

“动水位”异常特征与敏感原因分析

万迪埜 李师群 黄保大 蓝秀英 贾化周

董守玉 张子广

(河北省地震局)

摘 要

我国地震地下水动态观测井网建立以来所取得的资料表明,同样是承压水,静水位和动水位的映震能力有明显不同,论文通过大量实例及统计结果说明,动水位的映震能力明显优于静水位,并从理论上探讨了“动水位”映震能力强的原因。

关键词 承压水 映震能力 动水位 静水位

一、前 言

“动水位”观测是将自流井的流量观测转变为“水位”观测的方法。“动水位”是指在一定放水量条件下,井管中的水面相对于排水管中心的高度,与水文地质学中动水位的概念是不一致的,不是真正的动水位,它的变化反映排水量的变化。

几年来的实践证明,“动水位”观测井有较强的映震能力,其在地震预报中的作用越来越受到地震工作者的重视。苏联有关资料也表明,“对于地震预报来说,观测自流井流量变化比观测非自流井水位变化效果更佳”。为了更好地发挥“动水位”观测井在地震预报中的作用,有必要对“动水位”异常与地震的关系、“动水位”异常特征、“动水位”异常机制及敏感的原因等问题进行深入研究,本课题是在这方面迈出的第一步。

河北省目前有地震观测深井16口,全部为承压水。其中静水位观测井9口,“动水位”观测井7口,其分布见图1。

本文重点解剖昌黎(冀02)、马₁₇(冀17)、万全(冀01)和浅牛6(冀09)等四口“动水位”观测井,通过总结发生在河北及其邻区的七次中强以上地震,讨论“动水位”异常特征及有关问题。

二、动水位异常与地震

(一)、震例

建网以来在河北及其邻区共发生 $M_s \geq 5$ 级地震7次,这七次地震前动水位观测井多数

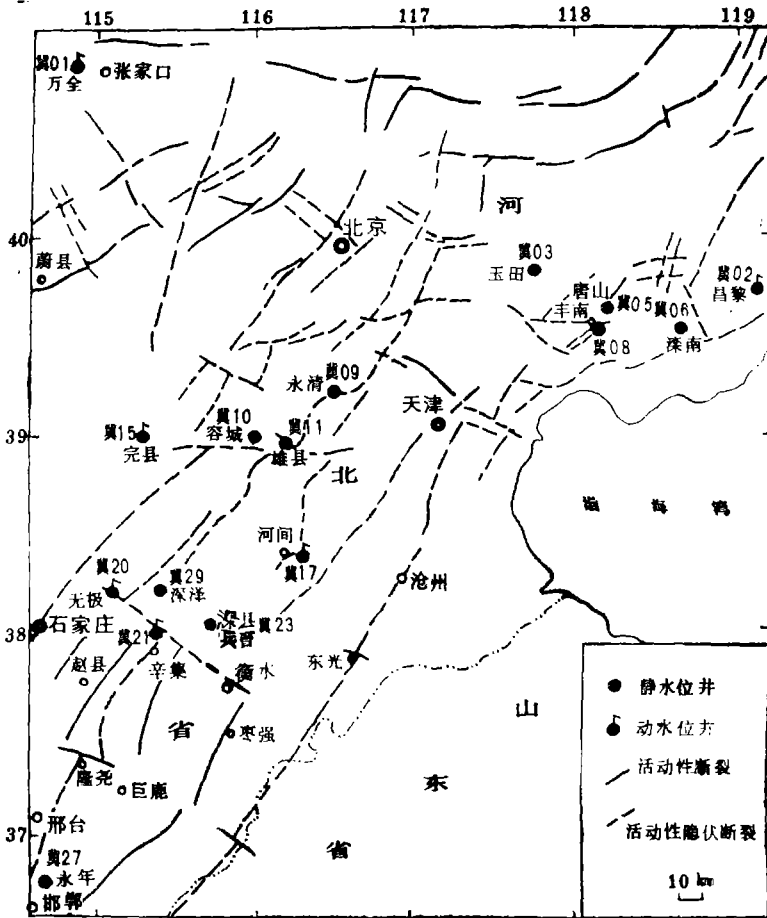


图1 河北省地震观测井分布图

出现显著的异常变化，映震能力明显优于静水位观测井。

1、1981年8月13日内蒙丰镇5.8级地震

距震中113公里的万全井，井深217米，含水层为石英斑岩破碎带。该井水位自7月14日起出现一组（共三次）阶变型异常升降，幅度5—10毫米。震时、震后水位上升13毫米。形成一组震前有异常，震时、震后有“效应”的完整异常图形^[1]。

2、1981年11月9日隆尧5.8级地震

位于震中东北方向67公里、紧靠发震构造的晋19井震前异常变化明显。该井井深3033米，由于放水量大，从1981年8月16日正式观测以来，水位一直处于缓慢下降之中。10月16日起在没有改变放水量的情况下，水位由下降转平，在水位曲线上形成一个明显的转折，这实质上是流量增加，是明显的异常变化。水位转平后，于10月28—29日和30日至11月1日发生两次突降，幅度分别为39和43毫米^[2]。

距震中150公里的河间马₁₇井异常更为突出。该井井深2694米，含水层为震旦亚界

雾迷山组灰岩。马₁₇井水位由于受油田注水影响。自观测以来一直处于缓慢上升之中。8月24日至震前除缓慢上升外，水位还出现4次醒目的突升，其中8月24日突升43毫米，9月24日突升196毫米，10月7日突升58毫米，11月6日水位突升292毫米后溢出井口，形成喷涌，三天后发生隆尧5.8级地震^[3]（图2）。

此外，距震中230公里的浅牛6井水位也有异常显示，表现为两次阶变型下降和一次上升。其中8月27日下降95毫米，接着突升50毫米，11月2日下降50毫米，七天后发震。

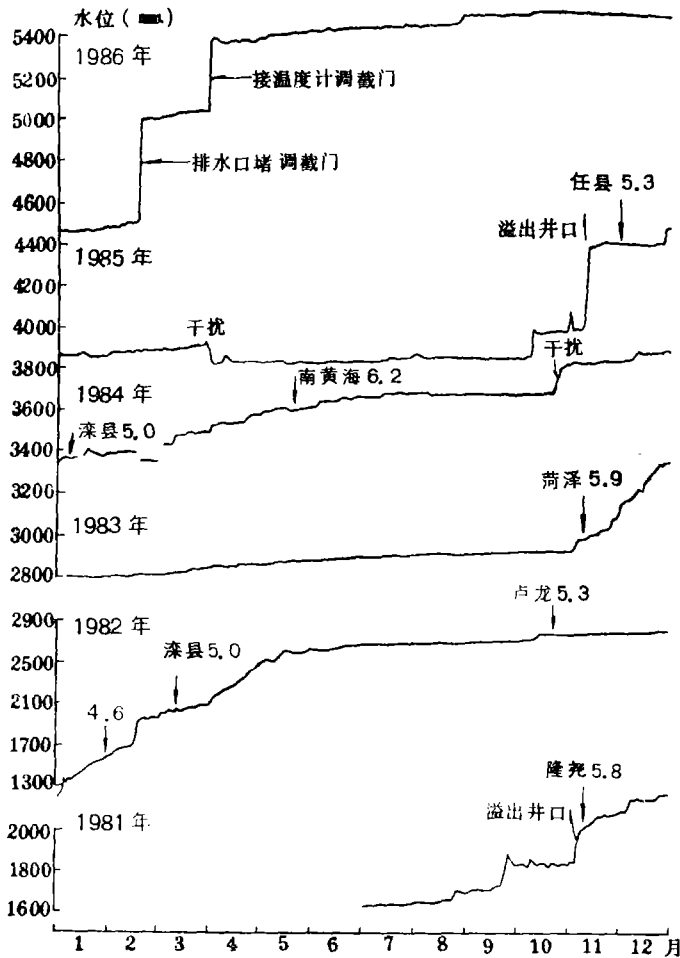


图2 马₁₇井水位异常与地震对应关系图

3、1982年3月8日深县北5.0级地震

震前距震中200公里的浅牛₆井和距震中260公里的马₁₇井有明显异常变化，距震中36公里的昌黎井也有一些异常显示。

浅牛₆井水位震前出现两次阶变型上升，其中2月25日突升30毫米，26日突升40毫米，10天后发震（图3），马₁₇井水位2月28日出现小幅度阶变异常，先降16毫米，后升15

毫米，3月4日水位突升25毫米，4天后发震（图2）。

此外，昌黎井临震前1小时41分水位开始由下降转上升，至震时共上升19毫米。震时震后效应明显，水位上升95毫米。

4、1982年10月19日卢龙5.3级地震

震前出现水位异常的井孔有昌黎井，浅牛6井、兴济井和马₁₇井。

昌黎井（ $\Delta=28$ 公里）水位自8月17日至10月15日缓慢下降18.4厘米，10月17日起水位转向上升，两天后发震，震时、震后水位大幅度上升，属典型下降型异常。

马₁₇井（ $\Delta=300$ 公里）水位于10月12日在平稳的背景上突升34毫米，然后转为缓升，6小时内又上升16毫米，共上升50毫米（图2）。

兴济井距震中250公里，10月17日11时和16时分别出现幅度为24毫米和70毫米的两次脉冲型突跳^[3]

（图4）。

此外，浅牛6井水位在震前出现两次突降和三次突升变化。其中6月26日水位突升40毫米，8月6日突降70毫米。9月15日突降30毫米，9月26日突升30毫米，9月29日突升30毫米，20天后发震。

5、1983年11月7日山东菏泽5.9级地震

鲁05井距震中150公里，为流量观测井。1983年10月26日至发震，12天内流量下降0.44吨/2小时，震后流量变化平稳（图5）。

马₁₇井（ $\Delta=360$ 公里）水位震前出现两次阶变型异常。10月25—26日出现一次先下降后上升幅度达43毫米的“地堑型”异常。11月5日水位又出现41毫米的异常突升（图2）。

此外，距震中627公里远的万全井震前、震后水位出现明显的异常变化：震前3小时水位突降3.5毫米。震时记录到水震波，震后七小时又记录到6.5毫米的突升，构成一“槽形”下降，地震正好发生在“槽形”下降之中^[3]。

6、1984年1月7日滦县5.0级地震。

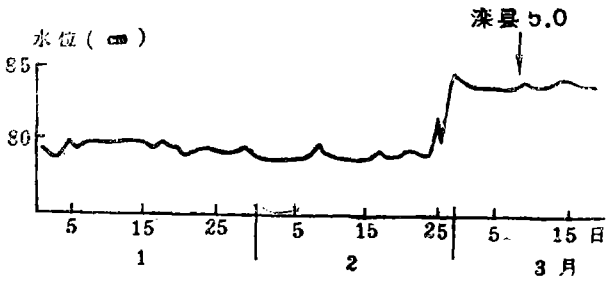


图3 滦县北地震前浅牛6井水位的异常变化

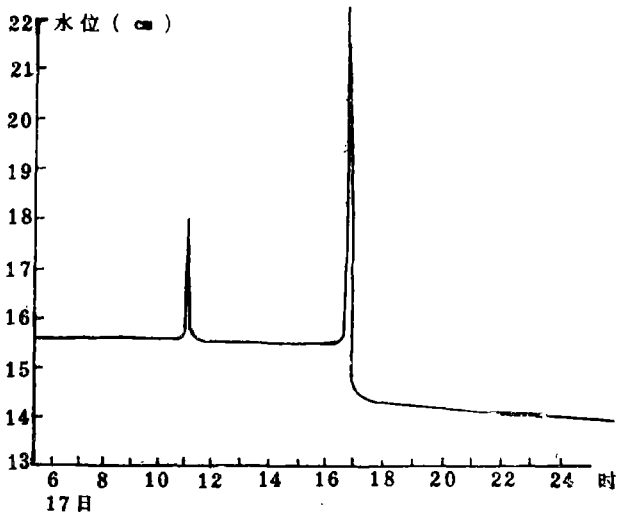


图4 卢龙地震前兴济井水位的脉冲型突跳

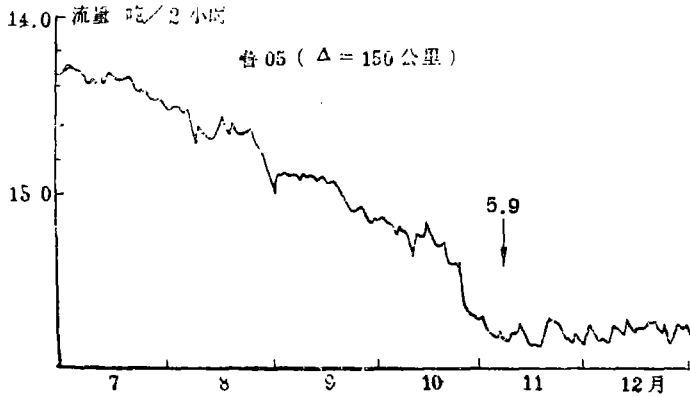


图5 菏泽5.9级地震前后鲁05井流量曲线

昌黎井 ($\Delta = 36$ 公里) 水位从1983年11月16日起出现异常下降, 至1984年1月4日共下降88毫米, 形成明显的下降型异常。震时震后水位急剧回升, 1月13日基本恢复到10月中旬的水平 (图6)。

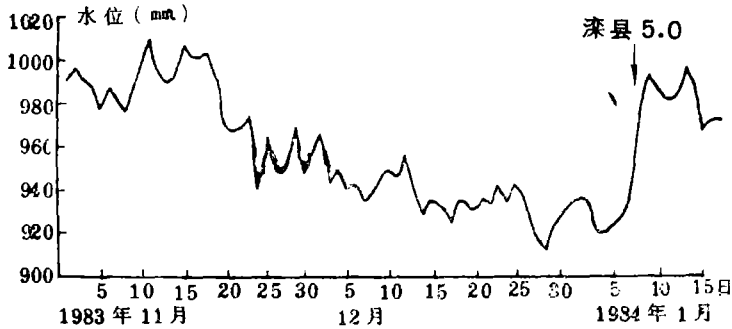


图6 滦县地震前昌黎井水位的异常变化

浅牛6井 ($\Delta = 200$ 公里) 水位自1983年10月24日起明显上升, 并发生四次突变: 11月11日突升18毫米, 11月19日突降8毫米。12月9日突升32毫米, 12月15日突降7毫米, 23天后发震。

马₁₇井距震中255公里。1983年11月7日菏泽5.9级地震后, 从11月10日起水位上升速率明显加大, 至11月25日上升50毫米, 上升速率达100毫米/月, 11月25日起水位上升速率进一步增加, 至12月25日共上升305毫米, 上升速率达305毫米/月。其间多次出现阶变型上升, 如1983年11月25日水位突升40毫米, 11月30日突升36毫米等 (图2)。

7、1985年11月30日任县5.3级地震

距震中190公里的马₁₇井, 震前水位出现两次阶变型上升, 10月11日突升123毫米, 11月12日突升412毫米后溢出井口, 异常形态与隆尧5.8级地震极为相似, 18天后发震

(图2)。

此外,距震中280公里的浅牛6井水位也出现异常。10月23日水位突降23毫米,然后又缓降共下降34毫米;11月1日水位突升15毫米;11月6日至13日水位持续下降;异常幅度45毫米,17天后发震。

(二) 异常特征

1、异常形态以阶变型和下降型为主,其它异常形态较少见,阶变型异常多数以阶变组形式出现(见表1)。

表1 七次中强以上地震水位异常形态统计

异常形态	异常(组)井次	百分数 %
阶变型	13	61.9
下降型	5	23.8
上升型	2	9.5
脉冲型	1	4.8
合计	21	100%

2、异常全部出现在短临阶段。不同井孔异常出现的时间具一定的同步性。

据七个动水位观测井统计,在七次中强以上地震的21井次异常中,除一次异常开始出现的时间为震前115天外,其余全部在80天以内,而异常结束的时间则主要集中在震前10天以内(表2)。

表2 异常开始与结束时间统计表

异常开始距发震时间(天)	异常井次	百分数%	异常结束至发震时间(天)	异常井次	百分数
<10	4	20	<10	15	71.4
11-20	4	20	11-20	4	19.0
21-30	2	10	21-30	1	4.8
31-40	1	5	31-40	1	4.8
41-50	2	10	>40	0	0
51-60	2	10			
>60	5	25			

异常开始出现距发震时间的平均值为38.3天。异常结束距发震时间的平均值为9.2天。

分析各井孔水位在震前出现异常时间,还可明显地看出,具有一定的同步性。如隆尧5.8级地震前马₁₇井8月24日开始出现异常变化,浅牛6井8月27日开始出现异常;滦县北5.0级地震前浅牛6井2月25日开始出现异常。马₁₇井则在2月28日开始出现异常;菏泽地震前马₁₇井10月25-26日出现异常。鲁₀₆井则在同一天出现异常等等。反映出它们的变化受一个共同的原因引起。

3、异常分布范围广

在21井次异常中，井孔与震中距离大于100公里的有16次，占76%；井孔与震中距离大于200公里的有12次，占57%；

4、异常幅度与震级和震中距的关系复杂。对单个井孔而言似乎异常幅度有随震级加大而增大，随震中距离增加而减小的趋势。

例如：浅牛6井水位对于同一地区的地震有震级越大异常幅度也越大的趋势；唐山老震区的三次地震震级分别为5.0（1982. 3. 8），5.0（1984. 1. 7）和5.3（1982. 10. 19）级。水位异常幅度分别为55、60和135毫米；马17井水位异常幅度与震级，震中距的关系见表3。

表3 马17井水位异常幅度与震级、震中距的关系

序 号	地 震	震 级	井震距 (km)	异常幅度 (mm)
1	1981.11.9 隆尧	5.8	150	>292
2	1982.1.26 隆地	4.6	160	40
3	1982.3.8 滦县北	5.0	260	24
4	1982.10.19 卢龙	5.3	300	43
5	1983.11.7 菏泽	5.9	360	43
6	1984.1.7 滦县	5.0	255	40
7	1984.5.21 南黄海	6.2	810	44
8	1985.11.30 任县	5.3	190	>412

三、动水位映震能力评价

1、动水位映震能力较强，明显优于静水位。

“动水位映震能力较强，可能优于静水位”的认识始于1981年，近年来通过大量地震实践的检验。更加深了这一认识。在“1981年11月9日隆尧5.8级地震前深井水位的异常变化”一文中我们曾指出，“动水位观测，从其观测精度上看虽然逊于静水位观测。但由于水体处于运动中，其频率响应特性可能有利于记录下含水层介质应力应变状态的迅速调整。因而其反映地震的能力有可能比静水位强”。

统计七次中强以上地震的动水位异常可以发现每次地震前动水位观测井均出现明显的异常变化，而且异常井占同类观测井的比例较大，平均可占84%左右，其中四次地震竟达100%，而同一范围内静水位观测井总数虽然几乎是动水位观测井的9—10倍，但异常井却寥寥无几。异常井只占同类井的4%左右。可见动水位映震能力较强。且明显优于静水位（表4）。当然，这有可能与静水位较稳定，其异常信息量相对较小有关，加之我们对此种信息开发、研究不够深入。上述认识只能是初步的，是仍需进一步研究的。

2、利用动水位观测井预报地震三要素还有一定局限性

虽然动水位观测井映震能力较强，显示出比静水位观测井更优越，但是在地震三要素的预报中还是存在不少困难的。

这些困难表现在：一、动水位观测井相对较少，密度远远低于静水位井。因而其控制能力受到极大的限制；二是阶变型异常多以阶变组形式出现。历次地震前阶变次数多不一，因而难于准确判定发震时间，易于拖长预报时段；三是阶变幅度虽与震级、震中距有一定关系，但总的看关系复杂，这也给判断震级和未来震中位置带来一定困难，多数情况下还是凭“经验”来估计。因此利用动水位观测井来预报地震三要素还是有一定局限性的。

表4 七次震例动水位与静水位异常统计表

地震	统计范围 (km)	观测井						
		观测井总数	静水位井			动水位井		
			井数	异常井		井数	异常井	
				井数	占同类井百分数%		井数	占同类井百分数
1981.8.13丰镇5.8级	150	9	8	2	25	1	1	100
1981.11.9隆克5.8级	200	9	6	0	0	3	2	67
1982.3.8滦县北5.0级	260	42	39	1	2.6	3	3	100
1982.10.19卢龙5.3级	300	41	37	1	1.7	4	4	100
1983.11.7菏泽5.9级	400	42	39	2	5.1	3	2	67
1984.1.7滦县5.0级	260	42	39	1	2.6	3	3	100
1985.11.30任县5.3级	200	8	6	0	0	2	1	50
合计		193	174	7	4%	19	16	84%

四、动水位敏感原因的分析

“动水位”观测与静水位观测的主要区别在于，“动水位”观测实质上是观测流量。流量的变化不仅能反映含水层孔隙压力的变化，而且还能反映含水层导水性与渗透性的变化；而静水位的变化一般可以近似地认为代表了含水层孔隙压力的变化。因此静水位反应地壳应力应变的能力与动水位相比，就受到了一定局限。众所周知，在分析饱水孔隙介质孔隙压力与介质变形的关系时，一般都假定是在不排水的封闭含水层条件下或是全部排水的完全开启的含水层条件下，但我们在实际工作中遇到的则是介于两种情况之间的，但更接近于第二种情况的有一定排水的非封闭承压含水层。在这类含水层介质受力变形过程中，尤其是在缓慢变形过程中，由于水的流动，孔隙压可能基本保持不变，或虽有变化但变化微弱且范围有限。这种情况下，静水位的变化则可能微弱。且范围较小；相反，由于介质变形而造成的导水性和渗透性的变化，却可引起流量的显著变化，而在“动水位”上明显地反映出来。这就是“动水位”观测较静水位观测灵敏的第一个原因，也是最主要的原因。

其次，“动水位”井水体处于流动状态，易于带来地壳深部的应力应变、温度及化学组分变化的信息。这是“动水位”观测较静水位观测灵敏的第二个可能原因。

此外，当“动水位”井是热水井或水中含有较多气体时，由于“温度效应”和“气体效应”可以对水位变化产生次生放大作用，这可能是“动水位”观测较静水位观测灵敏的第三个原因。所谓“温度效应”是指，当流量发生变化时，可导致井孔水体散热速度的变化，从而使井孔水温升降，井水柱水温的升降反过来又影响水位。例如水在100个大气压下的热膨胀系数是 704×10^{-6} /度，当井水柱温度上升 1°C 时，那么孔深1274米的浅牛6井的静水位，将由于井水柱的体积膨胀而上升0.897米。因此井孔内温度的变化对动水位变化起到了一个“放大”作用。所谓“气体效应”是指水中溶解气泡在流量变化的情况下所发生的次生变化对“动水位”变化的放大作用。例如，流量增大时，水温上升，而水温上升引起的溶解气的逸出和气泡体积的增大，都导致井水柱体积的增大，使水位进一步上升。因此，“气体效应”的放大作用也是不容忽视的。

除上述原因外，当观测井的含水层是岩溶裂隙水或断层破碎带的基岩裂隙水时，有条件形成压力管状过水通道。此时其流入井中的过程可以近似地看成通过压力管道流入井中。管道中阻力的变化就相当于管路中的阀门，阀门稍有变化就会引起水位、流量的明显变化，根据水击原理，这种阀门作用如能在数秒之内使阀门以上的流速变化达1毫米，就可引起水头高度变化达1米，因此这种作用引起动水位和流量变化的可能性也是很大的。这是“动水位”观测比静水位观测灵敏的第四个可能原因。

五、结 论

1、“动水位”观测，实质上是观测流量。几年来的观测与预报实践证明，“动水位”的映震能力明显优于静水位。

2、“动水位”观测较静水位观测更“灵敏”的原因初步认为有四个方面。即：

- (1) 引起“动水位”变化的因素比静水位广；
- (2) 动水位井水体处于运动状态，能带来深部信息；
- (3) 热水井的“温度效应”和“气体效应”的次生放大作用；
- (4) “阀门效应”的放大作用。

3、“动水位”观测井目前相对较少，今后在有条件地区应优先选一些动水位观测井。这将对进一步提高井网的监测能力和预报效能有重要意义。

(1989年1月13日收到初稿)

参 考 文 献

- [1] 蓝秀英等，内蒙丰镇5.8级地震下水位异常，华北地震科学，4，1，193C。
- [2] 万迪堃等，1981年11月9日隆尧5.8级地震前深井水位的异常变化，地震，3，1981。
- [3] 万迪堃等，河北及其邻区地下水震例分析，华北地震科学，5 卷增刊，1987。

ANALYSIS ON THE ANOMALOUS CHARACTERISTICS AND SENSITIVE CAUSES OF DYNAMIC GROUNDWATER LEVEL

Wan Dikun Li Shiqun Huang Baoda

Lan Xiuying Jia Huazhou Dong Shouyu Zhang ziguang

(Seismological Bureau of Hebei Province)

Abstract

The data from China's observational well network of dynamic groundwater associated with earthquake indicate the responses of pressure water, static Water table and dynamic water table to earthquakes are obviously different. IN this paper, a large number of examples and statistical results show that the response of dynamic water table to earthquakes is more superior to that of static water table and the causes why the response "of dynamic water table" is more superior are discussed theoretically.