

地下水位变化引起的地面形变*

胡惠民 金祖彬 匡绍君 赵雪
(国家地震局测量大队)

摘要

本文探讨了抽用地下水对地面形变所造成的影响。文中应用了几个抽水试验实例，说明了它们在时间上、空间上的相互变化关系。抽水所造成的地下水漏斗区范围内，不仅能产生垂直形变，而且在其影响的不同部位，还形成压缩和拉伸的水平形变。对抽水引起的地面形变与其他因素所造成的地面形变的区别，进行了初步的讨论。

一、引言

地面形变是观测地震前兆的一个方面。但是在形变观测中的干扰因素是不容忽视的，尤其在广大平原地区，抽用地下水将给地面形变带来很大的干扰。这种干扰其数量之大，远远超过一次地震的地面形变前兆信息。

过量抽用地下水，势必会引起地下水位大幅度的下降，以至逐渐形成由小到大、由浅到深的地下水漏斗。如天津市由于大量开采地下水，造成地下水位连年下降，漏斗范围目前已扩展到数十平方公里，并有继续扩大的趋势。在农业集中用水的地区，也将形成一定范围内的季节性或永久性的地下水漏斗。在上述漏斗区范围内，都将引起地面的变形下沉。所以如何识别和排除地下水的干扰，是当前地面形变工作中急待解决的问题。

二、几个实例

在第四纪覆盖层很厚的平原地区，不同层次、不同类型的地下水广为分布，它们主要由大气降水和地面迳流所补给。如果某些地区的开采量超过其补给量，势必出现入不敷出，导致上部土层变形下沉。那么过量抽用地下水如何引起地面变形？它们在时间上、空间上变化关系如何？为了逐步认识这些问题，有利于判别真假地壳形变，我们选择了有关台站和形变“异常”区，开展了抽水试验工作，探索它们抽用不同层次（深、浅）地下水对上部土层的影响。

1. 河北坝县 位于古拒马河、永定河等数条河流相互作用所形成的冲积平原上。上部主要由含水性能较好的细砂层组成。利用当地浅井进行单孔混合抽水。抽水过程中，对布设的三个方向测线和周围三个地下水位观测井，反复定时进行观测。当连续抽水五

* 1979年5月18日收到。

小时后,试点(离井7.5米)随着地下水位下降,呈现出一定量的变形。抽水进行到一天半后,地下水位形成了将近六米深的降落漏斗。此时设置在不同距离的观测点,大致在稍后一点时间里,也相继产生了一定数量的形变值。以后随着水位缓慢下降,形变速率也越来越小(图1)。

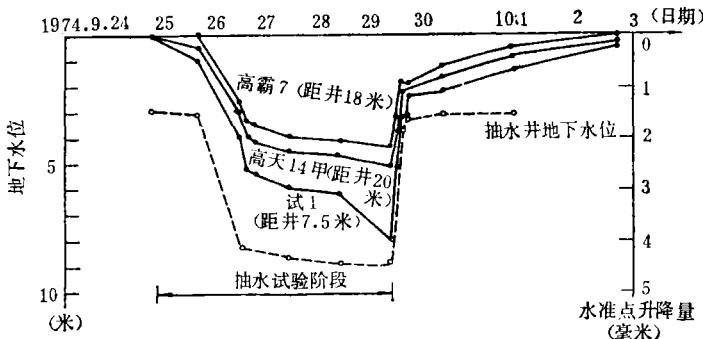


图1 坝县抽水井地下水位与各水准点升降变化图

当试验持续到四天半时,地面最大影响范围约100米,距抽水井最近的点,最大下降值为4毫米多。停止抽水后,地下水位在数小时内迅速上升恢复。而地面也出现了快速回弹,停抽四天后,各测点基本上恢复到原来部位。说明了当砂层充水饱和后,其体积很快能回复到原状,显示出它们具有弹性形变的特征。为了对比验证抽水试验结果,更确切判断抽水对坝县下沉区的影响,同年又进行了一次类似的试验,其结果与上述情况极为相似。

2. 山西夏县 位于中条山山前冲积洪积扇顶部,上部为黄土状亚粘土,下部有多层砂砾石层,地下水位埋深约20米,我们选定二个可能对测线有影响的井,进行混合抽水。抽水过程中对布设的观测点定时反复观测。当连续抽水数小时后,距井最近的测点,开始出现下沉,抽水持续50多小时后,地面下降达到最大值,离井最近的测点,下沉值为2毫米;距井300多米处的水准点下沉了1毫米。沿测线埋设的过渡点,随着离井距离的增加,变形量逐渐减小。当水位达到最大降深8米左右时,即使继续抽水,地面也不再出现继续下沉。抽水停止,地面很快回升,使上述两个点分别恢复了1.5毫米和0.5毫米,经五天抽水影响地面变形最大范围为450米。

夏县抽水试验与坝县有所不同,表现在:

(1) 当水位恢复正常后,地面形变并没有完全恢复,说明了上部覆盖层产生了一定量的残余形变,这种残余形变,很可能是上部黄土状亚粘土孔隙压缩所致。

(2) 夏县抽水试验影响范围较远,可能是由于二个抽水井相距较远(700多米),抽水井井深又在100米以上,致使形成较大范围水位下降漏斗之故。

3. 河北香河 位于永定河、潮白河冲积扇边缘,上部主要为河流相砂性土沉积物,区内水网发育,地下水位埋深2—4米。我们选择了台站测线附近的三个浅井(相距约300—400米)同时进行抽水,并布设了三条观测线路。经过三天连续抽水,地下水位变幅很小,而地面形变也无明显的变化,仅在离井较近的几个点出现一些趋势性变化,其中最大下降

幅值为 0.7 毫米,影响范围很小(不好计算). 抽水停止后,水位迅即恢复,地面又回弹到原来部位.

香河抽水试验结果告诉我们,如果地下水位浅,含水层厚度大,地下水补给又很丰富,这种地区抽水所引起的地面形变量将是很小的.

4. 天津青光 位于滨海平原又是近代历史时期永定河的故道上, 上部堆积了河沼相和部分海相沉积, 主要由薄层细粉砂和淤泥质粘性土所组成.

抽水试验在 6、7、8 号三个井同时进行, 井深从 100 多米至 400 多米不等, 试验时在三条测线上定时反复观测, 抽水井间隔井距 300—500 米 不等(图 2).

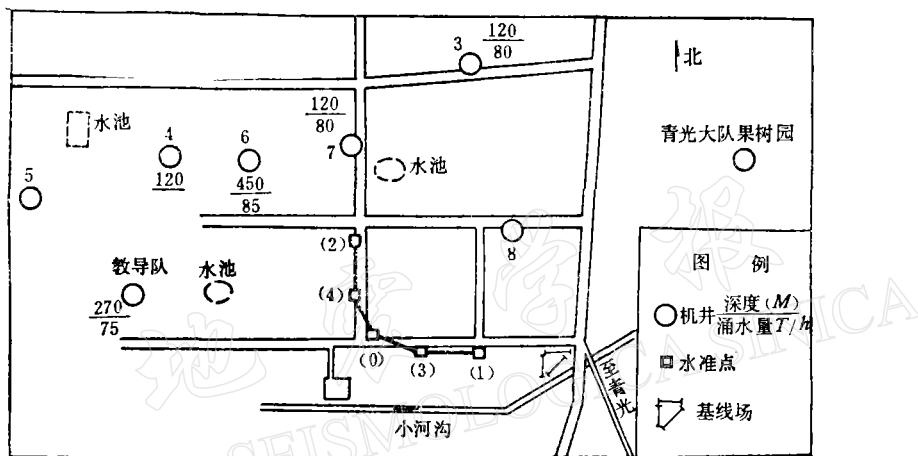


图 2 青光形变台测线布设及邻近机井分布图

当抽水一天后, 在一定范围内的水准点, 由近到远相继下沉. 离机井 375 米处的(2)号点已明显受到影响(图 3). 随着地下水位大幅度下降, 地面形变量也日趋增大.

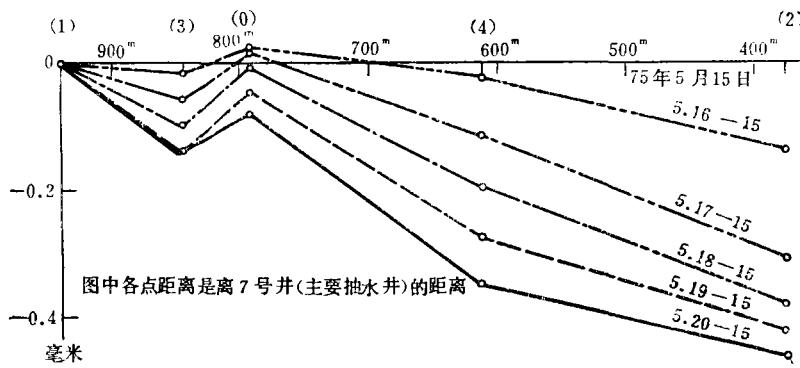


图 3 青光 5 月 15 日—5 月 20 日抽水期沉降剖面图

图 4 表示了由于抽水时间增加, 出水量增多, 地面逐步变形下沉. 它反映了在当年集中用水阶段(包括二次抽水试验时间在内)两个水准点相对最大变化量为 3.6 毫米. 图 3 仅反映了抽水试验期间变形影响范围, 就可达 900 米, 看来在连续多井用水的情况下, 其

影响范围将更远。从图中可以看出，抽取深层地下水，与上部土层变形在时间上，空间上有着较为复杂的变化过程。

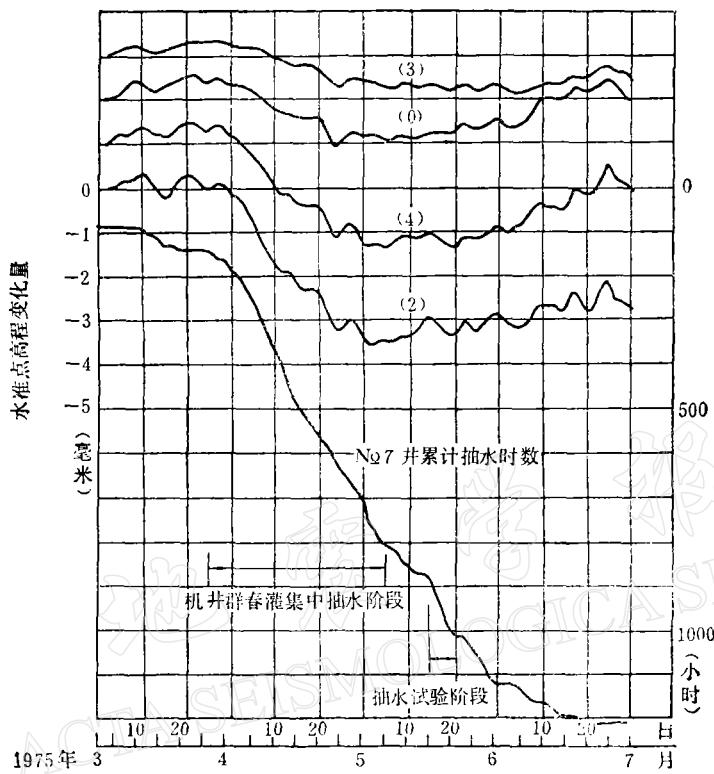


图 4 青光台 No.7 号井累计抽水时数与各水准点高程变化(相对于(1)点)

各个抽水井水位快速下降，必然形成地下水位的局部漏斗，进而又可相互连接成较大范围的漏斗。漏斗区内不仅产生明显的垂直形变，而且伴随着水平形变的发生。连续观测资料表明，当抽水漏斗区形成后，在不同部位所造成的地面曲率是有差异的。在漏斗区的边缘，地面曲率是上凸的，在这个上凸区域内，它们的垂直形变量是随着远离机井而逐渐减小，可在指向机井方向上将出现水平拉伸位移，在其正交方向上则产生压缩变形，随着抽水量的增加，其拉伸和压缩变形量将愈来愈大。青光台基线场地即位于这个区域内。在靠近机井附近的下沉区，地面曲率是下凹的，在这个区域内，除了有较大下沉量这个特征外，推断在指向机井方向上及其正交方向上都将出现水平压缩位移。至于在下沉区以外，这些形变也就不存在了。在青光所能观测到的水平形变影响范围可达 1000 米。

当停止抽水后，地下水位逐步得到恢复，上部土层内的应力状态也将得到一定的调整。地面出现了一定量的膨胀回弹，由于压缩层的存在，一般不可能恢复到原来位置，造成了一定数量的残余形变。图 4 中可以看出其最大回弹量还不足 2 毫米。必须指出，图 4 表示的(在抽水试验结束后)用水量继续增加的情况下，地面为什么反而表现为上升？目前尚不能做出确切回答。但是有可能是这一抽水井的用水量，还不能说明周围总用水量的缘故。

根据上述几个抽水试验结果,列表于下。通过对比分析,初步得到以下几点认识:

- 1) 抽用地下水所造成的漏斗中心,它与地面沉降中心是相吻合的。随着水位急剧下降(到达稳定水位前),地面形变量将逐步增加,沉降范围将逐步扩大。在一般情况下,它们之间有着明显的对应关系。
- 2) 抽取浅层地下水所引起的地面沉降,表现为时间快,范围小。相反,抽用深层承压水引起的地面沉降,其持续时间长,范围大。
- 3) 第四纪覆盖层的厚度越大,沉积物的颗粒越细,土层不可回弹的压缩量就越大。
- 4) 地下水造成的漏斗区范围内,既有垂直形变,也有水平形变。水平形变的性质,在不同部位是有差异的。
- 5) 抽水结束后,地下水位逐步得到恢复,土层弹性形变部分,主要是粗颗粒含水砂层,一般在较短时间内,很快就能回弹,有的可能回复到起始值。但大部分地区则不然,由于不同性能的细颗粒的压缩层的存在,往往会造成非弹性的压缩形变,致使地面形变量越来越大。如青光地震台,由于长期受到周围井群的干扰,从1975年到1978年春,南北向水准高差变化已有18毫米,倾斜方向正是指向北面机井群集中处。

表

地点	地貌单元	地质结构	地下水类型	水位最大下降值	沉降量	离最近点距离	影响范围	抽水井深度(米)	抽水井个数	形变类型
山西夏县	山前冲积洪积扇	上部是黄土,下部是砂砾石层	潜水和承压水	8米左右	2.2(毫米)	25(米)	450(米)	94	2个	弹塑性形变
河北坝县	中部冲积平原	上部为河流相沙性土,下部为中细砂	潜水和承压水	6米	4.5(毫米)	7.5(米)	100(米)	80	1个	主要是弹性形变
天津青光	滨海平原	上部为河沼相淤泥质土,下为细粉砂层	承压水(混合)	约8米	3.6(毫米)	376(米)	900(米)	120和450	群孔	主要是压缩形变
河北香河	永定河冲积扇	上部为亚砂土,下部为中粗砂层	潜水	1—1.5米	0.7(毫米)	不明显	不规则	20	3个	弹塑性形变

注:青光下沉量是机井群集中抽水阶段所造成。

三、抽水引起地面变形一些问题的讨论

通过抽水试验,可初步分析出引起地面变形的一些因素。当然,对不同地区在抽水作用下所引起的地面变形,虽然取得了一些感性认识,但是由于它们自身存在的条件及其影响因素不尽相同,如抽水井数量多少、距离远近,含水层的厚薄、压缩层的层次以及地下水位反复变化幅度等都有很大的差异,因此要找出它们之间的定量变化关系,显然还有很多困难,尚需大量实践、多方探索。现仅根据初步试验结果,概略地分析一下引起地面变形的主要因素。首先,要搞清楚抽水井周围的地质条件,包括含水层、压缩层层次、厚度、结构及其物理力学特性,它们是造成地面变形的内在根据。从试验结果可以看出,由于各地地质条件的不同,地面变形有很大的差异,所造成的形变类型也不完全相同。如青光台处于滨海平原,第四系覆盖层厚达数百米,其中含有许多层易压缩的淤泥质粘性土,抗剪抗压性能极低。当周围孔隙水压不断地被降低,土层的压缩作用可能会长期进行下去,形变特

征以压缩变形为主。山西夏县则处于山前冲积洪积扇上，粗颗粒沉积较多，又无明显的压缩层，即使在承压水下降幅值很大情况下，虽然变形范围扩展较远，可是变形幅值不大，当水位回复到原来水位时，含水层弹性变形部分很快得到恢复，剩下的残余形变量是很小的。其次土体内孔隙水压变化大小是直接造成地面升降的重要条件。在一般情况下，地下水位的高低变化与地面形变量有着密切的关系。地下水位下降幅值越大，形变量就越大，反之亦然。在自然界中地下水作为流体一直在运动着、变化着，再加上人为开采地下水的影响，孔隙水压变化就更为频繁，这种作用无疑将影响到土层的升降，好像土层经受着反复的荷载，产生了压缩和回弹的交替变形，如果这种作用长期持续下去，即使水位下降幅度并不大，土体的压密作用也将缓慢地进行下去。在孔隙水压长期下降地区，土体压缩固结作用持续进行，从而造成不可逆的永久变形，这也是长期过量开采地下水所造成的严重后果。

那么地下水位变化又如何使不同性质土层发生变形的呢？在自然界中地下水如同气候一样有着周期性的变化规律，在通常情况下，它们处于相对平衡状态，局部过量开采地下水，使这种平衡状态遭到破坏，地下水位就会不断下降。水位降低使含水组地层边界条件发生改变，从而引起周围水力梯度和渗透压力的变化。土层中的孔隙水在上部土体总应力不变的情况下，被不断排出，孔隙水压降低，打破了原来土体内孔隙水分布的相对平衡状态，原来孔隙水承担的部分压力，将转嫁于土体颗粒，从而促使颗粒间有效应力增加，土层在体积缩小过程中逐步固结。这种过程对含水砂层来说比较简单，当水压降低，砂层压密作用瞬时即能完成，并不存在滞后效应。一旦地下水位恢复，砂层孔隙充水饱和，变形很快得到恢复，基本上能回弹到原来部位，显示出弹性形变特征。

粘性土层的这种变化过程要复杂得多，当在水压降低情况下，粘土层中孔隙水将向上下部含水层逸出。在失水过程中逐步产生压密作用，这种压密作用的快慢取决于孔隙水分排出的速率。随着孔隙水压衰减，土体内部将产生应变，原来土层颗粒结构遭到破坏而重新排列，造成土层的压缩变形。这种粘性土的变形过程，一般属于非弹性的。即使它们在水压得到充分恢复的情况下，其变形特征表现为不可逆的。它所造成的压缩形变，将持续很长时间，有的需要数年以至于数十年才能完成。但是随着孔隙水被不断排出，这种压密作用在一定条件下也能逐步转变为弹性形变。

四、如何识别地下水和非地下水引起的地面形变

地下水位变化所造成的地面形变，与其他因素引起的形变是有区别的。它有着自身变化和发展的特点，主要表现是：

1) 在形变范围上，一般由小到大，由漏斗区逐渐向外扩展，地面形变范围往往与抽水井分布较为一致。它们的分布范围是连续的，常常由几平方公里发展到几十平方公里，甚至更大。

2) 在形变形态上，单孔抽水所造成的漏斗基本上是对称的。事实上自然界的情况要复杂得多。如由于井群布置不合理，不同层次用水量不尽相同，漏斗相互重叠等都将破坏这种对称形状。但不管如何，它们仍有一定类似之处，像地下水漏斗所引起的形变形态，

一般在中心部位呈碟形，而在漏斗区边缘形变梯度大，界线较为清晰，这种地面形变分布，与周围构造无关。

3) 在形变幅值上，抽用地下水引起的地面形变量，其幅值一般逐年增大，而且主要集中在漏斗区的中心范围，它们的变化量将远远超过一次破坏性地震孕育过程中或其他因素所能达到的幅值。

4) 在时间上，凡是抽用地下水所造成的地面形变，一般与集中用水季节有关，并带有一定的周期性变化。

虽然构造运动造成的地面形变，与地下水位变化所引起的地面变形有着本质的不同，但有时确实难以辨认，尤其是构造形变与地下水大量开采地区重叠在一起，要区分它们各自所造成的变化量或者估计它们的百分数也是很困难的。这就需要我们在今后实践中，不断总结经验，加强综合分析，尽量掌握地下水活动规律，逐步地做到由定性到定量地去排除地下水对地面形变所带来的干扰，更好地认识地震前的地面形变这一真正的前兆信息。

GROUND SURFACE DEFORMATION CAUSED BY THE CHANGE OF GROUND WATER LEVEL

HU HUI-MIN JIN ZU-BIN
KUANG SHAO-JUN ZHAO XUE

(The Geodetic Survey Brigade for Earthquake Research, State Seismological Bureau)

Abstract

Change of ground water level gives rise to ground deformation is concerned in this paper. It describes several actual experiments in-situ of pumping water from wells, indicating the relation between the variation of elevation and the pumping, with respect to time and location. Around the pumping wells and within the limit of a funnel-shaped ground water surface, not only vertical movement, but also horizontal compression and dilatation can be observed. A preliminary discussion has been made in connection with the distinction between ground deformation caused by ground water change and other factors.