

山西水 2 井和岳 42 井水位记震能力分析

张子广, 张素欣, 郑云贞, 王贺生

(河北省地震局, 河北 石家庄 050021)

摘要: 对比分析了唐山地区同一地质单元内、同一观测含水层、水位动态相同的山西水 2 井和岳 42 井记录的水震波曲线, 显示两井记震能力相差很大. 从井孔结构、地震面波特性和方面分析了两井记震能力差异性的成因机理. 结果表明, 井孔的固有周期是影响水位记震能力大小的首要条件.

主题词: 水位; 地震面波; 固有周期

中图分类号: P315.72⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2002)03-0262-05

0 引言

水震波即地震面波引起的井水位振荡. 记震能力则反映了井—含水层系统对地震面波的响应能力, 表现在水位上就是面波通过时引起水位振荡幅度和时间的大小. 不同井孔的井—含水层系统对地震波的响应能力不同, 井—含水层系统的固有周期、含水层的导水系数、井孔变径等条件对其都有影响, 主要取决于井—含水层系统和水位观测系统的固有周期^[1]. 水位观测仪器的自振频率是水位对于地震波响应能力方面的主要条件, SW40-1 型水位记录仪对水位振动的响应相当于一台固有周期为几秒的地震仪^[2]. 同时有试验表明, 井孔变径是井水位映震的一个灵敏条件^[3,4].

河北省唐山地区的山西水 2 井和岳 42 井的水文地质条件、含水层的介质特性及水位观测系统都基本相同, 但在记录地震波方面显示出相当大的差异性. 山西水 2 井对于全球 7 级以上及其东部洋壳 6 级左右地震基本都能记录下来. 而岳 42 井记录不到地震波, 当全球 8 级左右强震的面波通过时, 水位也只表现为 2~30 mm 的阶变或脉冲, 甚至有的阶变也显示不出来. 本文拟结合上述诸多研究结果, 根据两井的水震波记录图像和水位动态图像, 从地震面波特性及成井条件等方面解释二者水位记震能力的差异性.

1 井孔概况

山西水 2 井又名唐山矿井, 位于唐山市区人民公园内 (118.18°E, 39.62°N), 开平断裂西侧. 该井完钻井深 286.6 m, 目前井深 207 m, 孔口标高 23.3 m. 含水层岩性为奥陶系灰岩, 含水层厚度 50 m 左右 (井孔出水段), 地下水类型为岩溶裂隙承压水. 因该井位于城市地下水漏斗中心部位, 所以水位埋深较大, 1983 年至 2000 年水位平均埋深 51.7 m. 套管深度 154 m (套管井径不祥), 以下为裸孔 (图 1a). 自 1981 年 1 月开始观测, 记录仪器为 SW40-1 型水位仪. 水

位年动态规律及多年变化受降水、开采影响, 有固体潮和气压效应。

岳 42 井位于唐山市丰南县境内(118.18°E, 39.62°N), 与山西水 2 井相距约 8 km, 处于开平断裂东侧。该井完钻井深 706.7 m, 其中井口至 427.92 m 套管直径 127 mm; 427.92 m 至 546.24 m 套管直径 91 mm; 以下为裸孔, 井径 75 mm。孔口标高 5.95 m。含水层岩性为奥陶系灰岩, 厚度 160 m 左右(井孔出水段), 地下水类型为岩溶裂隙承压水(图 1b)。因该井位于城市地下水漏斗边缘区, 水位埋深在 22~36 m 之间波动, 多年水位平均埋深 30.1 m。1982 年 10 月开始观测, 记录仪器为 SW40-1 型水位仪, 水位年动态规律及多年变化受降水、开采影响, 有固体潮和气压效应。

2 水位动态及记震能力分析

山西水 2 井和岳 42 井的地下水宏观动态类型具有降雨补给径流型和降雨补给开采型两种特征^[5]。水位年动态呈现在开采时下降, 降雨季节上升, 具有明显的季节性升降变化。在一个水文年内高水位一般出现于 11 月~次年 2 月, 低水位期出现于 5~7 月; 水位多年动态特征与降水的多年变化一致。固体潮和气压效应等水位微动态变化两井都有所记录。从水位多年动态及年变动态规律方面分析, 两井的水位动态表现出了非常相似的变化图形(图 2)。图 2 上部为两井的水位月均值曲线, 下部是 2000 年水位日均值曲线。

图 2 显示了两井水位动态的相似性, 但记录地震波方面显示出相当大的差异性。山西水 2

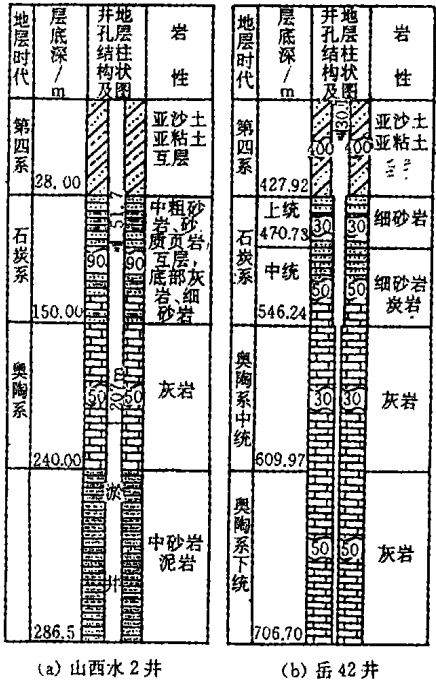


图 1 两井孔柱状剖面图
Fig. 1 The columnar section of two wells in Tangshan city.

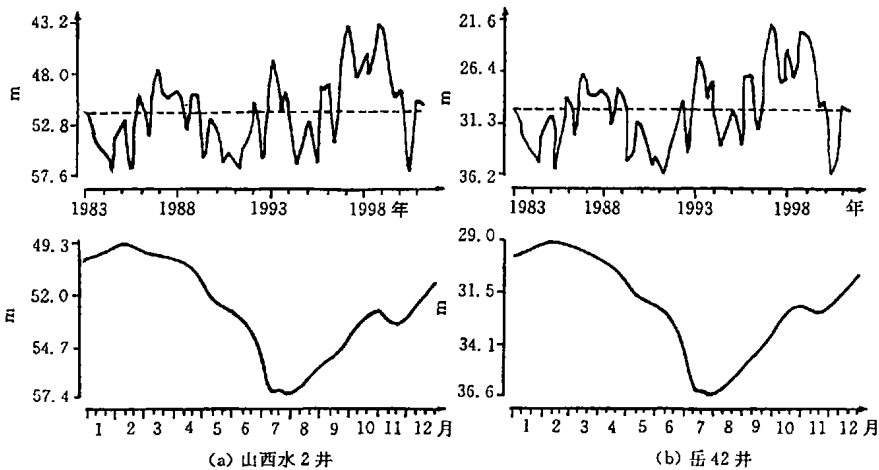


图 2 两井水位动态曲线
Fig. 2 The curve of groundwater level of two wells.

井对全球 7 级以上及其东部洋壳 6 级左右地震基本都能记录下来,甚至有些水震波双振幅限幅 $> 400\text{ mm}$);而岳 42 井记录不到地震波,当 8 级左右强震的面波通过时,水位只有 2~30 mm 的单幅阶变或脉冲.图 3 列举了部分具有代表性的水震波曲线,图中上曲线为山西水 2 井,对地震有很好的反应,分别是:(a)1984 年 8 月 7 日 03 时日本九州以东(32.3°N , 132.0°E) M_s 7.2 地震,水震波限幅;之前还有 8 月 6 日 20 时印尼 M_s 6.8 地震;(b)1984 年 11 月 17 日 14 时印尼苏门答腊(0.1°N , 98.1°E) M_s 7.4 地震,水震波限幅;(c)1995 年 5 月 27 日 21 时

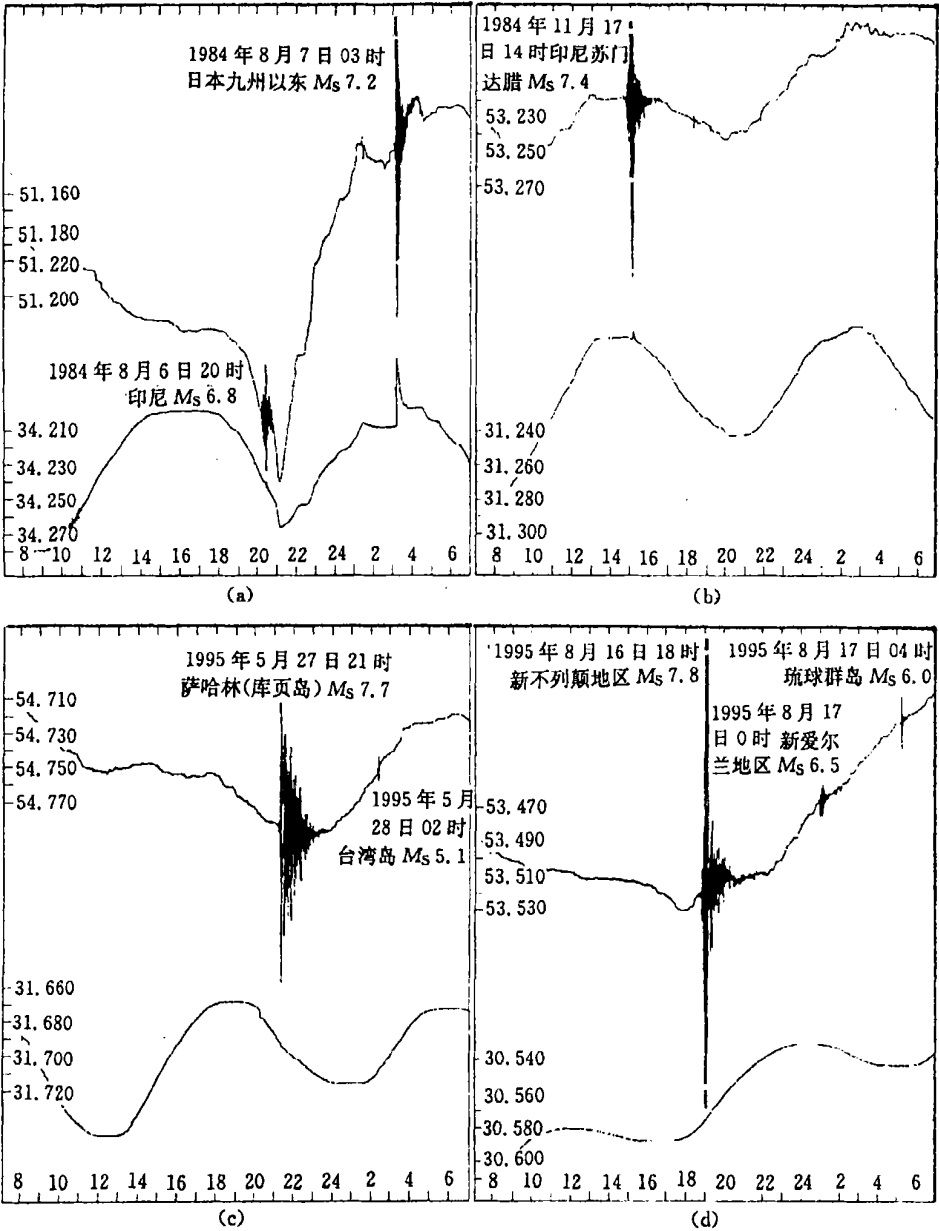


图 3 两井水震波图像(上曲线为山西水 2 井;下曲线为岳 42 井)

Fig. 3 The groundwater level with image of seismic wave of two wells

(Upper curve is Shanxi water 2 well lower curve is Yue 42 well).

萨哈林(库页岛)(52. 57°N, 142. 95°E) M_S 7. 7 地震, 水震波限幅; (d) 1995 年 8 月 16 日 18 时新不列颠地区 5. 71°S, 154. 26°E) M_S 7. 8 地震, 水震波限幅。

前文已叙两井的水文地质条件、含水层的介质特性及水位观测系统都基本相同, 所不同的是山西水 2 井和岳 42 井的成井条件。山西水 2 井井深较浅、无变径, 岳 42 井有变径、井深大(图 1)。已有研究结果表明井—含水层系统对地震波的响应能力主要取决于井—含水层系统和水位观测系统的固有周期, 即井水位产生振荡的必要条件是固有周期和地震面波周期相匹配或相近。引起井水位振荡的地震面波是瑞利面波^[6], 其振动周期一般在 20 s 左右。根据前人的研究结果, 本文着重分析两井的不同成井条件所造成的对地震面波响应能力的差异性, 从井—含水层系统的固有周期、井孔变径等方面分析两井的记震能力的不同。山西水 2 井和岳 42 井的观测系统相同, 不考虑其对响应能力的影响。

井—含水层系统的固有周期可以用下式近似计算^[7]:

$$\tau_0 = 2\pi \sqrt{\frac{H_e}{g}} \tag{1}$$

式中: H_e 为井水柱的有效高度; g 为重力加速度, 取值 9.81 m/s^2 。井水柱有效高度 H_e 的表达式为

$$H_e = H + \frac{3}{8}d \tag{2}$$

H 为隔水顶板以上的水柱高度, d 为含水层厚度; 当井孔有两次变径时, 井水柱的有效高度用下列算式表示^[8]:

$$H_e = H_1 + \gamma_1 H_2 + \frac{3}{8} \gamma_2 d \tag{3}$$

式中: H_1 、 H_2 分别为含水层上覆岩层不同井径的水柱高度; γ_1 、 γ_2 为井孔变径的面积比, 即

$$\gamma_1 = \frac{r_1^2}{r_2^2}, \gamma_2 = \frac{r_1^2}{r_3^2} \tag{4}$$

r_1 、 r_2 、 r_3 分别为井孔上部、中部、下部的井径半径。

山西水 2 井隔水顶板以上的水柱高度 H 为 98.3 m, 含水层厚度 d 取值 57 m (裸露段)(图 1a)。岳 42 井井水柱高度和含水层厚度分别为: $H_1 = 397.78 \text{ m}$; $H_2 = 118.32 \text{ m}$; $d = 160.46 \text{ m}$; 井孔变径面积比 γ_1 、 γ_2 分别为 1.948, 2.867(图 1b)。将上述数值代入式(1)~(4)计算得: $\tau_{\text{山西水2}} = 21.9 \text{ s}$, $\tau_{\text{岳42}} = 56.7 \text{ s}$ 。

上述结果表明, 山西水 2 井井—含水层系统的固有周期为 21.9 s, 与瑞利面波的振动周期相匹配, 所以地震面波通过时水位能够产生共振, 甚至其东部洋壳 6 级左右的地震波也能使其水位起振。岳 42 井的井—含水层系统固有周期为 56.7 s, 大于瑞利面波的振动周期近 2 倍, 所以 7.5 级以上的强震也很难使该井水位起振, 只造成 2~30 mm 的阶变或脉冲变化。

4 结语

对比唐山地区同样水文地质条件、同一观测含水层、水位动态相同的山西水 2 井和岳 42 井记录的水震波图像, 显示两井记震能力相差很大。本文从井孔结构、地震面波特性等方面分析了两井记震能力差异性的成因机理。结果表明:

(1) 井孔的固有振动周期是影响水位记震能力大小的首要条件。山西水 2 井井—含水层系统的固有周期为 21.9 s, 与瑞利面波的振动周期相匹配; 岳 42 井的井—含水层系统固有周

期为 56.7 s, 大于瑞利面波的振动周期近 2 倍. 因此前者具有很好的记震能力, 后者几乎不记震.

(2) 从地质结构上分析, 山西水 2 井上覆地层薄, 孔口标高 23.3 m; 岳 42 井上覆地层厚, 孔口标高 5.95 m, 地下水径流方向应是由山西水 2 井流向岳 42 井. 但由于两井分别位于地下水漏斗区的中心与边缘, 就水位平均埋深来说, 山西水 2 井要比岳 42 井的水面(压力水头)低 3 m 左右. 从地下水动力均衡理论分析, 山西水 2 井周围含水层接受补给的要量比岳 42 井大, 也就是说地下水的流动性更大. 由此造成两井周围含水层水动态平衡的稳定性, 相比之下岳 42 井要更稳定一些. 当含水层受到外界某种应力干扰时, 山西水 2 井的响应比岳 42 井要明显. 所以两井所处的水文地质结构的特殊性对它们在响应地震波能力上也可能有一定影响.

[参考文献]

- [1] 张昭栋, 郑金涵, 张广成. 水井含水系统与水位观测系统对固体潮与地震波的响应[J]. 地震学报, 1988, 10(2): 171—182.
- [2] 张昭栋, 郑金涵, 冯初刚. 浮标水位仪对水井水位振动的响应[J]. 华北地震科学, 1986, 4(4): 10—16.
- [3] 车用太. 地下水动态观测井映震灵敏条件研究[J]. 中国地震, 1990, 6(4): 67—73.
- [4] 车用太, 鱼金子, 许学礼. 密山井水位动态的变径观测与研究[J]. 华北地震科学, 1992, 10(4): 39—48.
- [5] 国家地震局科技监测司. 地震地下水手册[M]. 北京: 地震出版社, 1995. 134—135.
- [6] 张子广, 万迪坤, 董守玉. 水震波与地震面波的对比研究及其应用[J]. 地震, 1998, 18(4): 399—404.
- [7] 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. 154—159.
- [8] 张昭栋, 王尤培, 郑金涵. 井孔变径与水井含水层系统对地震波的响应[J]. 华北地震科学, 1992, 10(3): 66—74.

ANALYSIS ON THE ABILITY OF GROUNDWATER LEVEL FOR RECORDING SEISMIC WAVE IN SHANGXI WATER 2 AND YUE 42 WELLS, TANGSHAN, CHINA

ZHANG Zi-guang, ZHANG Su-xin, ZHENG Yun-zhen, WANG He-sheng
(*Seismological Bureau of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China*)

Abstract: The curves of recorded seismic wave on groundwater level in Shanxi water 2 and Yue 42 wells, in Tangshan city, Hebei province, are contrasted. Both wells locate in the same geological unit and same water-bearing bed, with same water level dynamic style, but have very different abilities of recording seismic wave. The mechanism of the difference in two wells is analysed from the structure of wells and the property of seismic surface wave. The result shows that the inherent period of well hole is the first important condition for influencing the ability of recording seismic wave of groundwater level in well.

Key words: Groundwater level; Seismic surface wave; Inherent period