

华北北部地区地下水 10 年准周期及其与地震活动关系分析^{*}

张素欣^{1,2}, 王晓山¹, 马 栋¹, 张子广¹, 曾永忠³, 侯立坤⁴, 鉴志英⁵

(1. 河北省地震局, 河北 石家庄 050021; 2. 吉林大学地球探测科学与技术学院, 吉林 长春 130026;
3. 新乐地震办公室, 河北 新乐 050700; 4. 临城县地震台, 河北 临城 054300;
5. 大名县地震办公室, 河北 大名 056900)

摘要: 1966 年以来华北北部发生 5.0 级以上地震 16 次, 根据时间上的密集程度可分为 5 个地震丛。地下水资料经过排出地下水超采造成的趋势下降干扰后, 多井地下水资料呈现出 10 年准周期变化的同步性特征。地震丛发生在地下水多年周期的高值段, 低值年份则没有中强以上地震发生。将 10 年准周期按一定规则分成低值段、上升段、高值段和下降段, 在地下水 10 年周期 4 个时段的发展概率分别为 0%、25%、50%、25%。

关键词: 地震丛; 地下水; 10 年准周期; 发展概率

中图分类号: P315.72 **文献标识码:** A

0 引言

地下水动态的变化是非稳态的, 但从区域地下水动态特征看, 仍然可视为较平稳随机过程。在一定时期水储量变化处于相对稳定变化的状态, 水位的变化反映了区域应力场的变化状态。地下水位的升降是含水层水储量和应力状态的指示灯。地下水动态的多年周期性研究也曾做过初步分析^[1], 认为地下水存在 10 年左右和 3 年左右周期特征。华北北部的强震大都发生在地下水 10 年准周期变化的高值段, 与强震的成串发生在时间上有呼应关系^[2]。地下水多年过量开采水位持续下降, 不仅在观测资料中叠加了大量的疑似地震前兆, 严重地压低了来自孕震体的信息, 而且使正常的地震长、中、短周期变化背景扭曲, 前兆异常更加难辨。采用“线性拟合去趋势方法”能有效地排除地下水超采的影响, 突出正常趋势变化背景^[3]。

本文采用“线性拟合去趋势方法”对多井多年水位资料进行了去趋势分析, 去趋势后多井地下水资料呈现出 10 年准周期变化的同步性特征。将华北北部地区 1966 年以来 16 次 5.5 级以上地震依时间

上的密集特征分成 5 个地震丛, 将 10 年准周期按一定规则分成低值段、上升段、高值段和下降段, 在地下水 10 年周期 4 个时段的发展概率分别为 0%、25%、50%、25%。

1 资料分析

1.1 地下水资料现状

据殷跃平分析^[4], 河北平原区 1990 年与 1959 年相比, 浅层地下水位普遍降低 10~20m, 漏斗区下降 20~30m; 截至到 1998 年, 河北平原地面沉降大于 200mm 的面积达 48550km², 沧州地区地面沉降累计已达 2250mm, 由于基断块差异升降, 出现了 20 多条地裂缝, 最长 4km。天津市由于 20 世纪 70 年代过量开采第三系热水, 导致热储层地下水位持续下降, 热水资源趋于枯竭。因此, 20 世纪 80 年代初转向勘探和开发埋深更大的基岩地下热水, 到 1998 年底基岩热水井已达 50 眼左右^[5], 到 2004 年底全市共有热水井 251 眼, 20 多年来热水井水位总体下降 100m 左右, 受周期性开采(取暖期)水位年波动幅度在 2~30m^[6]。1970 年至 1982 年过量开采造成大范围多井水位趋势下降^①。

^{*} 收稿日期: 2007-11-19

基金项目: 河北省地震局震情专项研究资助

作者简介: 张素欣(1965—), 女(汉族), 河北元氏人, 河北省地震局高级工程师, 吉林大学地球探测科学与技术学院在职研究生, 主要从事地震地下流体地震分析预报等研究。

① 贾化周, 万迪坤, 董守玉, 王信, 王永林. 1983. 唐山地震地下水位趋势异常分析, 地下水预报地震选辑(2), 河北省地震局 1983. 56-62.

北京马头井水位从 1970 年至 2006 年水位下降了 20m, 1995 年以后下降速率加大, 北京板桥井水位从 1985 年至 2006 年水位下降了 20 多米, 1999 年以后下降速率加大, 北京丰台地震局的丰台井水位从 1992 年至 2003 年水位下降了 8 多米。河北丰南井水

位从 1997 年至 2006 年水位下降了 23 多米, 深泽井水位 1981 年至 2006 年水位下降了 20 多米, 无极井水位从 1989 年至 2006 年水位下降了 35 多米。天津辛庄井 1970 年至 2006 年水位下降了 90 多米, 双桥井 1977 年至 1997 年水位下降了约 20m(图 1)。

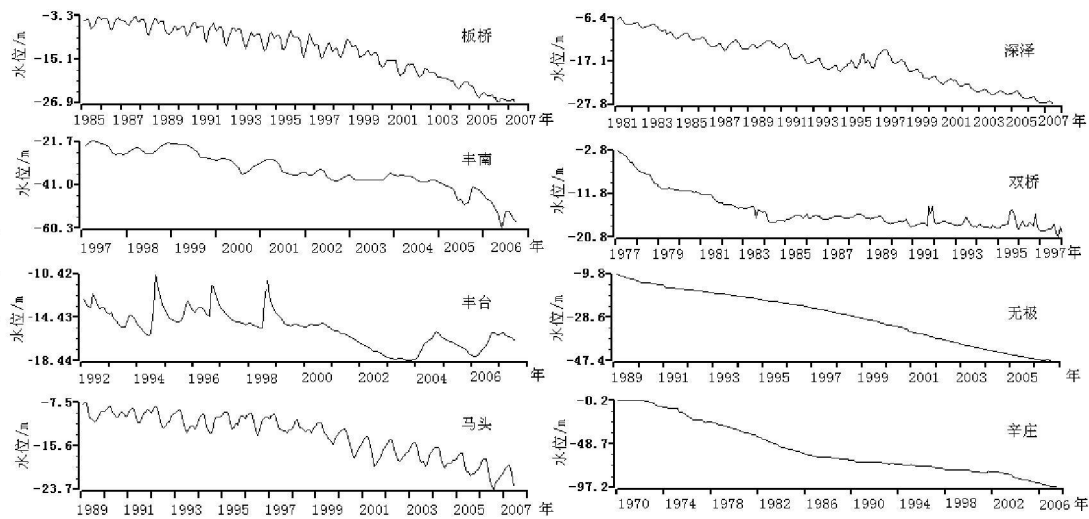


图 1 水位趋势下降典型曲线图

1.2 资料线性拟合去趋势分析

从较长时间尺度的水位资料分析, 在地下水超采区的水位动态变化既存在趋势下降项又有周期波动项。为了突出 10 年左右的准周期成分, 用线性拟合去趋势分析方法去掉开采引起的趋势项。

本文采用《基于 GIS 的地震分析预报系统》^[7]提供的线性拟合进行计算分析。图 2 中玉田井水位为原始月均值曲线, 其它 4 口井进行了线性拟合去趋势分析。1993 年左右唐山市进行了地表水补给地下水工作, 造成 1993 年丰南井和唐山矿井水位上升; 2005、2006 年丰南井水位下降已做过专门分析^[8]。从整体分析, 水位 10 年准周期是明显的, 这与教课书上的描述是相一致的^[9]。1984 年、1993 年、2002 年是 10 年周期的低值年份, 1988 年和 1998 年是 10 年周期的高值年份(图 2)。

图 3 是北京大灰厂水位月均值经过线性拟合去趋势后的参差曲线, 曲线也明显地显示了水位 10 年周期的变化特征, 与图 2 显示的 10 年周期变化是同步的(图 3)。

1966 年邢台 7.2 级地震前没有开展地震前兆观测, 在远离震中 380km 的唐山一带仍有清晰的前兆异常显示, 位于唐山东北方方向范各庄煤矿涌水量的变化记录了邢台 7.2 级地震的异常发展过程,

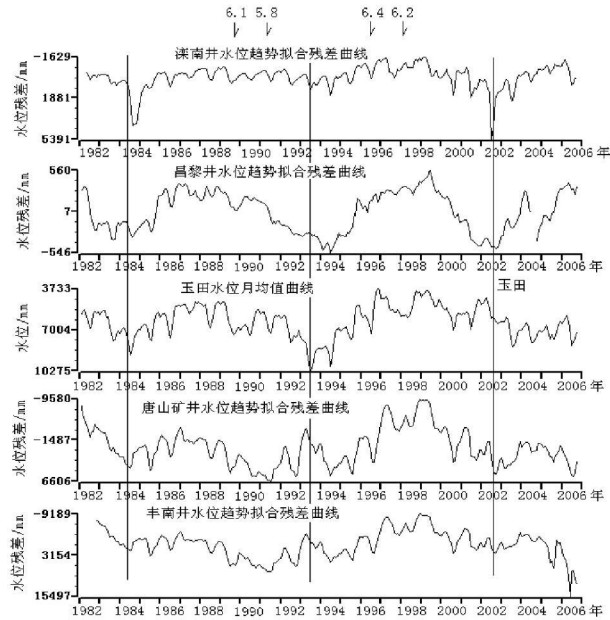


图 2 唐山地区 5 口井水位曲线图

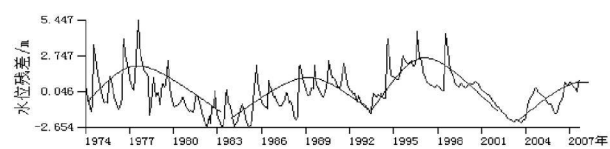


图 3 北京大灰厂井水位直线拟合参差曲线图

1960 年 7 月~1962 年 7 月涌水量在稳定上升的正常动态背景下, 8 月份突然下降, 至 1966 年 2 月涌水量上升, 3 月份上升幅度更大, 形成长达 3 年多的下降异常。涌水量的大小代表了含水层水头压力的大小, 水位上升下降代表的也是含水层水头压力的大小^[10]。因此认为, 涌水量异常特征与唐山 7.8 级地震地下水异常发展过程基本相似, 表现为与(1972 年)10 年准周期低值转折上升过程中出现趋势下降异常变化的相似过程。因此可推断 1961 年前后水位处于 10 年周期的低值年份。

2 水位 10 年周期特征与地震丛的关系

以往研究表明地震大都发生在水位 10 年准周期的高值段, 为了描述地震长期异常特征, 将水位 10 年准周期分成 4 个时段, 低值段(3 年)、高值段(3 年)、上升段(2 年)和下降段(2 年), 将 50%以上观测水位的转折年份确定为转折点。按规则划分, 1972 年以来的 10 年准周期的 4 个时段分布见表 1。在时间上将华北北部 5 级以上的地震分成 5 个地震丛。1 号地震丛包括 1966 年 3 月 22 日邢台 7.2 级地震、1967 年 3 月 27 日河间 6.3 级地震和 1969 年 7 月 18 日渤海 7.4 级地震; 2 号地震丛包括 1977 年 11 月 27 日天津宁河 6.7、1976 年 7 月 28 日唐山 7.8 级地震、1979 年 6 月 19 日山西介休 5.2 级地震、1981 年 8 月 13 日丰镇 5.8 级地震和 1981 年 11

月 9 日隆尧 5.8 级地震; 3 号地震丛包括 1989 年 10 月 19 日大同 6.1 级地震、1991 年 1 月 29 日忻州 5.1 级地震、1991 年 3 月 26 日大同 5.8 级地震和 1991 年 5 月 30 日唐山丰南 5.1 级地震; 4 号地震丛为 1998 年 1 月 10 日张北 6.2 级地震、1996 年 5 月 3 日包头 6.4 级地震、1999 年 3 月 11 日张北 5.6 和 1999 年 11 月 1 日大同 5.6 级地震; 5 号地震丛刚刚开始, 仅有一次地震, 即 2006 年 7 月 4 日文安 5.1 级地震(表 2)。

表 1 10 年准周期的 4 个时段分布表

低值年份	上升段年份	高值年份	下降段年份
	1965-1966	1967-1969	1970-1971
1972-1974	1975-1976	1977-1979	1980-1981
1982-1984	1985-1986	1987-1989	1990-1991
1992-1994	1995-1996	1997-1999	2000-2001
2002-2004	2005-2006	2007-2009	

1966 年以来, 华北 5 级以上地震 16 次, 发生在上升段和下降段各 4 次, 占 25%, 高值段 8 次, 占 50%, 低值段为 0。6 级以上地震 7 次, 3 次发生在上升段, 4 次发生在高值段。

1966 年以来 1 号至 4 号地震丛中都有 6 级以上地震, 因此第 5 号地震丛中也存在 6 级以上地震的可能, 应引起重视。

地震在四个时段内的分布情况见表 2。

表 2 地震在四个时段内分布一览表

地震丛编号	低值段	上升段(地震)	高值段(地震)	下降段(地震)
1		1966 年邢台 7.2	1967 年河间 6.3 1969 年渤海 7.4	
2		1976 年唐山 7.8	1977 年宁河 6.7 1979 年介休 5.2	1981 年丰镇 5.8 1981 年隆尧 5.8
3			1989 年大同 6.1	1991 年忻州 5.1 1991 年大同 5.8 1991 年唐山 5.1
4		1996 年包头 6.4	1998 年张北 6.2 1999 年张北 5.6 1999 年大同 5.6	
5		2006 年文安 5.1		
发震次数	0	4	8	4

3 可能的机制分析

地下水的升降变化反映了储水量和应力状态的变化,在一定时期水量的变化具有相对稳定的规律性。地下水10年周期变化与地质构造环境、水文地质环境、地理地貌、观测井结构以及观测层位关系不密切,代表着区域应力场^[2]。分析京津冀50多口井的水位资料,具有同步10年准周期结构的占80%以上。虽然峰值年份地震数目不是均匀分布,但发生在峰值年份也应有一定道理。众所周知,地震的发生是应力的释放,而应力的积累也不是任何地方都容易积累,再说应力的积累需要一个很长的时间过程,即使不同地点的应力积累达到相同的量级,地震的发生时间也不会相同。应力积累到临界状态时,地震的发生和很多外在的触发和诱发因素有关,由于孕震区一般位于断裂带的端点、拐点和交汇点,而断裂构造带的岩石介质较破碎渗透性好,所以地下水的变化通过断层入渗对其附近的地壳浅层孔隙压或介质强度起重要的调制作用,地下水变化的峰值年地震较多可能就存在水的触发因素,也不排除该周期与地震孕育过程共同受一种合力的控制。

场兆是在构造块体统一孕震过程中,由构造应力场整体性增强所造成的。地下水动态的多年周期变化代表着区域应力场的增强,属于场兆范畴。应积极开发与地震有关的区域构造活动关联的场兆异常的预报功能,因为它在一定程度上反映出地震的孕育过程,所以研究地下水10年周期变化与强震成串发生在时间上的呼应关系,不管地下水的多年周期和地震的周期变化是否同源或触发关系,只要能把握这种周期结构大势,地震预报就有可能上新的台阶。

地下水量的增加,通过流体载荷、孔隙压力、动水压力及化学腐蚀等作用,促进地壳的构造变形,触发和调制地震的孕育和发生。Denver, Rangely 以及我国部分油田的注水实践均表明,原地岩体的渗透率主要取决于原有破裂,裂隙相对张开,使连通情况改善,流体向震源区流动。

地下水的储量变化对下面岩层产生的静水压力可表示为:

$$\Delta P_w = \rho \cdot g \cdot \mu \cdot \Delta h \quad (1)$$

式中 ΔP_w 和 Δh 分别为地下水储量变化所引起的压力和水位变化量; ρ 为水密度; g 为重力加速度; μ 为岩石给水度。

由于水位变化而产生的孔隙压力变化可有以下式

表示:

$$\Delta P_p = \rho \cdot g \cdot \Delta h \quad (2)$$

孔隙压力的变化可以改变岩石断层面上有效正应力,进而改变断面上的摩擦力^[6];孔隙压力的变化还可以引起岩石的体积发生变化。

大震所造成的岩石摩擦强度的变化可简单用下式表示:

$$\Delta S = \mu (\Delta \sigma - \Delta P_p) \quad (3)$$

式中: μ 为摩擦系数, ΔS 、 $\Delta \sigma$ 和 ΔP_p 分别为摩擦强度、流体静应力和孔隙压力变化。随着流体的不断渗入,孔隙压力就会不断增加,从而降低围岩强度。当某点的强度降至该处剪应力水平之下时,地震就会发生。定性地说,根据岩石力学的实验结果,岩石的剪切强度,包括摩擦滑动强度,依赖于有效围压,有效围压大,强度大,有效围压小,强度小。使有效围压降低的途径有两种,一是减小围压;二是增大孔隙压力。

地下水触发地震只是问题的一个方面,还应看到与地震关系的局限性。由于地震的孕育和发生是很复杂的物理过程,其内外因素很多,地下水只不过是可能的因素之一。目前地震预报仍处于探索阶段,单靠任何一种前兆预报地震都是片面和不科学的。不过在综合预报中,考虑地下水与强震的关系是必要的,进一步深入研究也是很有意义的。

4 认识与讨论

地震地下水观测是从1966年邢台地震后开始的,地下水动态10年左右准周期只有3个半周期的资料,但从多个井地下水动态10年准周期结构的同步特征,可判断该特征是客观存在的。

以上计算结果分析,华北北部地区的强震1966年以来5级以上地震16次,发生在上升段和下降段各4次,占25%,高值段8次,占50%,低值段为0。华北北部地区6级以上地震7次,3次发生在上升段,4次发生在高值段。水位10年准周期的高值段发震概率很高,并且在统计过去的4个地震丛中都有6级以上的地震发生。从地下水动态10年左右准周期推算2007年~2009年为周期的高值段,华北北部地区发生中强地震的可能性较大。

1966年以来各地震丛地震的能量和次数是不同的。第1丛有2个7级以上地震,地震次数3次;第2丛中有1个7级以上地震,地震次数5次。第3丛和第4丛中都没有7级以上地震,地震次数都为4次。

众所周知地震呈带性，地壳介质内应力的积累受地质条件和构造条件限制，有些地方容易积累能量，比如断裂带的端点和拐点；能量的积累需要一定的时间；能量的释放也不只是地震这一种形式；能量积累到临界条件发生地震与多种环境因素有关。总之，地震的孕育到发生是一个非常复杂的过程。

地震预报仍处于探索阶段，认识到地下水周期特征能与地震的孕育和发生有着千丝万缕的联系，认识到地下水周期 10 年准周期特征与地震存在着某种相关，作为特定地区的地震统计预报中的一个因子对地震预报具有积极的参考意义，防患于未然。

参考文献：

[1] 张素欣, 王吉易, 郑云贞. 地下水动态的最大熵谱分析[J] . 华北地震科学, 1998, 16(4), 71-75.
[2] 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.
[3] 张素欣, 刘耀炜, 陆明勇, 张子广. 地下水超采区水位长趋势动态分析[J] . 地震, 2007, 27(4): 51-58.
[4] 殷跃平, 张作辰, 张开军. 我国地面沉降现状及防治对策研究[J] . 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(2): 1-8.
[5] 周训, 陈明佑, 李慈君. 深层地下热水运移的三维数值模拟[M] . 北京: 地质出版社, 2001.
[6] 樊友丽, 周训, 林黎, 等. 天津地区深层地下热水开采动态分析[J] . 现代地质, 2006, 20(3): 486-493.
[7] 陆远忠, 李胜乐, 邓志辉, 潘怀文, 等. 基于 GIS 的地震分析预报系统[M] . 成都: 成都地图出版社, 2002.
[8] 张素欣, 张子广, 孙佩卿, 张跃刚. 丰南井水位下降非前兆异常分析[J] . 地震研究, 2006, 29(增刊): 529-533.
[9] M. E. 阿利托夫斯基, A. A. 康若波梁采夫. 地下水动态研究方法指南[M] . 北京: 地质出版社, 1956.
[10] 河北省地震局. 1966 年邢台地震[M] . 北京: 地震出版社, 1986, 1-174.

10 years quasi cycle of groundwater level in northern part of North China and its relationship with seismic activity

ZHANG Su-xin^{1, 2}, WANG Xiao-shan¹, MA dong¹, ZHANG Zi-guang¹, ZENG Yong-zhong³,
HO U Li-kun⁴, JIAN Zhi-ying⁵

- (1. Earthquake Administration of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China;
2. College of Geoexploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China;
3. Xinle earthquake Office, Xinle 050700, Hebei Province, China;
4. Lincheng Seismostation, Lincheng 054300, Hebei Province, China;
5. Daming earehquake Office, Daming 056900, Hebei Province, China)

Abstract: 16 over *M*5.0 earthquakes occurred in the northern part of North China since 1966, and they are can be divided into 5 earthquake clusters. Eliminated the tendency interference that caused by overdraft, groundwater levels of many wells show a 10 years quasi cycle variation synchronously. The earthquake clusters occurred in the high value period yearly cycle, and no medium and strong earthquakes occurred in low value period. The cycle can be divided into four segments, which is lower, rising, higher and dropping segment. The probability that earthquakes occur in each segment is 0, 0.25, 0.5 and 0.25 respectively.

Key words: earthquake clusters; groundwater; 10 years quasi-cycle; probability of earthquake