

邯郸地形变与地下水位动态相互关系研究

张双凤, 孙 晴, 张小涛

(河北省地震局 邯郸地震中心台, 河北 邯郸 056006)

摘要:依据邯郸地区地质构造及20多年的观测资料,系统研究了地下水位、地壳形变的正常与异常动态变化及其相互关系。本区地形变的主控因素是西部太行山隆起和东部华北平原大幅度沉降的继承性运动,造成地形变向东南方向倾斜;在大区域的周期性强降水后由于地质构造因素地形变向西北向倾斜,形成水位和形变的正常动态变化。采用有效的定量方法提取异常,显示一部分反向西北倾斜的异常与华北的中强震有较好的对应关系。故强降水引起的地倾斜变化不应看作干扰,而是一种引起地壳变形地震前兆的外动力因素,应予高度关注。

关键词: 邯郸; 地壳形变; 地下水位; 正常动态; 异常动态; 相互作用

中图分类号: P315.72

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2009)04-0367-07

Research on Relationship between the Ground Deformation and Dynamic Groundwater Level in Handan, Hebei

ZHANG Shuang-feng, SUN Qing, ZHANG Xiao-tao

(Handan Central Seismic Station, Earthquake Administration of Hebei Province, Hebei Handan 056006, China)

Abstract: Based on the geological structure of Handan area of Hebei province and the observation date more than 20 years, the normal and abnormal dynamic variations of ground deformation and groundwater as well as their relationship are analyzed. The main two control factors for the ground deformation in Handan area are Taihang mountains rising at west and the continual settlement movement of the northern China plain at east, which caused deformation slant to southeast. But after regional periodic heavy rainfall the deformation slant to northwest, because of the difference of geological structure. Both are normal variations. The anomalies in the deformation and groundwater level are extracted by effective methods, the result indicates that there was a good correspondence between a part of anomalies of opposing northwest slant and northern China plain moderate and strong earthquakes. So it should not be set down as interference that the ground lean with a wide and periodic heavy rainfall. In a sense, it is a factor from outside to induce ground deformation and earthquake. So we should attach great importance to the factor.

Key words: Handan; Ground deformation; Water table; Normal development; Abnormal development; Interrelation

0 引言

地震与前兆都是地壳内部介质发生变化的自然现象,其产生有着共同的动力源,因而,多种前兆异常彼此之间具有形态上的相关性与成因上的联

系^[1-6]。为此,开展地形变与地下水位异常之间的相互关系和相互影响研究^[7-11],可使不同手段的异常变化相互佐证,提炼更为可信的地震前兆信息,也是利用前兆观测资料开展地震预测研究的一种发展方

收稿日期:2008-10-22

基金项目:中国地震局“三结合课题”

作者简介:张双凤(1971-),女(汉族),河北肥乡人,主要从事地震监测工作。

向。近年来,有些学者提出地震诱发的应力—应变场与地下流体动力学间存在强烈耦合的观点,如1998年车用太等在讨论晋冀蒙交界地区降水—地下水异常—地震活动之间的关系时提出的“降雨对深部构造活动的牵引作用”的设想^[12],及深部地下流体促使地震发生,水诱发异常机理^[7-9]等。这些涉及地形变与地下水两种前兆手段相互关系的新观点值得关注。

本文依据邯郸地区前兆观测的资料,开展了地壳形变和地下水位的正常与异常动态变化及其相互关系的研究,并探讨其异常变化与华北地区中强地震的关系。

1 地形变与地下水位观测概况

河北邯郸地区西部为NNE向太行山隆起带,东部是NE向的华北平原沉降带,纵贯本区的太行山前断裂带与横切本区的磁县—大名断裂交汇,形成控制本区构造活动、沉积发育和地震活动的主要构造,并且对整个华北地震带也有着重大影响。太行山前断裂带主要由一系列NE—NNE向的断裂组成,在邯郸地区有邯郸断裂、涉县盆地断裂、广宗断裂等一系列断裂组成。

邯郸地区地形变台和水位观测井的位置如图1。

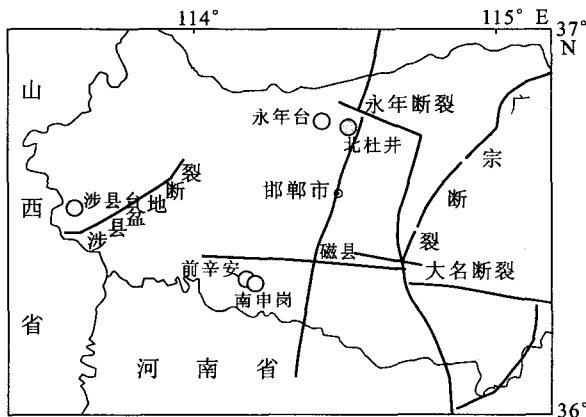


图1 永年台、涉县台及观测井的位置图

Fig. 1 Distribution of Yongnian station, Shexian station and observation wells.

(1) 永年地震台: 台站西部为隆起运动为主的山地及山麓丘陵, SSE方向是沉降为主的平原区。山洞进深约150 m。洞室建于风化剥蚀明显、岩体破碎、裂隙较发育的风化带内, 洞体覆盖层为14 m厚黄土。测项为目视水管和水平摆。

(2) 涉县地震台: 位于太行山东麓的涉县盆地

南部边缘的低山丘陵地区。离涉县断层30 km。山洞进深约115 m。洞体岩石为下古生界中奥陶系石灰岩; 洞体覆盖层为20 m厚黄土。测项为目视水管和伸缩仪。

(3) 永年北杜水位井: 处于太行山山前断裂东侧, 井深1 034.9 m, 含水层为安山玢岩(Ar), 系裂承压水。

(4) 磁县前辛安水位井: 处于太行山山前断裂东侧, 井深约150 m, 含水层为奥陶系灰岩, 地下水类型为岩溶—裂隙水。

(5) 磁县南申岗水位井: 处于太行山山前断裂东侧, 井深约130 m, 含水层奥陶系灰岩, 地下水类型为岩溶—裂隙水。

永年地震台、北杜井、前辛安井及南申岗井彼此间相距在50 km之内。

2 地下水位与地形变正常动态及其相互关系

2.1 年动态特点及成因分析

2.1.1 地下水位年变及其成因

南申岗和前辛安井为100余米的浅井, 水位有一个清晰的年变化过程, 其形态为“夏高春低”型。2—7月水位下降, 8—10月水位明显上升, 而后缓慢下降。水位变化与降水量呈同步变化(图2)。

北杜井为1 034 m深井, 其水位的补给、径流条件和年变特点不同于浅井。该井2—7月水位缓慢上升; 8—9月加速上升, 而后明显下降(图2)。

2.1.2 地形变年变及其与水位关系的分析

从图2可见, 永年台的地形变与地下水位同样具有明显的年变化。整体上两者的变化同步, 在不同的时期有不同的变化特点。

(1) 雨季前期(4月中旬~8月上旬): 降水量开始增加, 总量为几十毫米(个别年份能达上百毫米)。部分降水渗入地表以下被不饱水的包气带所吸收, 很少一部分达到含水层, 补给地下水。故井水位基本上按照原趋势呈现下降变化, 地面倾斜也仍然沿趋势倾向东南。不过在较大降雨后, 水位下降和地面倾斜都有所变缓。

(2) 雨季及其影响期(8月中旬~10月下旬): 降水量增至最大, 达140~270 mm/月之间。降水大量渗入补给地下水使水位上升, 而后缓慢上升至10月下旬达到最高值。相应地地形变也加速变化, 地面快速向西、北倾斜, 9~10月倾斜达到最大值。

(3) 旱季(11月上旬~翌年4月上旬): 月降水

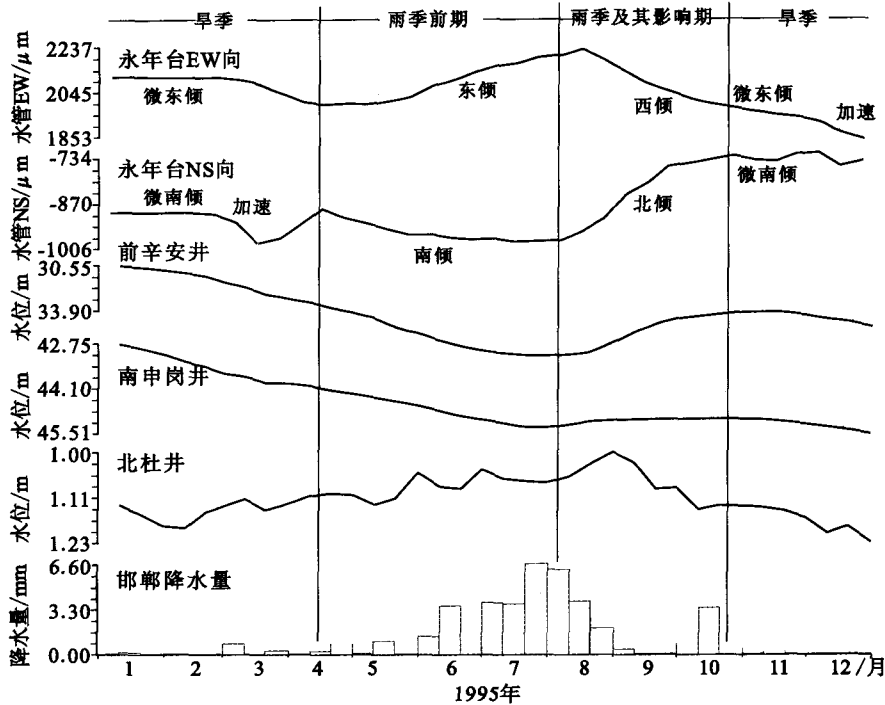


图2 邯郸地区地下水位、地形变及降水量旬值变化曲线图

Fig. 2 Ten days value curves of groundwater level, ground deformation and precipitation in Handa area.

量只有零至几十毫米。水位出现缓慢下降,同时地面倾斜出现恢复性地,缓慢地西倾转为东倾、北倾转向南倾的变化。

3~4月和12月中下旬两次出现地下水位加速下降、地面加速西倾和南倾的变化,其原因有待进一步研究落实。

以上可见目视水管变化与降水、地下水位的关系密切,其原因是:永年台的西部为断块山地及丘陵,地层为灰岩,有利于透水和储水;南南东为平原区,为第四系黄土层覆盖,不利于透水和储水。北部受到的地表和地下水荷载大于南部、西部大于东部,故地面由向SE倾斜转为大幅度向NW倾斜。

2.2 多年动态特点及成因分析

1984—2005年永年目视水管、地下水位及降水量月值变曲线化如图3,可看出水管和水位都具有较稳定的长趋势变化。(1)1990年以来各个井的地下水位都出现了长趋势下降变化。(2)1984—2005年永年目视水管的EW向长期向东倾,NS向长期向南倾,即地面的倾斜方向为东南向。

地下水位的多年趋势性下降主要是由于地下水位的长期超量开采造成的,据报导邯郸、邢台、石家庄、保定4市平均每年水位下降约0.7 m^[13]。

地面倾斜的长趋势变化原因与封弼君、陈绍绪等1985年对邯郸地区地壳形变的研究结论仍是一

致的,即长趋势的东南倾变化^①。一是受太行山前断裂构造的继承性活动的影响,即西部太行山上升,东部华北平原沉降;二是受地下水位长期下降影响,引起平原区第四系散松地层内孔隙压力减低,从而使地层被压缩,地面下沉。

邯郸地区的继承性构造活动是邯郸地区长期地形变的主控因素,而地下水位下降则第二位的影响因素,这两种因素的共同作用导致地面倾向东南的多年趋势变化。

总之,地下水位与地形变的正常年动态变化都具有年变化和多年趋势性变化,且具有同步性。地下水位变化主要取决于降水量大小,也与开采有关;地形变的变化主要与继承性构造活动有关,也受降水和地下水的直接影响。

3 地形变与地下水位震前异常动态及成因分析

从图3可看出,在1989年山西大同5.9级和1998年河北张北6.2级地震前,在多年趋势下降背景上水位和形变出现了明显的中期和中短期异常变

① 封弼君,陈绍绪.永年水管倾斜仪干扰因素研究和菏泽5.9级地震的短期异常[A]//地震预报论文集[G].河北省地震局,1985:120-126.

化。水位中期异常表现为上升变化,中短期异常为下降;目视水管的中期异常表现为西北倾,中短期异常为转向东南倾。下面讨论张北 6.2 级地震的前兆异常变化。

图 4 为 1998 年张北 6.2 级地震前永年目视水管和磁县前辛安井、北杜井的水位的异常变化。依据水管异常的变化过程可划分出中期和中短期异常两个阶段。

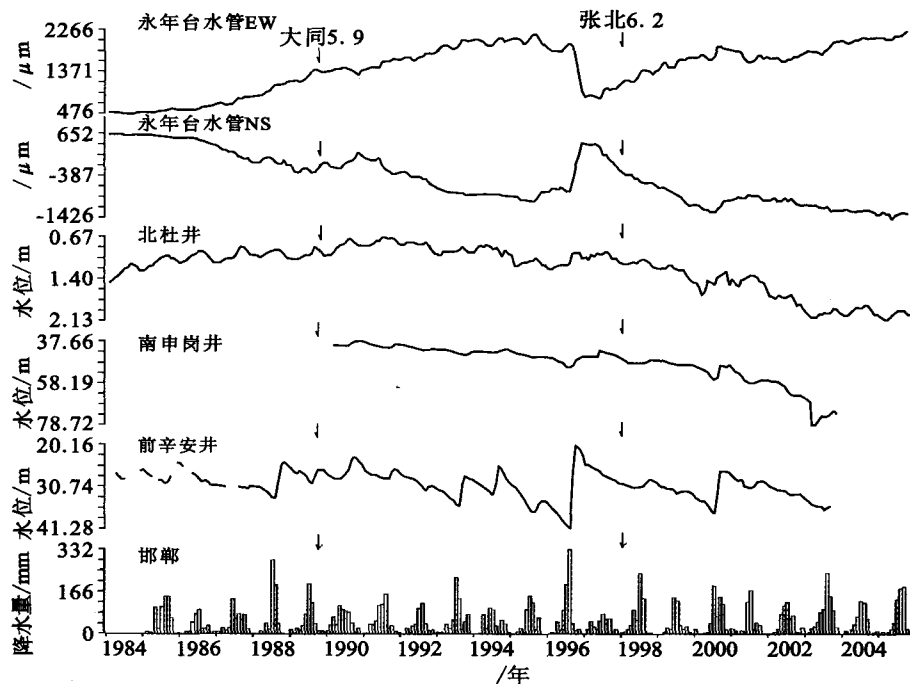


图 3 邯郸地区地下水位、地形变及降水量月均值变化曲线图

Fig. 3 The monthly mean value curves of groundwater level, ground deformation and precipitation in Handan area.

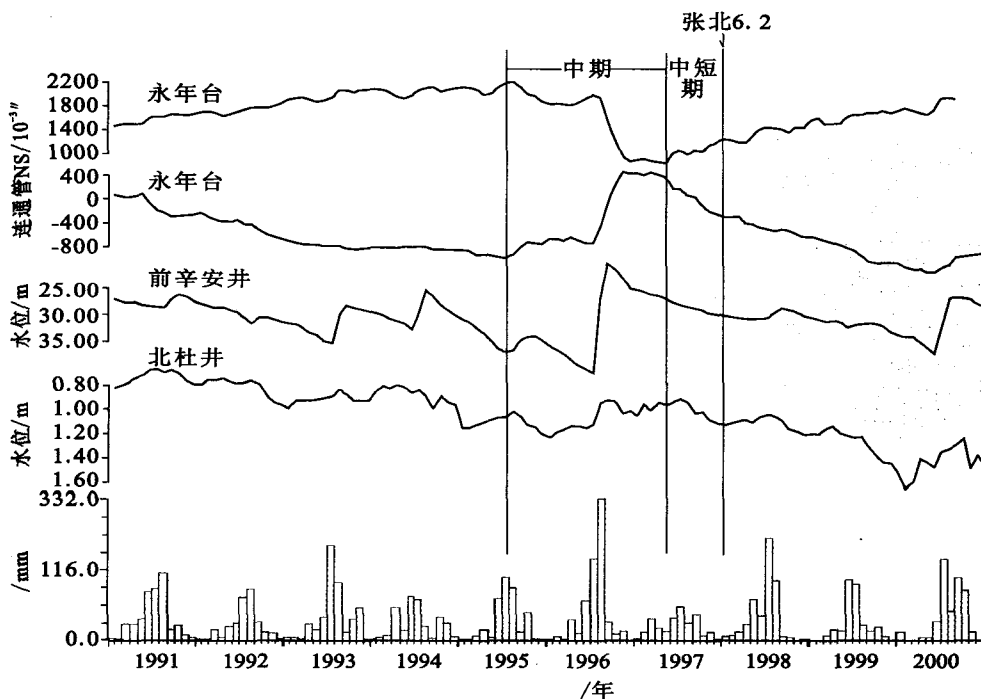


图 4 1998 年张北地震前井水位、水管仪月均值变化曲线

Fig. 4 The monthly mean value curves of well water level and pipe tiltmeter before Zhangbei earthquake in 1998.

3.1 中期异常的特点和成因

异常时间为1995年9月至1997年6月。震前28个月,7、8月份雨季后,自9月起地下水位开始出现上升;与此同时永年连通管EW向出现西倾,NS向向北倾斜。特别是1996年7、8月月降雨量分别达193.5 mm和331.3 mm;8月水位出现大幅度上升,其中前辛安浅井水位变化比北杜深井更加显著;相应地,从8月起永年目视水管EW向和NS向也分别急剧的西倾和北倾。

水位的中期异常的形成与降水有直接关系。在邯郸地区存在周期为4~5年的强降水,年降水量可达到630~790 mm(枯水期为430~500 mm),造成在长趋势下降背景上地下水位明显回升,形成中期异常。

目视水管倾斜转向西北主要受两方面因素的制约。(1)构造变动因素:华北板块现代构造应力场为NNE向的挤压^[14]。在强震发生前整个华北地区的区域主压应力场增强,而太行山断裂为正断层,北西侧上升运动减慢,东南部华北平原则由相对上升的趋势,致使地面发生向西北倾斜的异常变化。(2)降水和地下水因素:如前所述,强降雨后西北侧储水能力大于东南侧,荷载增加造成向北西倾斜。

3.2 中短期异常特点和成因

异常时间为1997年7月至1998年1月。1997年干旱,年降雨量不足400 mm,故从1997年7月起,即震前6个月,水位本来应该上升,却反而继续下降,出现“破年变”异常变化。目视水管EW向和

NS向则出现方向变化,由西北转向东南倾斜,直至发生张北地震。

水管转向东南倾斜,是区域压应力减弱和水位下降引起的。

3.3 地形变与地下水位异常的相互关系

(1)异常形态的相似性和同步性:地形变与水位异常的形态都是改变了多年趋势变化的方向,出现转折性的反向变化。无论是中期或者是中短期,地形变与水位异常的开始时间都出现在同一个月,且与大降雨量的月份相同。

(2)异常成因的关联性:上述分析表明,降雨、地下水位变化及目视水管异常三者之间具有密切的成因联系,即降水量的增加与减少引起地下水位的“上升一下降”异常变化(即中期与中短期异常);而目视水管“西北倾—东南倾”异常的形成则主要受构造变动与降雨、地下水等两种因素的共同作用。

4 地下水位与地形变前兆异常特征的定量分析

4.1 异常判定方法

(1)中期异常:中期异常指地震前1~3年出现的异常,可用从属函数值来提取异常变化(表1)。

(2)中期短异常:中短期异常指震前1年内出现的变化,判定采用剩余曲线和从属函数法(表2)。要说明的是,只要在从属函数异常或者月均值的23点滑动值曲线发生转折后出现的中短期异常,才是中短期地震前兆。

表1 中期和中短期异常定量判定方法表

异常类型	方法	使用数据	信息参数计算式	特定要求	异常判定指标
中期	从属函数	月均值的23点滑动平均值 M_t^{23}	$\mu_i = \left[1 + \frac{\alpha}{ k_i r_i } \right]^{-1}$	拟合窗口长度 $m = 9$; 求上升段的从属函数	$\mu \geq 0.5$
中短期	从属函数	月均值的11点滑动平均值 M_t^{11}	$\mu_i = \left[1 + \frac{\alpha}{ k_i r_i } \right]^{-1}$	拟合窗口长度 $m = 5$; 求下降段的从属函数	$\mu \geq 0.5$
中短期	剩余值	月均值的11点滑动平均值 M_t^{11}	$\bar{M}_i = M_t^{11} - \frac{1}{5} \sum_{k=-2}^2 M_{t+k}^{11}$	拟合窗口长度 $m = 5$	$\bar{M} \geq 1.0 \sim 2.0\sigma$

说明:(1) k_i 为观测值变化斜率; r_i 为滑动平均值 $M(t)$ 与时间 t 的相关系数; α 为经验常数。(2)对于形变曲线下陷异常,中期异常是求下降段的从属函数;中短期异常则求上升段的从属函数;(3)将滑动平均、从属函数及剩余值的计算值放置于右端点上。

4.2 典型前兆异常实例

磁县前辛安井水位月均值、从属函数及剩余值变化曲线如图5。可见:(1)1984—2005年共出现3次从属函数中期异常,分别对应了1989年山西大同5.9级、1998年河北张北6.2级和2006年河北文安5.1级地震。异常开始到发震时间分别为7、11和24个月。可见震级与异常时间无明确关系。(2)1989年大同地震前出现剩余值中短期异常;1998年

张北6.2级地震前出现了剩余值和从属函数中短期异常;而在2006年文安5.1级地震前则未出现剩余值和从属函数中短期异常资料。

经调查落实,上述异常出现前后,无人干扰,故异常是可信的。

4.3 水位和形变前兆异常的特征

表2列出了邯郸地区形变5个测项和水位5个测项在1989年大同和1998年张北震前的异常。

表 2 邯郸地区水位、形变从属函数中期异常特征统计表

序号	台站(井) 与测项	异常时间				常最大 幅度 μ	震中距 /km	对应 地震	经验常数 α
		开始	结束	持续/月	超前/月				
1	北杜井水位	1987-10	1989-04	19	24	0.67	380	大同	0.003
2	北杜井水位	1997-05	1998-05	13	8	0.64	480	张北	0.003
3	前辛安井水位	1989-03	1989-06	3	7	0.54	420	大同	175
4	前辛安井水位	1997-02	1998-09	19	11	0.61	530	张北	175
5	南神岗井水位	1997-09	1998-01	4	5	0.70	530	张北	30
6	永年目视水管 EW	1996-12	1998-10	22	13	0.77	480	张北	15
7	永年目视水管 NS	1996-11	1998-06	19	14	0.79	480	张北	15
8	永年水平摆 NS	1996-12	1998-06	18	13	0.60	480	张北	140
9	涉县 FSQ 水管 EW	1995-01	1997-03	26	36	0.69	530	张北	20
10	涉县 FSQ 水管 NS	1995-09	1998-02	29	29	0.70	530	张北	20

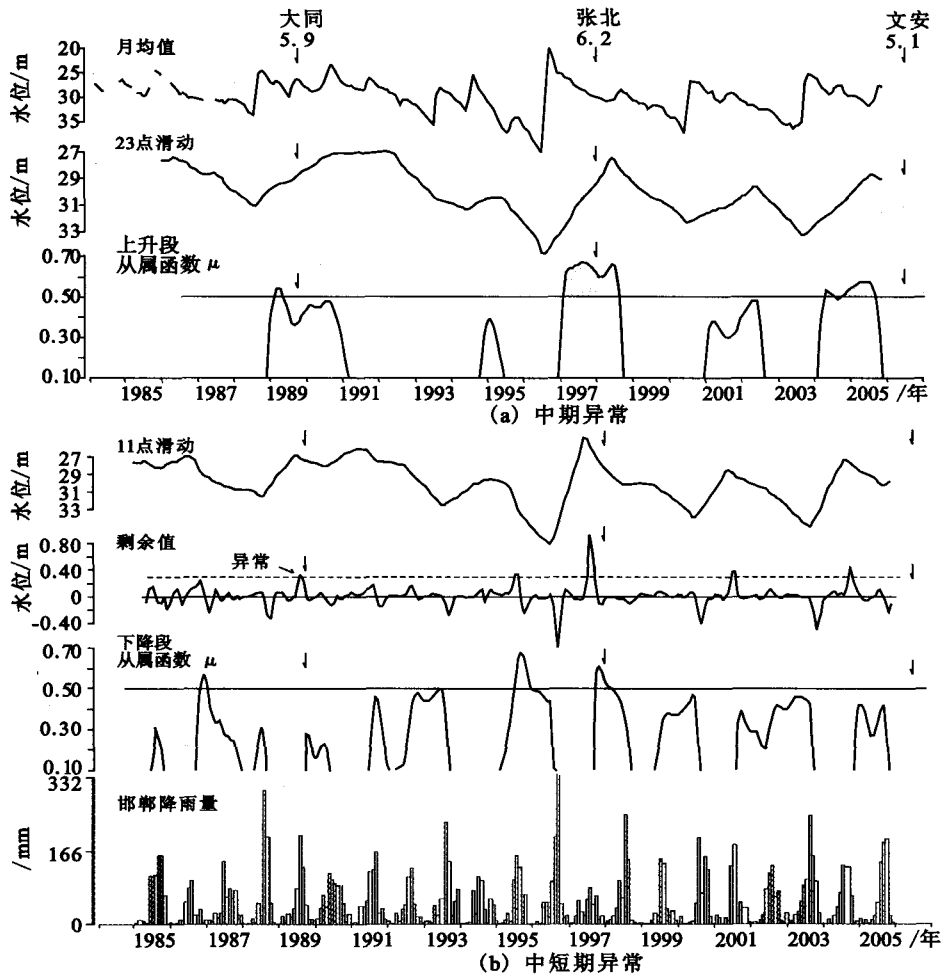


图 5 磁县前辛安井水位月均值异常变化曲线图

Fig. 5 The anomalous variation curves of monthly mean values of water level in Qianxin'an well, Cixian county.

从表 2 可知,强震前水位和形变的从属函数中期异常的特点如下:(1)异常持续时间最大为 29 个月,最小为 3 个月,平均为 17.2 个月;(2)异常超前时间最大为 36 个月,最小为 5 个月,平均为 16 个月;(3)异常值(μ 值)最大为 0.79,最小为 0.54,平均为 0.67;(4)震中距最大为 530 km。

依据表 2 资料制作了异常频次图(图 6)。可见

强震前 3 年开始出现从属函数中期异常;中期异常在时间分布上具有成丛性,即多数异常集中在地震前 2 年。

采用同样的方法统计了邯郸地区水位和形变的剩余曲线与从属函数的中短期异常特征,结果表明强震前 8~1 个月开始陆续出现中短期异常。

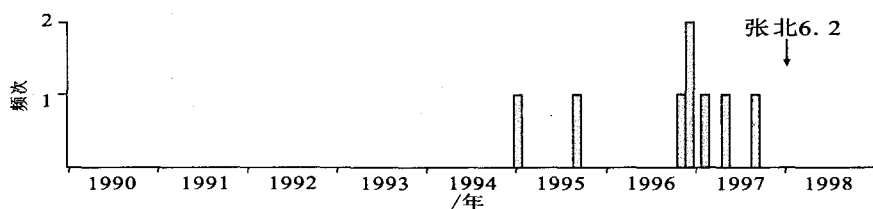


图6 1998年张北地震前从属函数中期异常频次图

Fig. 6 The medium-term anomaly frequency of membership function before Zhanbei earthquake in 1998.

5 讨论与认识

(1) 对邯郸地区观测资料分析可知,降水引起地下水位异常变化,而水位异常与地形变异常变化具有同步性,这说明降水、地下水直接参与了倾斜异常的形成过程。其具体的过程是:雨季大量降水的渗入补给,引起水位上升异常变化;由于永年台西北部山地丘陵地区分布为奥陶系石灰岩,透水性良好,降雨后地下水位和储量增加致使西北部地区的载荷加重,引起地面向 NW 倾斜。

(2) 降水引起的地下水位异常导致地形变异常与华北中强以上地震之间具有明显的关联性。刘希强等对华北地区 1800 年以来地震活动年释放能量进行计算分析认为,其年释放能量序列存在 70、44、10 和 29 年的显著主周期^[15]。华北强震多发生在水位多年周期变化的峰值年份^[16],与 4~5、10 年左右的强降雨周期相吻合。说明地震活动的某些周期结构与地下水动态的周期结构具有一致性。

(3) 多年周期性的强降水不是干扰,是一种外动力作用,它能引起两个变化:一是因为地质岩性不同而造成的水体荷载的差异,引起地壳岩石的应力—应变场的调整与变化;二是降水引起的地下水位变化对于断层来说会使岩石强度、空隙压力等改变,从而促进与诱发断层的蠕动,通过影响浅部断层的变形而参与到区域应力调整过程中,影响了地震的孕育及前兆的形成^[8-9],起到了调制和诱发地震的重要作用。

(4) 邯郸地区降水的周期性变化是整个华北北部地区降水周期的一部分,而邯郸地区的应力场亦是华北应力场的一个组成部分,故邯郸地区地下水位、地形变的中期与中短期异常与华北的京津冀,山西北部等地区的异常变化在形态和时间上有着可比较性^[17]。因而邯郸地区出现前兆异常不仅仅预示本区,也预示华北地区可能发生中强以上地震。

【参考文献】

[1] 牛安福. 地壳形变的突变性与地震短期预报[D]. 北京:中国地

震局地球物理研究所,2000.

[2] 金继宇. 与地震有关的水文及地球化学变化[J]. 大地测量与地球动力学,2004,24(1):19-28.

[3] 陆明勇,黄辅琼,刘善华,等. 地壳变形与地下水相互作用及其异常关系初探[J]. 地震,2005,25(1):67-73.

[4] 高立新,车用太,纪建国,等. 抽水对地下水位、汞、氡的影响——以古城试验为例[J]. 西北地震学报,2006,28(2):144-148.

[5] 范雪芳,张淑亮,王吉易. 地下流体中期和中短期前兆异常的四种判定方法[J]. 地震,2002,22(4):136-139.

[6] 范雪芳,王吉易,张淑亮. 山西及其邻区地下流体强震中期和中短期预测时间方法的研究[J]. 西北地震学报,2007,29(2):177-182.

[7] 王吉易,宋贯一,曹志成,等. 地下水诱发的浅层前兆异常及其机理与有关的地震预报问题(1)[J]. 华北地震科学,2002,20(2):28-41.

[8] 王吉易,宋贯一,曹志成,等. 地下水诱发的浅层前兆异常及其机理与有关的地震预报问题(2)[J]. 华北地震科学,2002,20(2):1-13;2003.

[9] 王吉易,宋贯一,曹志成,等. 地下水诱发的浅层前兆异常及其机理与有关的地震预报问题(3)[J]. 华北地震科学,2003,21(1):1-10.

[10] 陆明勇,牛安福,鲁德顺,等. 地壳形变与地下水动态异常特征研究进展[J]. 西北地震学报,2005,27(1):89-95.

[11] 陆明勇. "双源"地震前兆观点的进一步探讨[J]. 大地测量与地球动力学,2007,27(4):105-111.

[12] 车用太,鱼金子,王吉易,等. 晋冀蒙交界地区大气降水—地下水异常—地震活动关系试探[A]//中国地震流体专业委员会,云南省地震局地方处. 震流体前兆研究[G]. 北京:地震出版社,1998:16-21.

[13] 马书平. 河北过度开采地下水前景堪忧已造成多个"漏斗"群[EB/OL](2002-06-05). http://news.xinhuanet.com/newscenter/2002-06/05/content_425459.htm.

[14] 杨理华,李钦祖. 华北地区地壳应力场[M]. 北京:地震出版社,1980.

[15] 刘希强,林怀存,黄耕,等. 全球、中国大陆和华北地区地震活动韵律性时普特征及趋势分析[J]. 中国地震,2004,20(3):247-256.

[16] 张素欣,温学勤,郑云贞,等. 地下水动态的多年周期与强震多发期[J]. 华北地震科学,2002,20(1):32-37.

[17] 王吉易,贾炯,范雪芳,等. 水诱发异常机理与华北强震中短期预测新探索[A]//中国地震局地震预测研究所,中国地震台网中心,中国地震学会. 中国地震预报探索[G]. 北京:地震出版社,2008:268-275.