

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2009.02.021

# 潮汐对近岸地下水水位波动影响的试验研究

吴龙华<sup>1</sup>, 庄水英<sup>2</sup>, 李 凌<sup>1</sup>, 杨建贵<sup>3</sup>

(1.河海大学水生态环境模拟中心,江苏南京 210098;2.珠江水利科学研究院,广东广州 510611;  
3.南京市长江河道管理处,江苏南京 210011)

**摘要:**利用自行研制开发的潮汐模拟自动控制系统,对潮汐影响下近岸地下水水位波动和周期平均地下水水位超高进行了试验研究.试验结果表明,近岸任意一点地下水水位随时间变化具有不对称性,水位上升比下降快.潮汐信号在地下水传播过程中会产生周期性的水位波动,随着离岸距离的增加,水位波动振幅衰减加快.潮汐在沿岸潜水层中形成的地下水水位超高最大可以达到含水层厚度的 10% 左右.潮汐的振幅和频率对近岸地下水水位超高有着重要的影响,在相同条件下频率对地下水水位超高的影响较振幅大.潮汐对地下水水位超高的影响还与近岸潜水层的厚度有关.

**关键词:**潮汐;近岸;地下水;波动;水位超高

**中图分类号:** P641.2      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-1980(2009)02-0228-04

在潮汐影响下,沿海近岸含水层中地下水水位常随海水潮汐的波动而波动,而地下水波动的周期平均水位超过地下水静水位的现象称为地下水水位超高.地下水水位的波动不仅影响岸滩的结构形态,同时也影响着含水层与海水之间的水量交换以及化学物质的运移.潮涨时,海水会进入含水层,导致潜水浸润面的局部上升,潮落时,地下水将从含水层中排出,并在海滩上形成渗出面,从而影响沙滩的稳定.地下水水位超过平均水位时,较易引起沙滩侵蚀;反之,地下水水位偏低,则易导致泥沙沉降<sup>[1-2]</sup>.此外,现有的地下水数学模型中,通常忽略潮汐引起的海平面波动,仅仅以平均海平面作为模型的边界条件<sup>[3-5]</sup>.然而在潮汐影响下,海平面周期性升降,导致沿海地下水周期平均水位超高<sup>[6-10]</sup>,当潮汐振幅为 4~5 m 时,近岸平均地下水水位超高可达到 2~3 m.

1997 年, Li 等<sup>[11]</sup>用边界元数值方法模拟了潮汐对滨海潜水水位波动的影响,以二维饱和地下水运动方程为控制方程,得出地下水水位受潮汐影响的变化规律:振幅衰减、不对称性和相位滞后. Nielsen<sup>[4]</sup>通过野外试验观测,认为在潮汐边界的影响下,内陆水位超高有 3 个原因:浸润面的形成、非垂直沙滩导致的边界条件不对称以及控制方程的非线性. Li 等<sup>[9-11]</sup>进一步证实,由于非线性效应和沙滩倾角的影响,潮汐会产生内陆地下水水位超高,而在海岸沙滩倾角较小时,这种潮汐产生的地下水水位超高非常明显.忽略潮汐造成的地下水平均水位超高,将导致预测评估的地下水资源量出现误差.上述研究成果大都基于数值模拟<sup>[9-12]</sup>,尚未在实验室内得到验证.因此,本文利用自行研制开发的潮汐模拟自动控制系统,对潮汐作用对近岸地下水水位波动的影响、地下水水位超高的相对程度以及影响地下水水位超高的因素进行试验研究.

## 1 试验设计

试验在自主研制开发的潮汐模拟自动控制系统中进行.在潮汐模拟自动控制系统中,试验水槽和蓄水箱之间有 1 台由直流电动机驱动的双向水泵.该双向水泵通过调节电机转速来调节水槽潮汐流量,实现对输入/输出试验水槽的水流流量进行控制.在输水管路上安装有电磁流量计,用于检测输入/输出试验水槽的水流流量.蓄水箱与输水管路之间设有 1 个电动/手动一体式蝶阀,便于水路检修和清理水槽.水槽尾部设有 1 个用来调节水槽中潜水层水位的可调高度的溢流堰,以及 1 个与工控机相连接的多功能控制柜,用于控制驱动水泵的直流电机、电动阀和电磁流量计.潮汐模拟自动控制系统装置如图 1 所示.

收稿日期:2008-04-16

基金项目:国家杰出青年科学基金(50425926),江苏省博士后科研资助计划(0701006B),河海大学自然科学基金(2007417411)

作者简介:吴龙华(1974—)男,江西鄱阳人,讲师,博士,主要从事现代流体测试、生态水力学等研究.

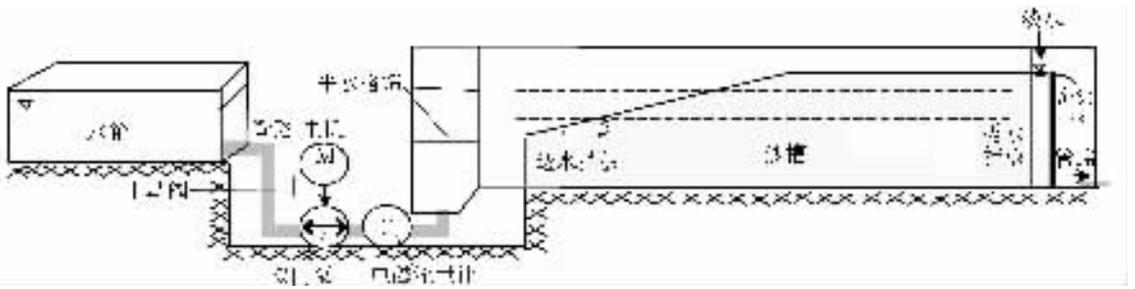


图1 试验装置示意图

Fig. 1 Test apparatus

在试验沙槽上设置2台智能数码水位仪,用于检测潮汐水位.RS485工业现场总线可以方便、快捷地添加其他具有RS485通信功能的智能仪器设备.智能水位仪和电磁流量计都是经RS485工业现场总线与计算机连接的.潮汐模拟自动控制系统配制了专门的数据采集装置.为了在测控系统中添加其他各种电流/电压输出型的量测仪器,系统还设置了1台信号处理装置,通过A/D接口接入计算机,以实现模拟量电信号的转换和调节.

沙槽总长度为30m,宽1.2m,高1.5m.潮汐模拟自动控制系统能够模拟的最大潮汐振幅为0.25m.为观测地下水沿程水位的变化情况,根据试验沙槽的尺寸,设置了16个测点.压力传感器直径为29mm,埋在沙槽底部,其布置位置与沙槽起始端距离分别为2.8m,3.4m,3.8m,4.2m,4.6m,5.0m,5.7m,6.3m,6.9m,7.4m,8.0m,8.6m,9.1m,10.3m,15.0m,25.0m.由于主要观测近坡面处地下水水位的变化情况,故在该处压力传感器布置较为密集.试验中沙滩倾角为 $7^\circ$ .试验通过改变潮汐的振幅、频率及潜水层厚度,模拟不同条件下大小潮水位波动的规律.

## 2 试验结果分析

### 2.1 地下水水位波动特性

为观测潮汐对地下水水位波动的影响,试验中利用2种不同的潮汐信号混合模拟天然潮汐的运动情况.具体试验参数为: $T_1 = 45 \text{ min}$ ,  $A_1 = 9.0 \text{ cm}$ ,  $T_2 = 60 \text{ min}$ ,  $A_2 = 4.5 \text{ cm}$ , 平均水位  $\bar{H} = 76.5 \text{ cm}$ , 渗透系数  $K = 38.016 \text{ m/d}$ , 有效孔隙率  $n_e = 0.442$ , 坡度  $\beta = 7^\circ$ .

通过试验观测到各测点处水压力的变化情况,其中第9,10,11号测点处水压力变化如图2所示.

从图2可以看出:各点处地下水水位随时间变化具有不对称性,水位上升比下降快,2个潮汐信号在地下水传播过程中产生1个周期为3h的大小潮水位波动;从9号测点至11号测点,水位波动振幅逐渐减小,振幅衰减越来越明显.

### 2.2 地下水水位超高

本文将大小潮高潮位与沙滩交点处地下水周期平均水位超过平均海平面水位的值称为水位超高,记为  $H_{\text{over}}$ .组成潮汐信号的2组信号,其振幅分别为  $A_1$  和  $A_2$ , 频率分别为  $\omega_1$  和  $\omega_2$ , 含水层厚度为  $H_0$ .通过改变含水层厚度、潮汐振幅以及潮汐频率,共进行了10组试验,各组试验参数和测得的地下水水位超高情况如表1所示.试验中沙的渗透系数和有效孔隙率与2.1中相同.

从表1中1~4组试验结果可以看出,在潜水层厚度和潮汐波频率、潮汐振幅大小一定的情况下,潮汐引起的地下水水位超高基本上与组成潮汐信号的各信号振幅无关.由第6~8组试验结果可以看出,潮汐频率越大,引起的地下水水位超高也越显著,其对超高的影响程度超过了对振幅的影响程度.由第6,9组试验结果可以看出,在其他条件相同的情况下,当潮汐振幅相对于潜水层厚度越大(分别为0.176,0.180),其地下水水位超高也越明显.

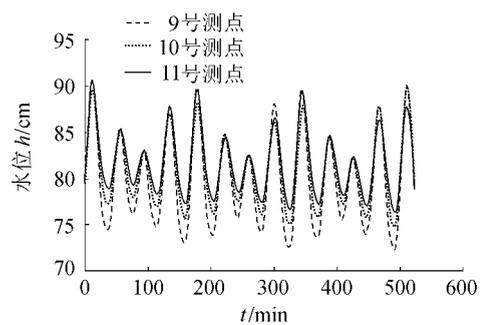


图2 大小潮引起的地下水水位波动特性

Fig. 2 Fluctuating characteristics of groundwater table induced by spring and neap tides

表1 地下水超高试验主要参数及结果

Table 1 Main parameters and results of freeboard tests

组次	潮汐振幅/cm		潮汐频率/(rad·min <sup>-1</sup> )		H <sub>0</sub> /cm	H <sub>over</sub> /cm	H <sub>over</sub> /H <sub>0</sub>	H <sub>over</sub> /(A <sub>1</sub> + A <sub>2</sub> )
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	ω <sub>1</sub>	ω <sub>2</sub>				
1	5.0	10.0	0.1396	0.1047	85.0	5.967	7.02	39.78
2	6.0	9.0	0.1396	0.1047	85.0	6.020	7.08	40.13
3	7.5	7.5	0.1396	0.1047	85.0	5.996	7.05	39.97
4	10.0	5.0	0.1396	0.1047	85.0	5.955	7.01	39.70
5	11.0	5.5	0.1396	0.1047	93.5	6.747	7.22	40.89
6	9.0	4.5	0.1396	0.1047	76.5	6.118	8.00	45.32
7	8.0	4.0	0.1396	0.1047	68.0	4.786	7.04	39.88
8	8.5	4.3	0.2094	0.1571	77.2	6.313	8.18	49.32
9	9.5	4.7	0.1396	0.1047	75.8	7.194	9.49	47.33
10	10.5	5.3	0.1396	0.1047	94.2	6.260	6.65	39.62

由此表明,潮汐的振幅和频率对近岸地下水水位的超高有着重要的影响,在相同条件下频率对地下水水位超高的影响较振幅大.潮汐对地下水水位超高的影响还与近岸潜水层的厚度有关.

从表1还可以看出,潮汐引起的近岸地下水水位超高十分明显,达振幅(A<sub>1</sub> + A<sub>2</sub>)的39.62% ~ 49.32%,占近岸潜水层厚度的6.65% ~ 9.49%.因此,潮汐引起的近岸地下水水位超高对沿海地区地下水水资源总量的预测是十分重要的,如果忽略潮汐引起的地下水水位超高,在进行水资源量预测时有可能造成最大10%的误差.

### 3 结 论

本文通过室内物理模型试验,利用自主开发的潮汐模拟自动控制系统,对潮汐引起的近岸地下水水位波动规律和由此引起的地下水水位超高进行了试验观测.试验研究结果表明,近岸任意一点水位随时间变化具有不对称性,水位上升比下降快.潮汐信号在地下水传播过程中会产生周期性的水位波动,随着离岸距离的增加,水位波动振幅衰减加快.潮汐的振幅和频率对近岸地下水水位的超高有着重要的影响,在相同条件下频率对地下水水位超高的影响较振幅大.潮汐对地下水水位超高的影响还与近岸潜水层的厚度有关.

#### 参考文献:

- [1] GRANT U S. Influence of the water table on beach aggravation and degradation[J]. Mar Res, 1948, 7: 655-660.
- [2] 韩龙喜,李伟,陆永军,等.人工挖沙对东江水系水动力及环境影响分析[J].河海大学学报:自然科学版,2005,33(2):123-126.
- [3] PARLANGE J Y, STAGNITTI F, STARR J L, et al. Free-surface flow in porous media and periodic solution of the shallow-flow approximation[J]. J Hydrol, 1984, 70: 251-263.
- [4] NIELSEN P. Tidal dynamics of the water table in beaches[J]. Water Resources Research, 1990, 26: 2127-2134.
- [5] TEO H T, JENG D S, SEYMOUR B R, et al. A new analytical solution for water table fluctuations in coastal aquifers with sloping beaches[J]. Adv Water Res, 2003, 26: 1239-1247.
- [6] LI L, BARRY D A, STAGNITTI F, et al. Beach water table fluctuations due to spring-neap tides: moving boundary effects[J]. Advances in Water Resources, 2000, 23: 817-824.
- [7] PHILIP J R. Periodic non-linear diffusion: an integral relation and its physical consequences[J]. Australian Journal of Physics, 1973, 26(4): 513-519.
- [8] ATAIE-ASHTIANI B, VOLKER R E, LOCKINGTON D A. Tidal effects on groundwater dynamics in unconfined aquifers[J]. Hydrological Processes, 2001, 15: 655-669.
- [9] LI L, BARRY D A, STAGNITTI F, et al. Submarine ground-water discharge and associated chemical input to a coastal sea[J]. Water Resources Research, 1999, 35(11): 3253-3259.
- [10] TURNER I. Simulating the influence of groundwater seepage on sediment transported by the sweep of the swash zone across macro-tidal beaches[J]. Marine Geology, 1995, 125: 153-174.
- [11] LI L, BARRY D A, PATTIARATCHI C B. Numerical modeling of tide-induced beach water table fluctuations[J]. Coastal Engineering, 2001, 47: 105-120.

1997, 30: 105-123.

[12] 庄水英, 陈娟, 李凌, 等. 大小潮作用下沿海潜水水位波动的数值研究[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2006, 34(1): 10-12.

## Tidal effects on fluctuation of groundwater table along shore

WU Long-hua<sup>1</sup>, ZHUANG Shui-ying<sup>2</sup>, LI Ling<sup>1</sup>, YANG Jian-gui<sup>3</sup>

(1. Center for Eco-Environmental Modeling, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Pearl River Water Resources Scientific Research Institute, Guangzhou 510611, China;

3. Nanjing Changjiang River Management Office, Nanjing 210011, China)

**Abstract:** An automatic simulation system for tides developed by the authors was employed to study the tidal effects on the fluctuation of the groundwater table along the shore and the freeboard of the mean period groundwater table over height. The test results indicate that the fluctuation of the groundwater table along the shore at arbitrary points with time is asymmetric, and its increase is faster than its decrease. The tidal signals result in periodical fluctuation of the water table during the propagation of groundwater, and with the increase of distance away from the shore, the amplitude attenuation of fluctuation of the groundwater table increases. The largest freeboard of the groundwater table in unconfined aquifers induced by tides may reach about 10% of the thickness of the aquifers. The amplitude and frequency of tides have significant effects on the freeboard of the groundwater table along the shore. Under the same conditions, the frequency of tides has a greater effect on the freeboard than the amplitude of tides. Furthermore, the tidal effects on the freeboard of the groundwater table along the shore also relate to the thickness of the aquifers.

**Key words:** tide; along the shore; groundwater table; fluctuation; freeboard

## 《水利水电科技进展》征订启事

(邮发代号 28-244, CN32-1439/TV, ISSN1006-7647, 双月刊, A4 开本)

《水利水电科技进展》由河海大学主办, 是全国中文核心期刊, 中国科技核心期刊, 全国水利系统优秀期刊, 华东地区优秀期刊, 江苏省优秀期刊. 主要刊登水科学、水工程、水资源、水环境、水管理方面的科技论文, 主要栏目有水问题论坛、研究探讨、工程技术、水管理、专题综述、国外动态等, 适合与水利、水电、水科学、水工程、水资源、水环境有关的科研、工程、管理人员以及大专院校师生阅读.

本刊由邮局发行, 邮发代号 28-244, 2009 年每期定价 10 元, 全年 6 期共计 60 元. 可在全国各地邮局订阅, 也可直接向编辑部订阅.

编辑部地址 210098 南京市西康路 1 号《水利水电科技进展》编辑部.

电话/传真 025-83786335

E-mail: jz@hhu.edu.cn

网址: [http://kbb.hhu.edu.cn/index\\_jz.htm](http://kbb.hhu.edu.cn/index_jz.htm)