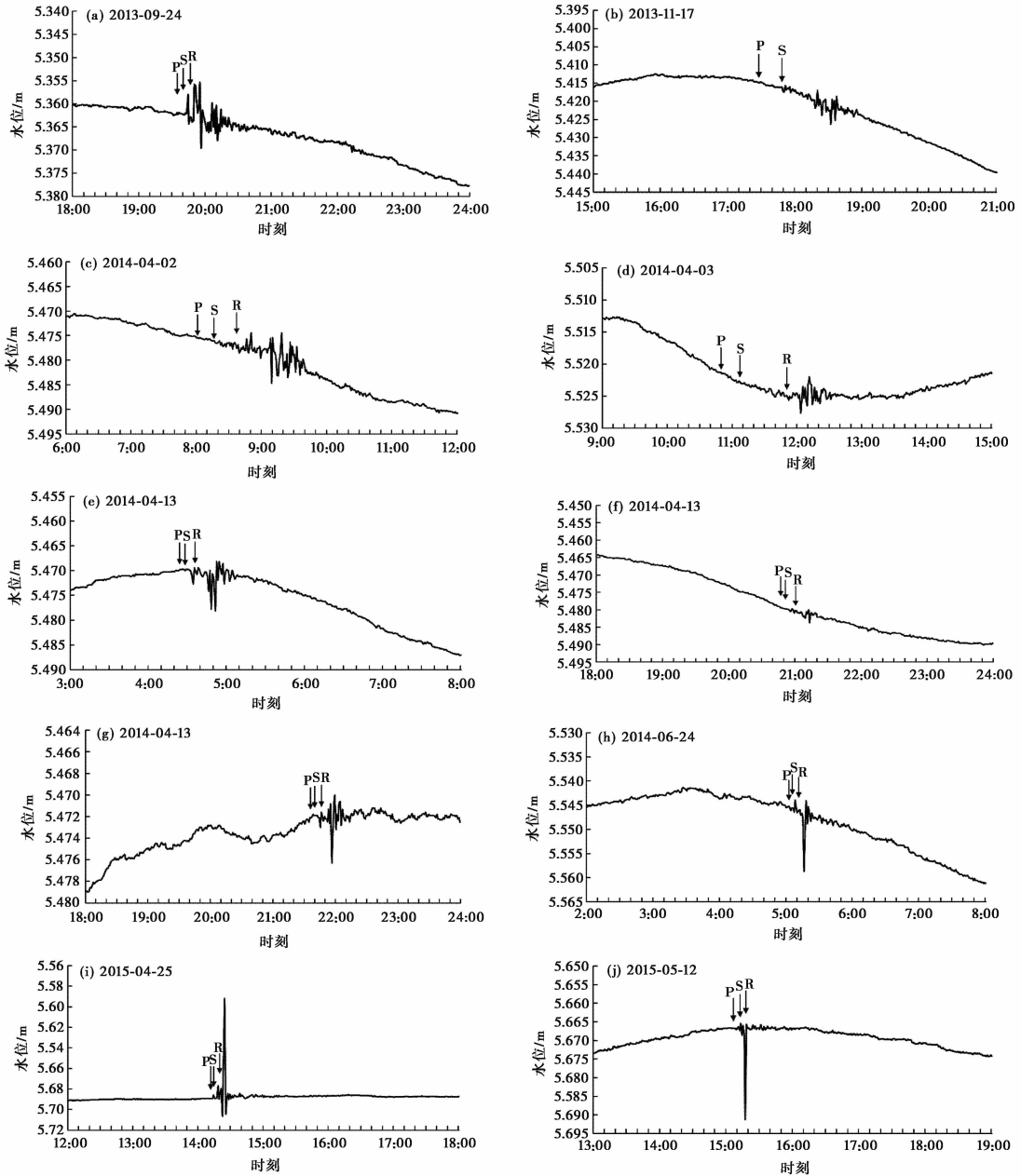
序号	地点	日期 (年-月-日)	时间 (时:分)	N /(°)	E /(°)	震级 M_s	震源 深度 /km	井震距 /km	响应特征			
									时间段 (时:分)	形态	最大 幅度 /mm	震中 方位
1	巴基斯坦	2013-09-24	19:29	27.0	65.5	7.8	40	4462	19:43~20:49	振荡	14.3	西南
2	斯科舍海	2013-11-17	17:04	-60.3	-46.4	7.8	10	16918	17:48~18:56	振荡	10.8	西南
3	智利	2013-04-02	07:46	-19.6	-70.8	8.2	10	18136	08:17~9:40	振荡	10.3	东南
4	智利	2014-04-03	10:43	-20.4	-70.3	7.9	20	18230	11:31~12:33	振荡	5.6	东南
5	所罗门群岛	2014-04-13	04:14	-11.3	162.3	7.8	20	7470	04:31~05:08	振荡	9.9	东南
6	所罗门群岛	2014-04-13	20:36	-11.4	161.9	7.7	40	7449	20:54~21:21	振荡	3.9	东南
7	巴布亚新几内亚	2014-04-19	21:27	-6.7	154.9	7.6	40	6551	21:44~22:10	振荡	6.3	东南
8	拉特群岛	2014-06-24	04:53	51.8	178.8	7.9	100	5431	05:07~05:24	振荡	14.7	东南
9	尼泊尔	2015-04-25	14:11	28.2	86.1	8.1	20	2691	14:13~14:53	振荡	114.5	西南
10	尼泊尔	2015-05-12	15:05	27.8	86.1	7.5	10	2589	15:10~15:45	振荡	25.9	西南
11	日本小笠原	2015-05-30	19:23	27.9	140.5	8.0	690	2856	19:27~19:49	振荡	10.7	东南
12	智利	2015-09-17	06:54	-31.6	-71.6	8.2	20	19403	07:33~9:06	振荡	165	东南
13	兴都库什	2015-10-26	20:49	36.5	70.8	7.8	210	3644	17:18~17:33	振荡	4.9	西北
14	印尼苏门答腊	2016-03-02	20:49	-4.9	94.2	7.8	20	4914	21:01~21:45	振荡	10.6	西南
15	马里亚纳群岛	2016-07-30	05:18	18.4	145.6	7.8	200	3862	05:26~05:45	振荡	8.9	东南
16	新西兰	2016-11-13	19:02	-42.5	173.1	8.0	10	10718	19:29~20:17	振荡	10.3	东南
17	所罗门群岛	2016-12-09	05:18	-10.7	161.3	7.8	40	7347	01:58~02:49	振荡	16.9	东南
18	新爱尔兰	2016-12-17	05:18	-4.5	153.5	7.8	110	6264	19:09~19:27	振荡	4.2	东南

3.1 记震能力

通过对表1的统计结果进行分析,发现洪洞井水位对地震波的响应能力有明显方向性,对于来自不同方向的地震,该观测井的记震能力有所不同。2013年9月~2016年12月,全球共发生 $M_s \geq 7.5$ 地震29次,其中18次发生在环太平洋地震带上,洪洞井水位记录到12次;10次发生在井孔西南方向,该井水位记录到5次;还有1次同震响应发生在观测井西北方向的陆地上。表1显示,在18次同震响应中,对于发生在环太平洋地震带的大多数远场大震,该井水位有较好同震响应;对于井孔西北方向上震级相同的地震,其响应能力明显减弱;对于来自井孔东南、西南方向的地震响应更清晰,响应幅度大,响应时刻早,持续时间长。2015年10月26日兴都库什地区 $M_s 7.8$ 地震与2016年7月30日马里亚纳群岛 $M_s 7.8$ 地震井震距、震源深度相近,洪洞井水位对来自井孔东南方向的地震比西北方向的兴都库什 $M_s 7.8$ 地震的同震响应时刻早,持续时间长,响应幅度明显偏大。通过分析井孔周围地质构造环境,发现该观测井附近有NW向断层通过,因此这一现象的产生可能受井孔所在断层方位对井水位同震响应能力的影响,此外也不排除与地震发生的构造部位不敏感等因素有关。由于本文所收集的观测井在西北方向上的震例有限,此原因有待于进一

步探讨。

我们注意到,表 1 中有 3 组同一地区不同震级、相隔时间较短的成对出现的地震,分别是 2014 年 4 月 2 日智利 M_s 8.2 地震与 2014 年 4 月 13 日 04:14 所罗门群岛 M_s 7.8 地震、2014 年 4 月 13 日 20:36 所罗门群岛 M_s 7.7 地震与 2014 年 4 月 3 日智利 M_s 7.9 地震、2015 年 4 月 25 日尼泊尔 M_s 8.1 地震与 2015 年 5 月 12 日尼泊尔 M_s 7.5 地震,每对地震前一次引起的同震响应要比后一次灵敏,响应时间较早,同震响应幅度更大,持续时间更长。对于这种现象可解释为:洪洞井水位对地震波的响应可能受本地应力状态的影响,前次地震引起了洪洞井



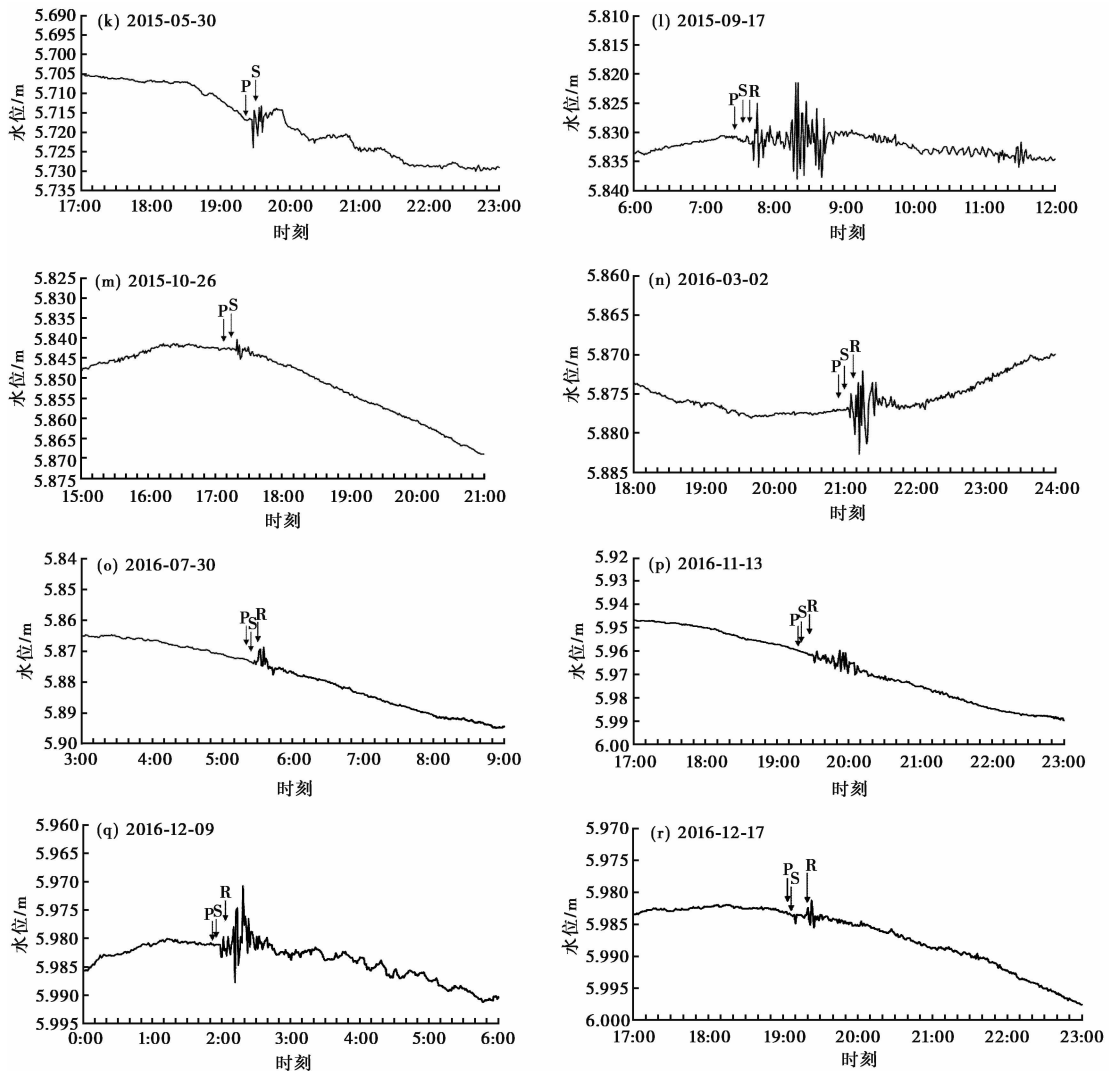


图3 洪洞井水位典型同震响应曲线

区的应力变化,由于相隔时间较短,在下次地震发生时,洪洞井区应力状态未恢复到正常的背景状态,震后的应力释放降低了观测井含水层系对间隔时间较短地震的响应能力(杨从杰等,2009;顾申宜,2011)。

3.2 形态特征

由图3不难发现,无论地震方位和震源机制解如何,洪洞井水位对远场大震的同震响应形态总是以振荡型或振荡伴随阶变型为主,表现为水面上下波动,波动逐渐停止后水位仍沿震前的正常形态变化。洪洞井水位对不同远场大震的同震响应时刻不同,持续时间不等,水位变化幅度大小也不一致。洪洞井水位一般在地震发生后2~48min出现振荡,持续时间从几分钟到几十分钟不等,随后恢复到原来水位值;水位最大变化幅度范围在4.9~165mm。其中,2015年9月17日智利中部沿岸近海8.2级地震同震响应幅度最大,水位最大变化幅度

为 165mm, 是正常日变幅度的 5 倍; 2015 年 4 月 25 日尼泊尔 8.1 级地震同震响应时刻最早, 震后约 2min 快速接收到同震变化信息; 2014 年 4 月 2 日智利北部沿岸远海 8.2 级地震同震响应持续时间最长, 整个振荡过程持续约 83min。

3.3 初动特征

研究发现, 观测井水位振荡变化的初始方向有一定的规律性, 以上升为主。除 2013 年 11 月 17 日斯科舍海 $M_s7.8$ 、2014 年 4 月 13 日所罗门群岛 $M_s7.8$ 、2014 年 4 月 19 日巴布亚新几内亚 $M_s7.6$ 和 2015 年 5 月 30 日日本小笠原 $M_s8.0$ 等地震时水位的初始变化表现为下降外, 其余地震水位的初始变化均为上升。以 2013 年 9 月 24 日巴基斯坦 $M_s7.8$ 地震为例, 地震发生后约 14min, 井水位出现振荡, 初动方向为上升, 上升幅度约 4.1mm。当地震波到达井含水层系统时, 该含水层在弹性波作用下发生拉张与压缩的交替变形, 致使水位发生上下起伏振荡变化。井水位作为一种灵敏的应力应变仪, 其升降变化在一定程度上体现了介质受力作用程度。孔隙水压机理为: 若岩石受到挤压, 则孔隙率变小, 而孔隙水压变大, 水流由含水层向井孔流动, 致使水位上升(张清秀等, 2007)。因而, 由洪洞井所表现的同震响应初始变化以水位上升居多, 可推测当地震波经长距离的传播, 经过该井所处的含水层时, 岩石首先受到挤压应力的作用。

3.4 同震响应的幅度、时刻与井震距、震级的关系

由表 1 水位同震响应参数统计可知, 井水位同震变化幅度与井震距关系不明显。2015 年 9 月 17 日智利 $M_s8.2$ 地震震中距 (19403km) 最大, 其水位变化幅度却远远大于震中距 (2589km) 最小的 2015 年 5 月 12 日尼泊尔 $M_s7.5$ 地震。

井水位同震变化幅度与震级的相关性也较差。在洪洞井所记录的同震响应中, 2014 年 4 月 2 日智利 $M_s8.2$ 地震和 2015 年 9 月 17 日智利 $M_s8.2$ 地震, 震源深度相近, 而洪洞井水位响应幅度分别为 10.3、165mm, 由此可见, 同样震级地震引起的水震波振幅也差别很大。这说明在一定的震中距范围内, 水位振荡幅度与震级的关系还受诸如井-含水层系统自身特性、井区地质构造、震源方位、震源机制以及地震波的传播途径等其他因素的影响, 还可能与洪洞井水位逐年下降、井区应力状态发生变化有关。

研究发现, 当震级相近时, 井震距越小, 洪洞井水位同震响应时刻越早; 反之, 亦然。从表 1 中统计的 8 次 $M_s7.8$ 地震可以看出, 2013 年 11 月 17 日斯科舍海 $M_s7.8$ 地震井震距最大, 洪洞井水位对其响应时刻最晚, 震后约 44min 水位出现振荡变化。

进一步统计回归分析结果显示(图 4), 洪洞井水位同震响应时间 T_0 与井震距 D 之间存

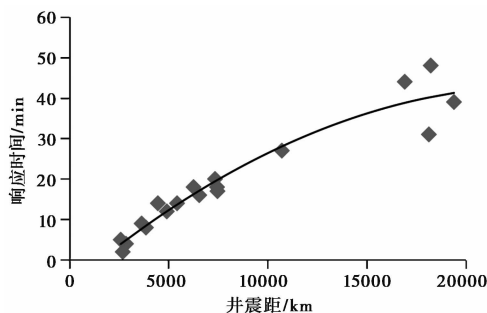


图 4 同震响应时刻与井震距间的关系

在很好的相关性,满足如下非线性关系式

$$T_0 = 19.28 \ln D - 150.51 \quad (1)$$

相关系数 $R^2 = 0.92$ 。式(1)表明,同震响应时间与井震距符合对数关系,即随着井震距的增大,同震响应时间也在增大,这说明井震距的大小决定洪洞井水位对地震响应时刻的快慢。

4 水震波的同震响应机理

人们对水位记震能力的研究始于水震波,水震波是普遍存在的水位微动态之一。不同的水位变化形态其同震响应机理不同,对于水震波的机理研究,前人已取得很多重要成果。Cooper等(1965)研究了地震引起的井水位振荡现象,认为地震波引起含水层扩张和压缩从而引起孔隙压振荡,当含水层导水性足够大时,孔隙压的振荡会引起地下水流入或流出井孔,从而引起井水位的振荡;任何类型的能够造成体膨胀或垂直运动的地震波都能引起井水位的波动。Wakita(1975)提出同震弹性应变模型,认为大地震引起的同震应力-应变变化使饱和岩石微裂隙张开或闭合,导致孔隙体积增大或减小,从而使与含水层相连的井孔水位发生变化。张子广等(1999)认为引起水位振荡的地震波有P波、垂直方向的偏振横波S波以及由此两种波组成的瑞利面波,它们可造成传播介质体积的变化。敬少群等(2001)通过研究长沙井动水位对1999年9月21日台湾集集 $M_s 7.6$ 地震的震时效应认为,地震发生时地震应力波作用于含水层,使含水层的流体压力及有效应力发生变化,周期作用的应力波是井口水位产生振荡变化的原因。舒优良等(2003)对周至深井水震波数字化记录与地震波记录作了对比研究,认为引起井水位振荡的原因主要不是地震波在观测井含水层中传播引起的,而是地震波使井孔含水层固体骨架发生周期性弹性形变挤压水体形成的。

总的来说,目前对地震波引起水位振荡的解释已经比较明确。分析洪洞井的实际情况,无论地震来自哪个方向,震级如何,力学机制如何,该井水位的同震响应曲线总是表现为振荡型,与众多学者研究过的其它同震水位振荡的井孔情况基本一致。本文综合分析了前人对水位振荡的机理研究,利用相同原理可分析洪洞井水位同震效应中井水位振荡的微动态形成机制:当地震波通过含水层时,含水层中发生交替的弹性压缩与膨胀变形,引起含水层内孔隙压力发生升降交替,导致井与含水层间交替产生从含水层到井、从井到含水层的水流运动,最终表现为井孔内水柱的反复升降变化,即井水位高频振荡。

早期研究发现,井水位振荡变化与长周期的瑞利波有关,然而一些野外观测数据揭示了一直被人们忽视的S波和勒夫波也能引起井水位的振荡现象(Wang et al, 2009)。为进一步研究洪洞井水位同震响应与地震波之间的关系,选取距洪洞井较近的临汾地震台(36.08°N , 111.37°E)的地震波形记录,收集其P波、S波和最大面波R的到时信息,与洪洞井相应的同震响应记录进行对比分析(图3)。洪洞井水位观测采用NTP时间同步技术,提供高精度度的时间校正(局域网与标准间差之间小于1毫秒,广域网与标准间差之间小于几十毫秒),能够满足与地震波对比的精度。我们注意到,在统计的产生同震响应的18次地震中,2015年4月25日尼泊尔 $M_s 8.1$ 、2015年5月12日尼泊尔 $M_s 7.5$ (图5)和2015年5月30日日本小笠原 $M_s 8.0$ 地震在P波之后、S波到达之前水位开始振荡,其余地震在S波到达之后水位发生振荡(图6),特别是2016年11月13日新西兰 $M_s 8.0$ 地震水位同震响应时刻发生在最大面波到达之后(图7)。这说明引起洪洞井水位同震响应的地震波主要是S波,部分是P波、面

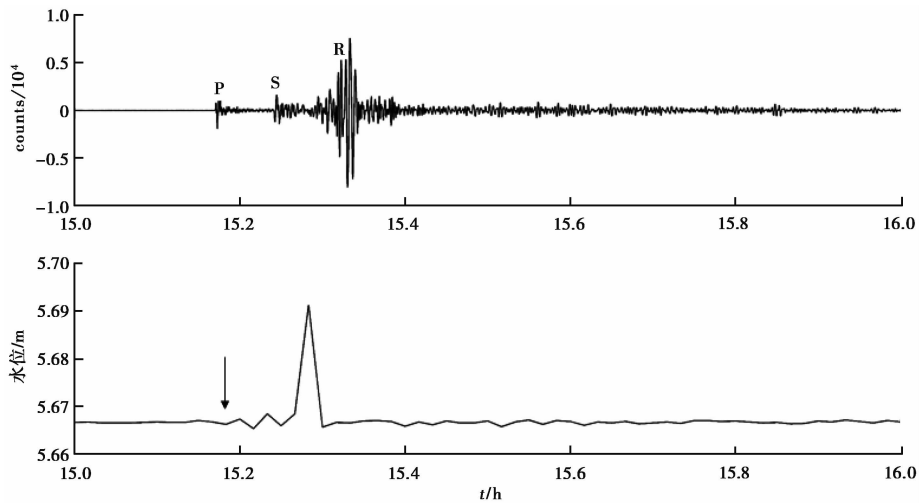


图 5 2015 年 5 月 12 日洪洞井水位同震响应曲线与相应地震波形对比

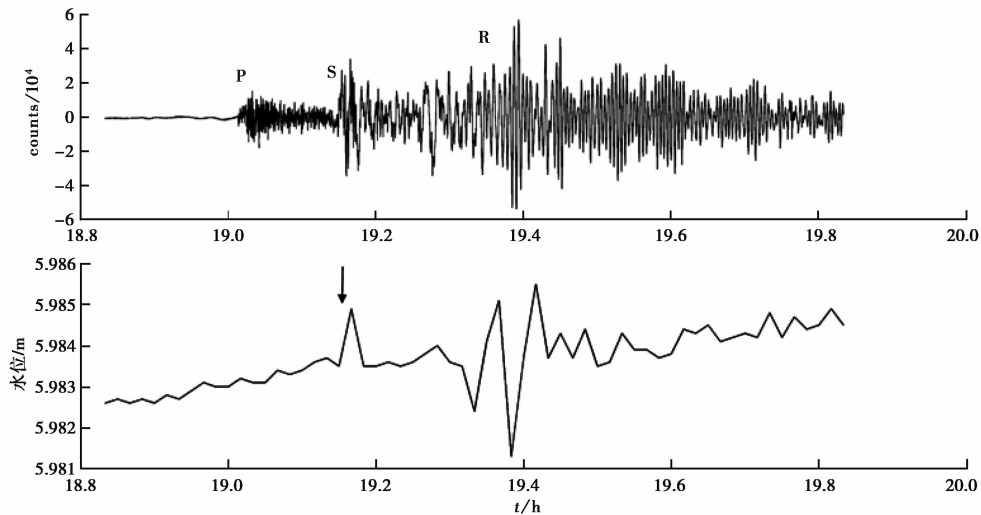


图 6 2015 年 12 月 17 日洪洞井水位同震响应曲线与相应地震波形对比

波；因此，水位响应时刻可能受地震震级和震中距影响，当震级足够大且距离较近时，首先到达的 P 波即可引起水位振荡。且由图 3 可以发现，S 波引起的水位幅度变化要小于 P 波，而面波引发的水位幅度变化最大。这个结果与 Wang 等(2009)、顾申宜等(2011)的研究结果一致，而与 Cooper 等(1965)、汪成民等(1983)的研究结果有所不同，即水位振荡主要由周期为 15~20s 的面波引起；这种现象可能是由于不同观测井的井-含水层条件不同，从而对不同频带地震波的响应能力存在差异造成的。

综合以上分析，洪洞井水位对远场大震的响应机理可能是：由于受到 7.5 级以上强震 S 波或面波的激发，引起含水层的瞬时变形，致使含水层内孔隙压力发生升降交替变化，造成井-含水层水流的交替运动，最终引起井水位的振荡。

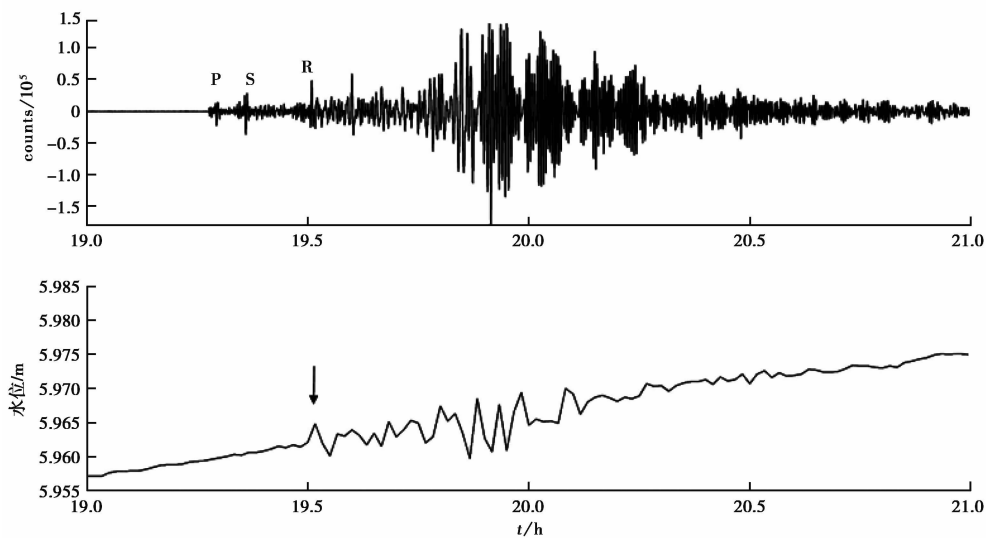


图 7 2016 年 11 月 13 日洪洞井水位同震响应曲线与相应地震波形对比

5 讨论和结论

本文统计分析洪洞井自 2013 年 8 月以来的多次同震响应资料,研究井水位同震变化特征,得到以下几点认识:

(1) 根据已有震例总结,洪洞井水位对全球 $M_s \geq 7.5$ 远场大震较为敏感,其中对来自井孔东南方向的所罗门群岛、智利等环太平洋地震带以及尼泊尔、巴基斯坦等地中海-喜马拉雅地震带的地震有较好的记录能力。对比距洪洞井 37.8km 的临汾地震观测站 (36.07°N , 111.50°E) 井水位观测,在本文收集的震例中,该台站的 ZKGD3000-N 水位仪仅记录到 2015 年 4 月 25 日尼泊尔 $M_s 8.1$ 地震,显然其记震能力远低于洪洞井。分析认为,洪洞井水位记震能力的大小可能与井-含水层系统的固有频率、水流调节能力等多种条件有关,与观测仪器的记录能力关系不大。

(2) 不同方位、震级、震中距的地震,台站观测条件未发生变化,洪洞井水位对地震的响应方式一致,均表现为振荡或振荡伴随阶变,且振荡阶变的初始方向以上升为主。这种现象说明地震波可能只起到触发作用,水位振荡与触发源方向无关、与应力场相关性不大,其固有的响应方式主要是由观测井局部的地质构造和水文地质条件决定的。

(3) 洪洞井水位水震波记录幅度与震级、震中距不完全符合一定的定量关系,还可能与震源深度、震源机制、地震波传播路径等因素有关;震级相近时,井孔水位对地震的响应速度主要取决于井震距的大小,井震距越小,井水位响应时刻越早。

(4) 引起洪洞井水位振荡的地震波主要是 S 波,部分是 P 波、面波;且 S 波引起的水位幅度变化要小于 P 波,而面波引发的水位幅度变化最大。

致谢: 由于洪洞井井水位数字化观测年限较短,震例数量有限,研究所得到的认识有限,文中存在欠妥之处,深入研究洪洞井水位所蕴含的信息需要进一步积累资料后再进行,谨望专家批评指正。感谢审稿专家对本文提出的宝贵修改意见。

参考文献

- 陈大庆、刘耀炜,2006,我国在井-含水层系统对地震波同震响应方面的研究进展,国际地震动态,(7),27~31.
- 顾申宜、刘阳、张慧等,2011,海南琼海加积井水位对远场大震的同震响应特征研究,中国地震,27(1),83~91.
- 敬少群、王佳卫,2001,长沙井动水位对台湾集集 7.6 级地震的震时效应及其机理分析,华南地震,21(1),32~37.
- 舒优良、张世民,2003,周至深井水震波数字化记录与地震波记录的对比研究,地震地磁观测与研究,24(5),26~31.
- 孙小龙,2007,水位与水温对远场巨震同震响应的机理研究,4~9,硕士学位论文,兰州:中国地震局兰州地震研究所.
- 汪成民、卓明葆、郭一新等,1983,地震引起的深井水位振荡现象,地震,3(2),34~38.
- 杨从杰、梅卫萍、张秀霞等,2009,句容 16 井远震同震效应的初步研究,地震地磁观测与研究,30(3),43~47.
- 杨竹转、邓志辉、陶京玲等,2007,北京塔院井数字化观测水温的同震效应研究,地震学报,29(2),203~213.
- 张清秀、陈小云、陈莹等,2007,福建省数字化水位水温资料的远场效应研究,华北地震科学,25(4),49~54.
- 张子广、万迪堃、董守玉,1998,水震波与地震面波的对比研究及其应用,地震,18(4),399~404.
- Cooper H H Jr, Bredehoeft J D, Papadopoulos I S, et al, 1965, The response of well-aquifer systems to seismic waves, J Geophys Res, 70(16), 3915~3926.
- Wakita H, 1975, Water wells as possible indicators of tectonic strain, Science, 189(4202), 553~555.
- Wang C Y, Chia Y, Wang P L, et al, 2009, Role of S waves and Love waves in coseismic permeability enhancement, Geophys Res Lett, 36(9), L09404.

The Characteristics Analysis on Co-seismic Response of Water Level to Remote Strong Earthquakes in the Hongtong Well, Shanxi

Li Ying^{1,2)} Yin Weiwei^{1,2)} Hu Yuliang^{1,2)} Cheng Dongyan^{1,2)} Mu Huimin^{1,2)}

1) Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan 030021, China

2) State Key Observatory of Shanxi Rift System, Taiyuan 030025, China

Abstract The co-seismic response of water level in the Hongtong well to remote strong earthquakes were systematically analyzed since the digital transformation in 2013, and the results represented that the water level in the Hongtong well had a good response capability of recording earthquakes ($M_s \geq 7.5$), and co-seismic response of the Hongtong well showed a certain direction; to different earthquakes the co-seismic response forms of water were mainly water waves, part of the water waves was given accompanied by step changes and the initial direction of co-seismic step change was mainly rising. Statistical analysis showed that the amplitude of water level had a poor correlation with the epicentral distance and magnitude, and the epicentral response time had a quantitative relationship with the epicentral distance. Further verification indicated that the most of co-seismic responses were caused by S-wave, some of which being surface waves, or P-wave and the change of water level caused by S-wave is smaller than that of P-wave, among which the surface wave is the largest. In this paper, the mechanism of water level oscillation of the predecessors' research was analyzed, and the preliminary discussion on its related mechanism was given combining the Hongtong well specific circumstances change.

Key words: Water level; Co-seismic responses; Remote strong earthquake; Mechanism explain