

唐山地震前后地下水位异常过程的力学解释及与震源演化过程的关系

尹伯忠 黄振义 王雅灵 李振海

(天津市地震局)

摘 要

本文探讨了唐山地震前后天津、唐山地区地下水位异常形成的机理、力学过程的解释,以及震源演化过程的关系,认为:唐山震中区和外围天津地区分别受震源迭加的垂直向上力派生的水平向张应力作用和深部横向水平力拖曳派生的垂直向下牵引力作用,造成地下水位的长期下降。临震时天津地区受震源应力场强化的反馈作用,使深部横向水平力拖曳受阻,引起观测水层产生回压,而震中区则因主破裂前的预滑,引起震源应力场转向,使观测水层的应力状态发生改变,出现地下水位的临震突变回升。又因唐山位于震源体上方,天津紧邻震源体的外围,且观测水层分别为坚硬灰岩和松软土层,具有不同的水文地质力学性质,故地下水位异常发展,显示出不同下降速率的统一孕震力学过程。文末,用唐山震中区地下水位异常资料,讨论了与震源演化过程的关系。

多年地震监测与预报的实践,引起了人们对研究地震孕育过程的广泛注意和讨论。因此,近年来相继提出了各种各样的前兆模式和震源孕育模式。但多数是建立在室内试验数据基础上,用工程材料力学、工程断裂力学的观念进行科学推理,而本文试从唐山地震地下水位异常特征的实际资料出发,用地下水动力学的基本原理,讨论唐山地震前地下水位长期下降和临震回升的原因、力学过程的解释以及地震孕育的过程。

一、唐山、天津地区地下水位异常过程特征

1976年7月28日唐山7.8级地震前后,在唐山地区奥陶纪灰岩承压岩溶水井、天津地区第四纪松软土层承压或水井中分别观测到多年地下水位异常变化,按发展过程可划分为六个阶段(图1):

I阶段可分为两个时间段。第一时段在唐山于70年8月首先出现地下水位缓慢下降

(0.06米/月)的破年动态异常,异常结束于73年2月;其后,天津于72年1—5月先后出现快速下降(0.04—0.25米/月)异常,异常结束于73年8月至74年5月。第二时段在唐山

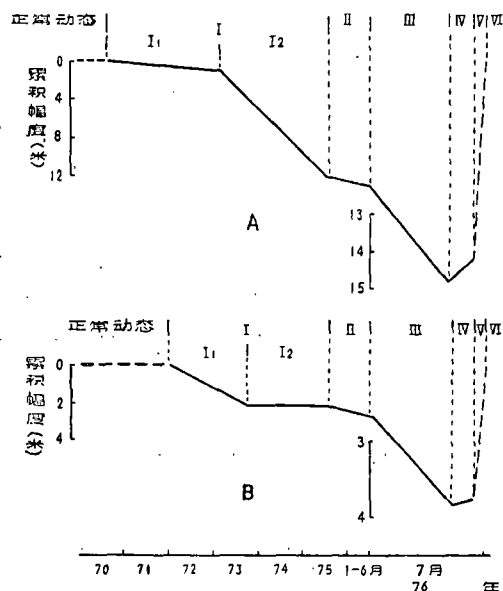


图1 地下水位异常阶段划分示意图

A, 唐山地区(以人民公园井为例)
B, 天津地区(以侯口井为例)

于73年3月起以0.38米/月的速度加快下降,而天津则从73年9月至74年6月以0.09米/月的速度下降转缓。本阶段异常同时结束于75年7—8月(图2)。

II阶段异常大体同步开始于75年8月(天津上古林9月),结束于76年1—4月。但唐山地区井水位以大于I阶段第一时段小于I阶段第二时段的0.08—0.09米/月速度继续下降;而天津地区井水位下降速度则相反,以小于I阶段第一时段,大于I阶段第二时段的0.02—0.09米/月速度继续下降(图2)。

III阶段于76年2—5月先后观测到建井以来的地下水位最大加速下降的短期异常。唐山地区开始于5月上旬,下降速度达0.72—0.95米/月,为I阶段快速下降时段的2倍,为II阶段下降速度的9倍。天津地区异常则开始于2月中旬至5月下旬,下降速度

达0.07—0.64米/月,分别为I阶段快速下降时段速度的1.5—6倍,为II阶段下降速度的3.5—13倍(图2)。

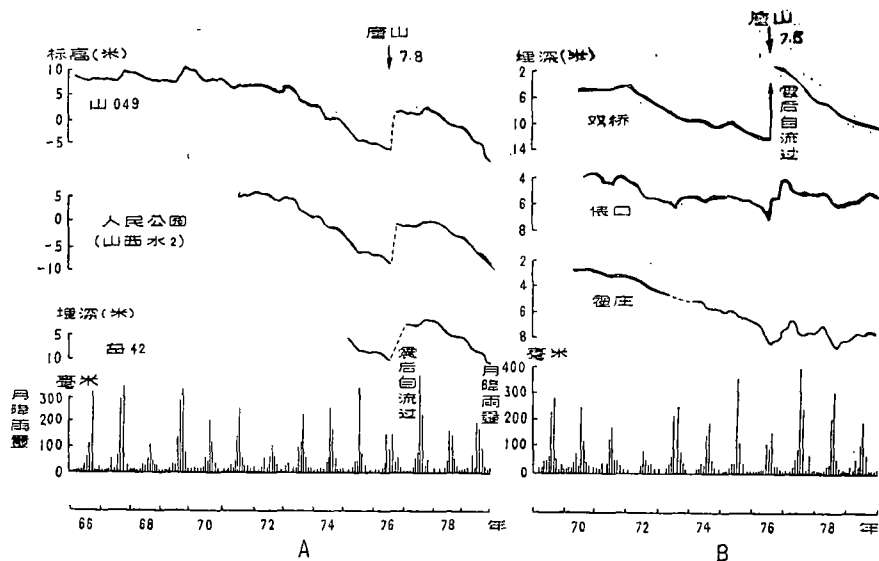


图2

A, 唐山地区奥陶纪灰岩井水位月均值曲线
B, 天津地区咸水层井水位月均值曲线

Ⅳ阶段唐山地区在地震前7天,天津地区在震前5—17天,具有长期地下水位下降异常背景的井突转回升,显示出明显的临震异常特征。唐山井回升量为0.5—0.65米,天津井回升量为0.02—0.27米。仅天津双桥井在长期下降背景上于23—25日转平,26—27日又略有下降,震时急剧回升,震后自流(图3)。

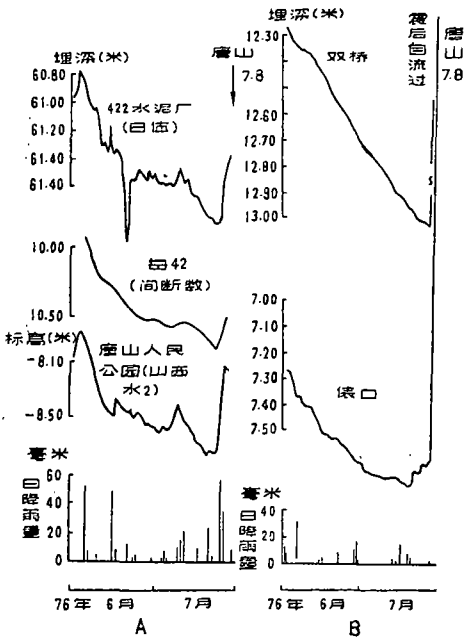


图 3

A, 唐山地区临震水位日值曲线
B, 天津地区临震水位日值曲线

性(走向约北 25° 东,以顺时针水平错动为主,最大水平形变量为2.5—2.6米,最大垂直形变量约1.2米^{*1)})等,揭示华北地区处于一致性很好的近东西向区域水平压应力场中,且震源应力场迭加有垂直向上力。

唐山地区从71年起重力值逐年增加,河北省地震局综合研究队重力组分析认为^{*2)},这是由于某种原因使上地幔隆起所致。因此震中区在区域构造应力场作用下,又增添了垂直向上力的作用(图4)。但是,由于上覆岩体自身重量很大及其层间具有很强的摩擦力、粘结力等,阻抗地壳向上拱曲,于是在地幔隆起的上方地层中,相应产生水平向张应力,抵消或部分抵消了北东方向区域主压应力,增强了北西西方向区域张应力,使位于北东向开平向斜西北侧陡翼的奥陶纪观测水层处于引张状态,含水层产生张性体应变,地层间压力减小,孔隙裂隙水压降低,出现反映震中地区应力场演化过程的长期地下水位下降。

天津地区观测的咸水层是第四纪松软岩层,埋藏于地表下40—90米,观测井平面分布依附于唐山发震断裂南延的沧东断裂带两侧,处于高度应力集中的震源体外围,即组合模式的

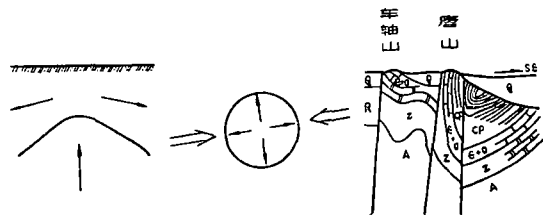


图 4

华北地区大小地震的震源机制统计结果^[1],邢台、海城震后地裂缝及大地测量资料^{[2][8]},76年唐山地震地裂缝带力学特

二、唐山、天津地区地下水位长期下降异常和临震回升异常的机制讨论

*1) 国家地震局地震测量队,唐山地震的水平形变,地震与地壳形变,1977。

*2) 河北省地震局综合研究队重力组,唐山地震前后的重力变化,1978。

调整单元〔4〕〔5〕。因此在强大的区域水平构造应力作用下,应力向震源体集中过程中,深部坚硬岩层受到横向水平力拖曳,岩体侧向引张,致使上部松软地层向下牵引,含水层产生张性体应变,层间压力减小,含水层处于减压应力状态,导致孔隙水压降低,出现受控于区域构造应力场演变过程的长期地下水位下降。

地下水位在长期下降异常背景上临震时突转回升,毫无疑问,这是观测水层应力状态发生了改变。唐山井是因震源断层面大破裂前的预滑或震源介质发生了新的重大变化,导致震源应力场转向,使观测水层由受张状态改变为受压状态,引起孔隙裂隙水压上升,故产生水位突转回升的临震特征,天津井则因位于组合模式的调整单元,在破裂之前,由于受震源体高度应力集中和强化的反馈作用影响,使深部岩层横向水平拖曳受阻,观测水层产生回压,引起孔隙水压上升,出现临震水位回升现象。

三、唐山、天津地区地下水位异常过程的力学解释

唐山地震前,在唐山、天津地区观测到地下水位较长时间的异常变化,它们反映了在相应的时段内,区域构造应力场和震源应力场的演化过程。但是,由于唐山、天津位于震源体的不同方位及含水层的水文地质力学性质不同,故表现出具有统一孕震力学过程。而又有差异的地下水位变化特征。唐山位于震源的上方,震源是区域构造应力场加强过程中首先形成的高度应力集中区之一,震源力学过程的演化可直接地反映在震中——唐山地区,尤以存在垂直力的作用时更加显著。而天津因位于震源体外围西侧,主要受区域构造应力场加强过程的影响和震源应力场演化过程的反馈作用,所以唐山震中区首先观测到地下水位异常,其后外围天津地区观测到地下水位异常。又因唐山观测水层为坚硬的奥陶纪灰岩,力学强度高,弹性性能良好,在初始作用力相同条件下,与松软土层相比变形速度慢,故孔隙裂隙水压开始变化小。天津观测水层由松软的第四纪砂粘土组成,力学强度低,具有高度塑性,受力后极易产生变形,故孔隙水压即迅速改变。所以唐山初始地下水位缓慢下降,天津初始地

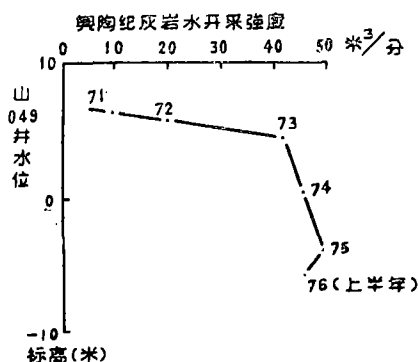


图5 唐山奥陶纪灰岩水开采强度
与山049井水位关系图

下水位快速下降。以后,奥陶纪灰岩快速变形发展,孔隙裂隙水压显著改变,而松软的第四纪砂粘土层在达到相应应力的极限变形后,则不再变形发展,孔隙水压保持不变。所以唐山地下水位加快下降时,天津地下水位已进入到相对平稳发展时段。整个地下水位I、II异常阶段依此一一对应,共同反映了孕震早期的应力场演化特征。76年上半年华北多处发生小震群活动(如山东庙岛、山西太原以及东西向阴山构造带),接着76年4月唐山重力值再次上升,表明区域构造应力场增强和震源应力场的进一步强化,使源

外天津浅部观测水层受到深部横向水平力的快速拖曳,震源上部唐山观测水层发生快速张性

体应变,含水层水动力学条件遭到破坏(图5),造成共同的地下水位短期加速下降。临震阶段,源外天津地区在震源断层面发生预位移之前可能受震源应力场强化的反馈作用影响,使深部岩层水平横向拖曳受阻,上部观测水层产生回压,出现早于唐山震中区的地下水位初始缓慢回升。其后,震源断层面发生预位移,导致震源应力场转向,唐山震中区出现地下水位快速回升。至大震爆发,震源应力场解体,引起区域构造应力场恢复性调整,唐山、天津地下水位同步快速回升。

四、震中区地下水位异常与 震源演化过程的关系

唐山震中区地下水位观测水层位于地壳表层,深度不足1公里。目前尚无资料证实或否定直接参与了震源过程或与震源有直接的水力联系。所以很难单独用地下水位资料直接推算震源过程。但由于地下水自身具有不可压缩(弹性形变为 10^{-6} 量级)、可流动性和能传递静水压力的优越的物理力学特征,当储水岩层构成封闭或半封闭的承压含水层时,它能很好地反映周围介质的应力活动方式。因此,可认为震中区地下水位异常变化特征反映了震源应力场的演化过程,并据此推测震源体的形变破坏以及伴随产生的应变能积累和释放过程(表1)。但仍须指出,由于地表与震源介质的不同及其环境约束条件各异,两者之间是存在差别的。

表1

阶段	震中区地下水位动态特征	速 率	震源应力场演化过程	震源体变形破坏过程	震源应变能积累和 释放过程
I	缓慢—快速下降	0.05米/月 0.38米/月	第一应力场 一次过强	应力场逐步增强 弹性变形向非弹性变形的过渡阶段	应变能积累阶段
II	缓慢下降	0.08米/月	第二次应力场 强化过程	应力场相对稳定	
III	加速下降	0.75米/月		应力场加速发展	
IV	回 升	0.13米/日		应力场转向	应变能释放阶段
V	急速回升			应力场解体	
VI	逐渐恢复		残余应力场	残余变形阶段	残余应变能释放阶段

地下水位正常动态阶段(70年以前):地下水位变化比较平稳,表明观测水层层间压力没有变化,含水层无显著体应变,反映区域构造应力场稳态发展,震源处于弹性变形阶段。唐山地区垂直形变*67年前变化幅度很小,59年前相对下沉(裂隙闭合),60—67年略有回升,68—69年上升约25毫米,70年起转为下降,可能标志着震源转入新的发展阶段。一般情况下,因地壳表层处于半无限空间,在应力增强过程中地壳上部应力差相对值较深部震源处要大,所以地壳表层垂直形变可能要比震源变形显著。

地下水位动态缓慢—快速下降异常阶段(I):70年8月以后地下水位开始缓慢下降,73年初转为快速下降,表明观测水层层间压力两次减小,含水层产生了持续性张性体应变,水头压力(水位)急剧变化,反映震源应力场第一次由弱到强的强化过程,推测震源体进入

* 张祖胜,浅源构造地震形变场的某些定性特征,地震与地壳形变, No. 5, 1978.

弹性变形向非弹性变形的过渡阶段。另外71年地幔上隆，震源下部增添了垂直向上力，导致在上部岩层中产生水平向张应力；70—72年垂直形变资料反映全区转为下沉，接近67年高程，这种地壳由上升快速地转为下沉说明地表应力状态由挤压转为松弛或引张；73—75年垂直形变资料显示出地壳不稳定的上下波动，重力值也逐年稳步增大，地表仍无明显上升。反映震源处附近地壳中水平张应力快速增强，可能震源体进入由不稳定的弹性变形向非弹性变形的过渡阶段。这一缓慢—快速下降异常阶段结束于75年7月。

地下水位动态缓慢下降异常阶段（Ⅱ）：75年8月以后地下水位下降速度显著减慢，表明观测水层张性体应变速率显著减慢，可以认为反映震源应力场相对稳定，推测震源体处于塑性变形阶段。同期，76年4月前15个月内，华北山西地震带、河北平原地震带、燕山地震带无4级以上地震发生，显示出区域构造应力场短暂的相对平静。

地下水位短期加速下降异常阶段（Ⅲ）：76年5月至震前7天，地下水位加速下降，出现每月72—95厘米的最大下降速度，表明观测水层快速引张，含水层层间压力急剧减小，水动力学特性已遭到破坏，出现了违背承压水位降深与涌水量的线性关系，反应震源应力场已转入第二次加速发展过程，推测震源体可能处于破裂前的塑性硬化阶段。

地下水位临震回升异常阶段（Ⅳ）：震前7天，地下水位有趋势下降异常背景的观测井水位突转回升，表明观测水层应力状态开始发生改变，反映震源应力场转向，推测震源处发生了大破裂前的预滑，或震源介质发生了新的重大变化。

地下水位震时急速回升阶段（Ⅴ）：地下水位有趋势下降异常背景的观测井，震时水位急速回升，表明观测水层层间压力急速恢复，反映震源应力场解体，标志着主破裂发生，震源处于应变能大释放阶段。

地下水位震后异常恢复阶段（Ⅵ）：震后地下水位有趋势异常背景的观测井，水位由快至慢的起伏回升，到77年在余震频繁活动的背景上，初显年动态特征，反映震源残余应力场的活动和转入区域构造应力场的恢复调整时期。

（本文1982年3月13日收到）

参 考 文 献

- 〔1〕李钦祖，华北地壳应力场的基本特征，地球物理学报，Vol.23, No.4, 1980.
- 〔2〕国家地震局地震测量队，1966年邢台地震的地形变，地球物理学报，Vol.18, No.3, 1975.
- 〔3〕国家地震局地震测量队，海城7.3级地震的地形变，地球物理学报，Vol.20, No.4, 1977.
- 〔4〕郭增建、秦保燕、徐文耀、汤泉，震源孕育模式的初步讨论，地球物理学报，Vol.16, No.2, 1973.
- 〔5〕郭增建、秦保燕，震源物理，地震出版社，1979.

THE MECHANICAL INTERPRETATION FOR THE PRECURSOR ANOMALIES OF GROUNDWATER LEVEL DURING TANGSHAN EARTHQUAKE AND ITS RELATIONSHIP WITH FOCAL EVOLUTION PROCESS

Yin Bo-zhong Huang Zhen-yi

Wang Ya-ling Li Zhen-hai

(*Seismological Bureau of Tianjin City*)

Abstract

This paper deals with the forming mechanism of groundwater level anomaly in the Tianjin--Tangshan region, the interpretation for the mechanical process as well as its relationship with focal evolution process. It suggests that in the Tangshan epicentral area there was the horizontal tensile stress derived from vertical-up force in focal process and in the Tianjin area there was the vertical-down drag force in the Earth's depth. This led to the long-term descent of groundwater level. Before shock the feedback effects focal stress field was enhanced in the Tianjin region. Therefore, the horizontal drag force in the Earth's depth was resisted, the observed water-bearing bed was compressed reversely. Meanwhile due to the preseismic slip before the main fracture in the epicentral area the focal stress field turned and the stress condition of observed water-bearing bed changed, as a result the groundwater levels suddenly rose up just before shock. The observed water-bearing bed, which is above earthquake source in Tangshan and near earthquake source in Tianjin, is located in hard limestone and in loose layer, respectively. Their hydrogeological mechanical conditions are different. It shows that the anomalistic process of groundwater level is an unitized mechanical process of brewing earthquake in which there are various descending rates of groundwater level. Finally, the relationship between Tangshan groundwater level anomalies in epicentral area and focal evolution process is discussed.