

文章编号: 0253-3782(2004)S0-0154-08

学术讨论

华北地区强地震前地下水动态的重现性异常^{*}

曹新来 边庆凯

(中国石家庄 050021 河北省地震局)

摘要 分析华北地区 20 余年地下水动态与强地震活动的关系,发现部分井水位动态在几次强地震前短期阶段出现形态相似的下降变化。其特征表现为水位以突变下降或加速下降开始,转折后变为速率较缓慢的上升,其幅度比下降幅度小得多;地震发生在水位缓慢上升过程,震时或震前水位大幅度上升。这种下降形态的异常在华北地区上百口观测井中记录虽然不多,但是在几次强地震前不同的井记录了形态相同的水位变化过程。表明地下水的地震前兆异常具有一定的重现性,在不同的强地震前可重复出现。因此,有必要研究这类异常的成因及其与强地震活动的关系。

关键词 华北地区 强地震 水位动态 短期阶段 重现性

中图分类号: P315.72⁺3

文献标识码: A

引言

地下水动态受多种因素影响,诸如大气降水、地下水开采、大气压力、潮汐引力和地应力变化、地表水体荷载(及其它荷载)作用以及一些未知因素影响等等,均不同程度地改变着地下水动态,致使地下水位变化形态多种多样。人们对其机理认识也较肤浅。基于形态各异的水位变化图象,如何识别强地震的地下水前兆异常,目前众说纷纭。因此,需要在形态复杂、多样的大量震例中分析异常变化形态的共性特征,筛选重复出现的异常进行研究。

为了寻找短期阶段(震前 3 个月以内)地下水动态的共性特征,本文研究了 1966 年 3 月 22 日邢台 7.2 级地震以来华北地区地下水的震例资料。对几次较强地震研究结果表明,短期阶段地下水动态以下降异常为主(少数动水位观测井短期阶段阶变、脉冲类变化频次升高,临近地震时则降低)。异常形态重复出现较好的震例表明,短期阶段水位以突变形式下降(或加速下降),在下降过程中急速转折,或变为缓慢上升,或下降速率骤然变缓,临震(震前 7 天以内)前水位均呈上升动态,并在上升过程中发生地震,震时或其前后水位大幅度上升。

1 地下水短临异常的重现性

华北地区几次较强地震发生前,部分井地下水位异常变化,包括异常图象的形状、水位变化方向、幅度、速率等在短期和临震阶段显示了较好的一致性,即在不同地震前形态

^{*} 科技部“十五”攻关(2001BA601B01-01-01)子专题部分研究内容。
2003-01-02 收到初稿,2004-03-04 收到修改稿,2004-04-12 决定采用。

相同的异常重复出现，本文称之为重现性异常。这些异常临震前的变化过程相同，震前几天到震时的变化形态相同，异常起始尤其转折以后至地震发生的时间关系相对稳定。因此这类异常较易识别。记录到这类异常的观测井地下水循环深度一般较大，通常为脉状裂隙水或岩溶裂隙水，水位年动态较稳定，受降雨或浅层开采影响不明显。

典型的重现性异常，如1989年10月19日大同5.9级地震前万全井水位异常图象和1998年1月10日张北6.2级地震前万全井、五里营井的水位异常图象。其震中及井位分布见图1。这两口井的震例临震前20余天异常变化过程相同，均为下降转折上升发震的异

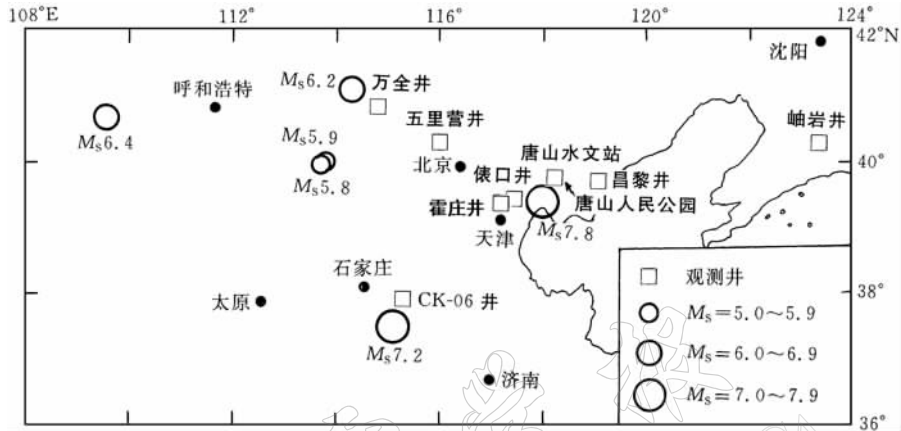


图1 强地震与水位动态观测井分布图

常图象。图2是万全井在这两次地震前记录到的水位动态异常图象和五里营井张北6.2级地震前记录到的水位动态异常图象(表1给出本文所述观测井的基本概况)。万全井水位动态1989年1~9月呈现下降趋势，图2a中1989年9月18日出现加速下降，9月28日降到最低水位，下降幅度63 mm，之后转折、上升；从9月28日最低水位转折点开始，经过水位缓慢回升过程至地震发生时间为20天，震时水位大幅度回升；张北6.2级地震前，该井水位1997年前半年呈下降趋势，5月25日发生宣化4.2级地震，震时水位上升250多毫米，之后继续下降；12月19~20日该井水位出现加速下降(图2b)；之后转折变为缓慢上升，并在此过程中记录到小幅度起伏；从加速下降后最低水位至1998年1月10日张北6.2级地震发生，时间为21天。图2c中五里营井水位张北6.2级地震前中短期阶段于9月18日突升189 mm，之后呈现下降；进入短期一临震阶段后，于1997年12月20日突然下降，幅度达73 mm；突降后水位极不稳定，从1997年12月26日~1998年1

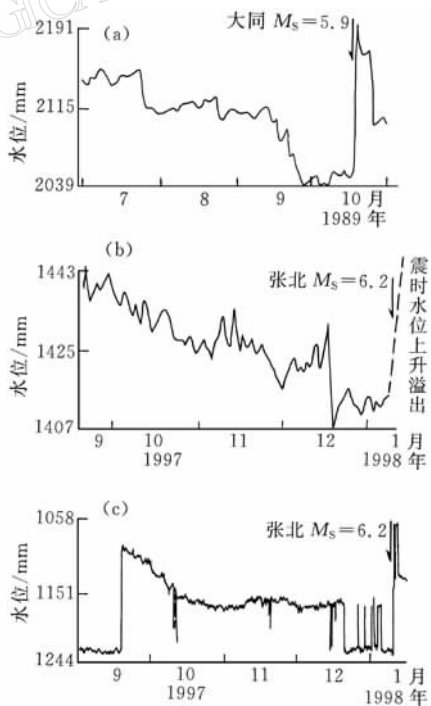


图2 大同5.9级、张北6.2级地震前万全井(a、b)、五里营井(c)地下水位的重现性异常

月 8 日的 15 天中, 多次记录到瞬间升、降及脉冲等高频变化, 6.2 级地震发生后 1 小时内水位突升 118 mm(孙振骞等, 1998); 从 12 月 20 日突降后的最低水位至 1 月 10 日张北 6.2 地震发生, 时间为 21 天.

分析图 2 的 3 条水位动态曲线, 就其现象而言, 地震发生在水位突降后的 20~21 天. 尽管五里营井与万全井所处地质环境不同, 水文地质条件各异, 相距约 115 km, 却在震前同一天(12 月 20 日)观测到形态相似的水位突降变化, 而且下降后的转折时间也相同. 笔者认为, 不同地质环境和水文地质条件各异的两口井, 在地震前同一时间记录到形态相似的水位变化, 不是偶然现象; 本文虽然还不能详细论述区域应力场或震源应力场影响水位动态的过程, 但是可以认为应力场的变化是引起水位突变、转折的因素.

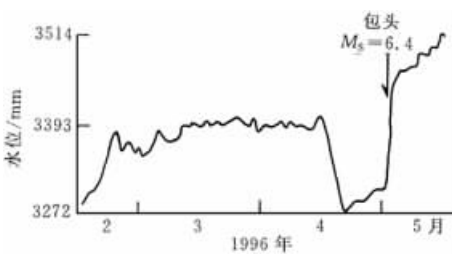


图 3 包头 6.4 级地震前万全井
地下水位的重现性异常

升过程发生 6.4 级地震, 震时水位大幅度上升, 水位转折后至地震发生时间为 11 天. 该井还记录了 1991 年 3 月 26 日大同 5.8 级地震前临震阶段水位微动态异常图象. 图 4 中水位时测值 1991 年 3 月 19 日 21 时开始下降, 20 日 10 时达最低水位, 下降幅度 4 mm, 之后有起伏地逐渐回升, 到 26 日 2 时水位已上升 6 mm, 2 时 2 分发生了大同 5.8 级地震. 震后 1 小时水位上升 2 mm, 26 日 2~23 时, 水位上升 10 mm. 这个震例表明, 尽管水位下降、回升幅度不同, 但是下降转折上升发震的异常模式与上述震例完全相同.

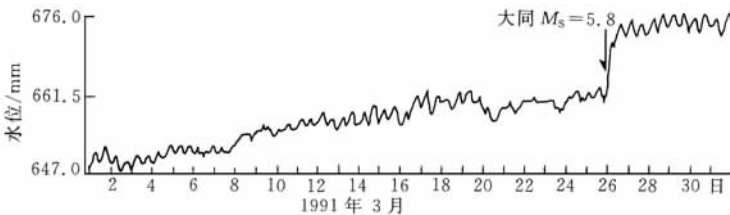


图 4 1991 年 3 月 26 日大同 5.8 级地震万全井水位重现性异常

上述万全井、五里营井的震例显示出, 下降转折上升发震的异常模式对 6.0 级左右地震前兆而言, 最大变化幅度是包头 6.4 级地震前万全井水位 1996 年 4 月 17~20 日 114 mm 的下降异常(不包括中期、中—短期异常阶段, 如万全井 1996 年 1 月 9~10 日, 两次大幅度突然上升, 井水溢出; 五里营井 1997 年 9 月 18 日突升 189 mm). 在华北地区(尤其首都圈地区水位动态观测井密度较大)100 余口水位动态观测井中, 记录到这类异常的井不多. 其原因之一, 绝大部分观测井水位动态受降雨和开采影响, 水位年变化幅度较大. 春季水位下降和汛期后水位上升幅度通常大于 1 000 mm. 还有气压等因素对水位动态的

影响也非常显著，使得这类井记录不到小幅度的异常变化，表 1 给出本文所述水位动态观测井的基本概况。

表 1 观测井概况

井名	测项	井深/m	地下水类型	含水层岩性
万全	动水位	217.3	裂隙承压水	石英斑岩
五里营	动水位	533.12	岩溶裂隙承压水	震旦亚界白云岩
昌黎	动水位	301.04	裂隙承压水	混合岩
唐山	静水位	286.6	岩溶裂隙承压水	奥陶系石灰岩
唐山水文站	静水位	185.01	岩溶裂隙承压水	震旦亚界硅质灰岩
霍庄	静水位	46.8	孔隙承压水	第四系细砂
依口	静水位	50.9	孔隙承压水	第四系细砂
CK-06	静水位	120	孔隙承压水	第四系中粗砂
岫岩	静水位	250	裂隙承压水	前震旦花岗岩闪长岩

2 重现性异常其它震例及基本特征

地下水动态成因是复杂的，不仅含水裂隙岩体或破碎带应力状态变化可以改变其动态，而且水文地质条件、大气降雨补给、开采、大气压力等因素往往决定着井水位的动态类型。例如北京顺义板桥井，系岩溶裂隙承压水，井深 283.6 m，每年春季水位下降，随汛期到来水位逐渐上升，直到翌年 2 月前后达到前半年最高水位，年变幅度通常大于 5.0 m。在华北地区地下水动态观测网中，这种动态类型的井占据多数，重现性异常在这种动态类型的井中其形态常常受降雨、开采、大气压力等因素影响而不易识别，部分井则保留了重现性异常的基本特征。下面讨论这种动态类型的地下水重现性异常及基本特征。

昌黎井水位 1996 年 5 月 3 日包头 6.4 级地震前，重现性异常与春季水位正常下降同时出现，重现性异常形态受到干扰，但是保留了下降转折上升发震的基本模式(图 5)。例如该井水位正常动态 3~4 月份开始下降，6 月底或 7 月初达最低水位，之后随降雨增多、开采减少水位回升，并持续到翌年 2~3 月

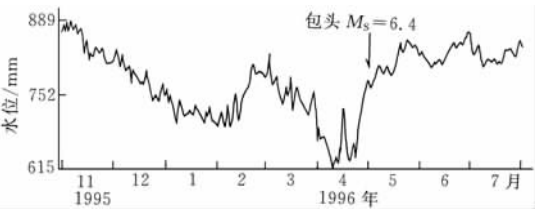


图 5 包头 6.4 级地震前昌黎井
水位重现性异常

份。1996 年 3 月初水位下降，3 月底到 4 月初水位加速下降，4 月 9 日后停止下降转为缓慢上升，年最低水位超前正常动态 2 个月。4 月 10~25 日水位缓慢上升，26 日至 5 月 2 日水位加速上升，5 月 3 日发生包头 6.4 级地震后，水位上升速率变缓。这一水位变化过程(下降时间短，低水位出现早，汛期前于 4 月下旬水位开始上升)，显然与春季水位正常动态不同，是该井 20 余年水位动态观测中未曾有过的现象，属于破年变的异常动态。从上述几个重现性异常震例看，水位下降一转折至地震发生时间，图 1a 中为 20 天，图 1b 和图 1c 中为 21 天，这个震例为 23 天，与上述震例时间相差无几，水位变化过程符合重现性异常的基本特征。该井水位动态在 1989 年 10 月 19 日大同 5.9 级地震和 1998 年 1 月 10 日张北 6.2 级地震前亦有下降转折上升变化过程，只是震时前后水位上升不很显著；张北 6.2 级地震前与 1997 年 12 月 19~20 日水位突然大幅度下降，幅度达 40 mm，与五里营井、万全

井张北 6.2 级地震前的水位下降时间完全一致. 1989 年 9~10 月该井水位两次中断观测, 资料不完整, 尽管如此还是显示了 9 月 25 日水位下降到最低点, 9 月 26 日~10 月 19 日大同 5.9 级地震发生前, 水位处于上升过程, 基本符合重现性异常特征. $M_s > 7.0$ 地震的地下水重现性异常, 震前水位下降持续时间相应要长一些, 幅度也大一些, 仍然显示了下降转折上升发震的异常模式. 下面讨论 1966 年 3 月 22 日邢台 7.2 级地震和 1976 年 7 月 28 日唐山 7.8 级地震的地下水重现性异常.

邢台 7.2 级地震前, 距震中 41 km 的 CK-06 井记录到了水位下降转折上升发震的变化

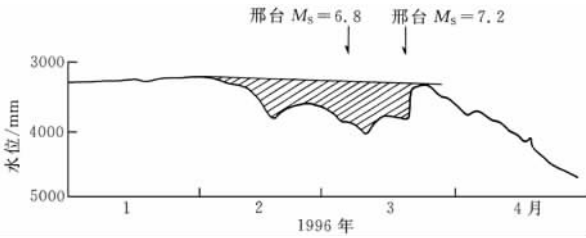


图 6 1966 年邢台 7.2 级地震前 CK-06 井水位短期下降异常

上升 270 mm, 3 月 1~12 日水位下降 270 mm, 期间于 3 月 8 日发生了邢台 6.8 级地震, 3 月 12 日后水位再次上升, 3 月 22 日 7.2 级地震震时及震后水位上升. 图 6 给出 1966 年 1~4 月份的水位动态曲线, 显示了重现性异常下降转折上升发震的异常变化过程.

1976 年 7 月 28 日唐山 7.8 级地震前, 重现性异常在岩溶裂隙承压水和孔隙承压水动态中都很明显. 天津霍庄、依口井深度虽然不大, 因粘土层分布连续, 含水层封闭性较好, 为孔隙承压咸水. 两口井 1976 年 4 月上旬和 5 月下旬先后出现大幅度下降, 偏离多年正常动态, 出现了唐山 7.8 级地震前短期阶段水位大幅度下降的变化过程. 霍庄井 1976 年 4 月上旬水位开始下降, 7 月 9 日达最低水位, 下降幅度大于 2 000 mm, 7 月 10 日至地震前上升 130 mm; 依口井 1976 年 6 月 1 日水位突降 670 mm, 之后转为缓降, 7 月 20 日至地震前上升 80 mm (图 7). 霍庄、依口井水位在唐山 7.8 级地震前的下降不是季节性变化引起的, 这两口井含水层顶、底板均为厚层粘土, 无开采且又不直接受降雨补给, 多年动态相对稳定; 地下水区域性开采引起的地层压力变化对其影响是稳定的, 不会引起地震前的突然变化; 图 8 水位动态表明, 多年动态相对稳定, 季节交替也没有出现唐山 7.8 级地震前后那样大幅度的变化, 因此上述重现性异常与季节交替无关. 唐山 7.8 级

过程(河北省地震局, 1986). 该井为孔隙承压水, 正常动态 4 月初前后水位下降, 降雨集中的 7, 8 月份水位转向上升, 并持续到翌年 4 月初, 每年 1~3 月份是水位变化幅度最小的相对稳定期. 1966 年 2 月份水位偏离正常动态, 开始下降, 下降过程及变化幅度为 2 月 4~20 日水位下降 520 mm, 21~28 日水位

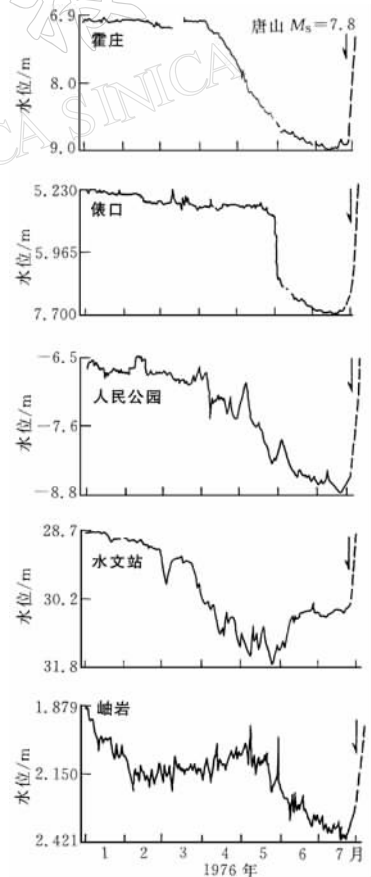


图 7 1976 年唐山 7.8 级地震前地下水位的重现性异常

地震发生可能使这些井遭到不同程度破坏,如井管破裂,水力联系改变等,所以分析震后的水位动态对井-含水层系统要有全面了解。

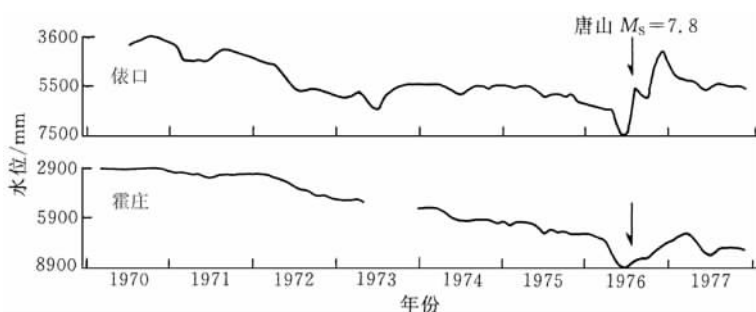


图8 霍庄、依口井水位多年动态曲线

本研究统计了唐山 7.8 级地震前短期临震阶段(1976 年 4 月 1 日~7 月 27 日)22 口井水位异常变化形态. 其中短期阶段水位下降占 17 口井, 临震阶段水位上升占 14 口井, 表明大多数异常均为下降转折上升发震的异常模式. 图 7 水位动态自 1976 年 1 月 1 日始, 截止到 1976 年 7 月 27 日(震时及震后水位大幅度上升用虚线表示), 显示了唐山 7.8 级地震前各类地下水短期到临震阶段的重现性异常. 其中人民公园井 4 月初开始下降, 7 月 22 日达最低水位, 23 日开始缓升; 水文站井 4 月初显著下降, 5 月 26 日达最低水位, 之后持续上升; 岫岩井 5 月初由上升转为下降, 7 月 21 日下降到最低水位, 之后回升. 关于震前 4 月份以后水位下降是否属于季节变化影响, 从下降幅度分析, 震前各井水位下降幅度普遍大于往年, 7 月上旬有大于 50 mm 降雨水位没有回升却继续下降, 是偏离正常动态的. 关于临震前水位回升是否属于降雨影响, 7 月 24 日唐山一带有 58.4 mm 的降雨, 是震前 6~7 月份最大的一次降雨, 多数井水位回升出现于 7 月 22 日、23 日, 因此本文认为临震前的水位回升不是降雨影响. 这些问题不是本文的研究内容. 有关文献对唐山 7.8 级地震临震前唐山一带水位下降、上升异常的可靠性进行了充分论证(《1976 年唐山地震》编辑组, 1982), 本文不再讨论.

归纳上述震例, 重现性异常以较大速率的下降开始, 转折后或变为缓慢上升, 或出现小幅度升、降起伏, 总体呈上升变化. 这个过程短则几天, 长约 20 余天, 可能是重现性异常临近地震的一个标志.

3 重现性异常的短临预测意义

上述震例的重现性异常均有中期或中长期异常背景. 例如, 万全井 1996 年 1 月 12~14 日出现急剧大幅度的水位升、降异常, 并多次溢出, 1 月 28~30 日水位再次大幅度突降, 2 月 9~10 日又大幅度上升. 这样大幅度的水位连续升、降异常持续一个月时间, 并没有出现重现型异常, 也无较强地震发生. 2 月底以后至 4 月上旬水位逐渐稳定, 4 月 17~23 日水位再次下降, 出现重现型异常, 随后发生了包头 6.4 级地震; 再如该井 1989 年 1~7 月份水位多次大幅度下降, 而且阶变频繁, 8 月份水位较为稳定, 9 月中下旬出现重现性异常, 10 月 19 日发生了大同 5.9 级地震; 五里营井 1997 年 9 月 18 日水位突然上升 189 mm, 之后缓慢下降, 12 月 20 日出现重现性异常, 1998 年 1 月 10 日发生张北 6.2 级地震;

1976 年唐山 7.8 级地震以前, 存在 3 年以上的地下水趋势下降异常, 到 1976 年春天水位加速下降, 随后出现了重现性异常等等. 由此可见, 在趋势异常发展背景上如果记录到重现性异常, 尤其是下降后的转折过程出现后, 表明地震已经临近(几天至 10 余天), 而强度通常接近 6.0 级或大于 6.0 级地震, 地点仍然难以预测.

4 讨论

随着 20 世纪 80 年代华北地区地下水动态观测网的建立, 近十余年来几次 6.0 级左右的地震之前都观测到了重现性异常, 虽然井数不多, 但是异常在震前重复出现, 表明重现性异常是有震信度较高的异常. 在华北地区 100 余口水位动态观测井中, 虽然部分井不同程度地记录了 1989 年大同 5.9 级、1996 年包头 6.4 级和 1998 年张北 6.2 级地震的前兆异常, 但是其异常形态复杂多样, 不同地震的异常形态各不相同, 即存在这样一个问题——地下水的异常形态是复杂多样的还是比较单一的. 国内外许多学者对这一问题进行了大量的统计研究, 我国学者给出了国外研究结果. 其中前苏联学者认为地下水位异常的形态是比较单一的, 绝大多数情况下表现为一种下弯形态; 基辛列举了世界 31 次大地震的 42 井次的异常资料, 认为多达 57% 的异常属于下弯形态异常(万迪堃等, 1993). 下弯形态异常首先表现为水位下降, 之后转折、上升, 在上升过程中发生地震. 其异常曲线呈下弯形, 与重现性异常形态相同.

其它类型的异常, 如水位阶变或脉冲频度异常与地震活动关系也较密切, 水位上升异常也有一些震例. 本文仅就重复出现较多、形态一致且与地震强度和发震时间对应关系相对稳定的重现性异常进行了初步研究. 分析重现性异常的变化形态和异常发生、发展过程及其成因, 对震源场与区域场在震前不同阶段, 尤其是短期到临震阶段关系的研究极为重要, 这种研究可以使我们从现象得到的认识进一步升华, 上升到理论.

参 考 文 献

- 河北省地震局. 1986. 1966 年邢台地震[M]. 北京: 地震出版社, 1~174
- 孙振墩, 孙天林, 简春林, 等. 1998. 张北 6.2 级地震前北京地下水位井网动态异常初析[J]. 华北地震科学, 16(3): 53~61
- 万迪堃, 汪成民, 李介成, 等. 1993. 地下水动态异常与地震短临预报[M]. 北京: 地震出版社, 162~163
- 《1976 年唐山地震》编辑组. 1982. 1976 年唐山地震[M]. 北京: 地震出版社, 257~261

RECURRENCE ANOMALY OF GROUND WATER BEHAVIOR BEFORE STRONG EARTH- QUAKES IN NORTH CHINA

Cao Xinlai Bian Qingkai

(*Earthquake Administration of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China*)

Abstract: By analyzing the relationship between ground water behavior and strong seismic activity during the past more than 20 years in North China, we have found similar water level descending variation of a part of wells in the short-term stage before several strong earthquakes. The characteristics of anomaly are: at the beginning, water level dropped abruptly or accelerated to drop; then it turned to slow rising with a smaller amplitude than that of descending; earthquakes occurred during the slow-rising process of water level, and at that time or before earthquake occurrence, water level rose with a large amplitude. Among more than 100 wells in North China, the descending anomalies were not recorded for many times, but similar variation processes of water level were noted at different wells before several strong earthquakes, which proves that seismic precursory anomalies of ground water are of certain recurrence features, occurring repeatedly before different strong earthquakes. Therefore, it is necessary to study the genesis of this type of anomaly and its relationship with strong seismic activity.

Key words: North China; strong earthquake; dynamic state of water level; short-term stage; recurrence