

# 靖边县四柏树海则引水回渗试验

宋寿鹏<sup>1</sup>, 杨涛<sup>2</sup>, 康卫东<sup>3</sup>

(1. 同济大学 地下建筑与工程系, 上海 200092; 2. 石家庄经济学院, 石家庄 050031; 3. 西北大学 地质学系, 西安 710029)

**摘要:**该文以四柏树海则野外回渗试验为基础, 取得引水回渗入渗系数  $0.01 \text{ m/d}$ , 并据此确定四柏树海则全年有水的引水最小引水量; 通过建立地下水数值模拟模型, 预测现状开采条件下, 四柏树海则引水回渗引起的地下水位升幅变化。结果表明: 保证四柏树海则全年有水, 引水回灌量需达到  $20 \text{ 万 m}^3/\text{a}$ , 入渗补给地下水量为  $16 \text{ 万 m}^3/\text{a}$ , 可增加海则面积  $42\,623 \text{ m}^2$ , 水位增幅大于  $1 \text{ m}$ 。显然, 引水回渗对营造沙漠绿洲及回补地下水源, 实现绿洲生态的恢复和人居环境的改善具有重要意义。

**关键词:** 引水回渗; 入渗系数; 数值模拟

中图分类号: P641.25

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)04-0195-03

## Analysis of Experiment about Diversion Recharge in Sibaishuhaize Lake of Jingbian County

SONG Shou-peng<sup>1</sup>, YANG Tao<sup>2</sup>, KANG Wei-dong<sup>3</sup>

(1. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, China; 3. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China)

**Abstract:** Based on field diversion recharge experiment in Sibaishuhaize Lake, the infiltration coefficient is  $0.01 \text{ m/d}$ , and then minimal diversion with water all the year round was confirmed. Variable amplitude of groundwater level in the current condition of exploitation was predicts through the establishment of groundwater numerical simulated mode. The results showed water quantity of diversion recharge should achieve  $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ , and infiltration is  $16 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$  in order to ensure that Sibaishuhaize has water all the year round, increasing area of Sibaishuhaize by  $42\,623 \text{ m}^2$ , the increasing amplitude of groundwater level is more than  $1 \text{ m}$ . Obviously, diversion recharge is of great significance for recovering the oasis and supplementary water sources, realizing the improvement of restoration of oasis ecology and living environment for human beings.

**Key words:** diversion recharge; infiltration coefficient; numerical simulation

引水回渗一般应具备 4 个基本条件<sup>[1]</sup>: 一是有利于地表水引渗的场所, 二是有可供引渗的水源, 三是有可用于蓄水的地下空间, 四是有良好的地下水开采条件。

靖边县北部风沙滩地区地处毛乌素沙漠南缘与黄土丘陵的过渡地区<sup>[2]</sup>; 其枯竭的海则是良好的地表水引渗场所; 干涸海则的四周分布诸多河流和地表水库, 能为引水回渗提供洪水水源; 厚度达  $50 \text{ m}$  以上的砂性地层, 以第四系潜水为主, 而地下水大量开采所形成了大厚度包气带, 提供了蓄水空间; 北部风沙滩地区是农灌分散开采地下水和水源地集中开采地下水的重要地区, 其地下水的开采条件良好。

在四柏树海则野外回渗试验的基础上, 着重分析

了引水回渗对区域水环境改善的可能性, 并辅以数值模拟相论证。因此, 人工引水回渗, 对防止淡水资源枯竭和水质恶化, 对防止生态环境的进一步恶化以及改善沙漠滩地区人居环境等具有重要意义<sup>[3]</sup>。

## 1 研究方法

### 1.1 四柏树海则引水回渗试验介绍

四柏树海则现已完全干涸, 其地形整体东高、西低。据布设的 18 个探坑揭露, 地形较高处的地下水位埋深  $1 \sim 2.2 \text{ m}$ , 地形较低处的地下水位埋深  $0.5 \sim 0.6 \text{ m}$  (图 1)。渗坑选择在四柏树海则地形低洼的西北角, 坑内最低点的地下水位埋深仅  $0.255 \text{ m}$ 。

收稿日期: 2010-01-21

资助项目: “十一五” 国家科技支撑计划资助项目 (2008BAJ08B14-06); 上海市重点学科 (地质工程) 建设项目 (B308)

作者简介: 宋寿鹏 (1980-), 男, 山东莱州人, 博士研究生, 从事水文地质与工程地质研究。E-mail: 08\_song@mail.tongji.edu.cn

因渗坑附近既无地表水源、也无水井可供利用，故采用打井抽取地下水作为回渗水源，抽水井(编号 ZK1)位于渗坑西北方向，井深 30 m，在抽水井与基准点之间的连线上布设了两个观测孔(编号为  $G_1$ 、 $G_2$ )，两观测孔孔深均为 10 m，含水层为细砂层，地下水埋深 3 m。

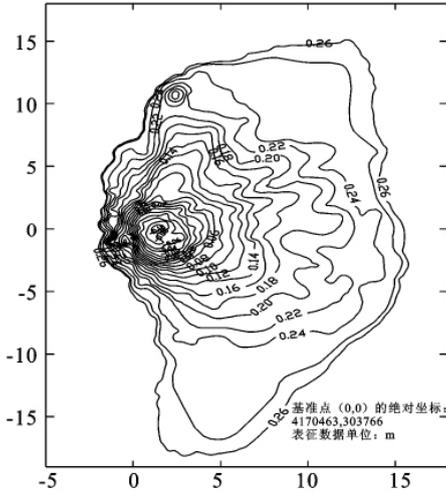


图 1 四柏树海子回渗试验渗坑地形等值线图

回渗试验历时 367.6 h，注水入坑(抽水)历时 5 h；采用连续恒定流量注水(即定流量抽水)，注水入坑(抽水)流量  $8.62 \text{ m}^3/\text{h}$ ，5 h 入坑水量  $43.12 \text{ m}^3$ ；试验期最大集水面积为  $319 \text{ m}^2$ 。

由图 2—4 可知 ZK1 孔抽水 80 min 后两个观测孔水位趋于稳定，停抽 26 min 后  $G_1$  观测孔水位完全恢复，停抽 126 min 后  $G_2$  观测孔水位完全恢复。根据抽水试验数据求得参数见表 1，计算的含水层渗透系数  $K$  为  $6.8 \text{ m/d}$ ，抽水试验影响半径  $R$  为  $74 \text{ m}$ 。

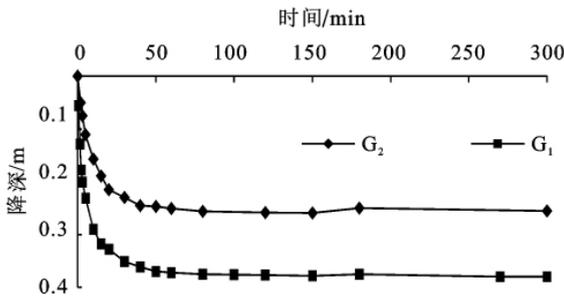


图 2 抽水试验观测孔水位降深

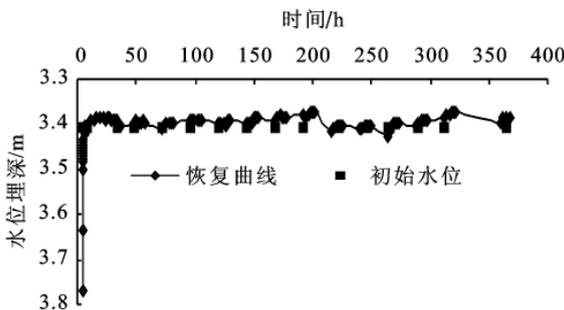


图 3 抽水试验  $G_1$  观测孔水位恢复

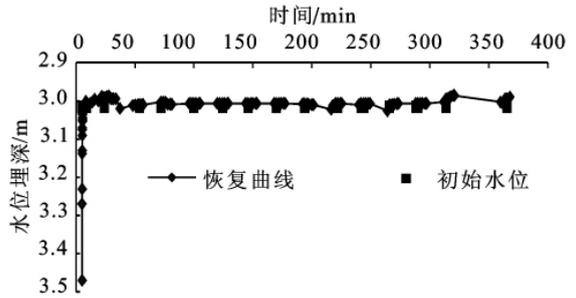


图 4 抽水试验  $G_2$  观测孔水位恢复

表 1 四柏树海则 ZK1 孔抽水试验数据及其成果

抽水流量 $Q/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	含水层厚度 $H/\text{m}$	$G_1$ 距离 $r_1/\text{m}$	$G_2$ 距离 $r_2/\text{m}$	$G_1$ 降深 $s_1/\text{m}$	$G_2$ 降深 $s_2/\text{m}$	渗透系数 $K/(\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$	影响半径 $R/\text{m}$
207	27	9	18	0.38	0.255	6.8	74

由图 5、图 6 的 ZK1 孔抽水期间以及停抽后的渗坑水位上升与下降曲线可知，渗坑水位开始急剧上升，随着时间的延长上升速率变缓，反映后期注水量的增加主要表现为渗坑水面积的增加，水层厚度增加较慢；渗坑水位下降总体比较平稳，有先快后慢的趋势，但变化不大，反映水渗失比较稳定；回渗试验至 24 日有较强降水汇入坑中，使坑水位有明显幅度的上升。抽水期间入渗强度为  $0.31 \text{ m}^3/(\text{d} \cdot \text{m}^2)$ ，停抽后入渗强度开始为  $0.02 \text{ m}^3/(\text{d} \cdot \text{m}^2)$ ，最后稳定在  $0.01 \text{ m}^3/(\text{d} \cdot \text{m}^2)$ 。渗坑早期入渗强度大于晚期入渗强度，可能与初入渗坑的水有相当一部分湿润干燥的土壤有关，显然稳定后的入渗强度对模拟引水回灌具有很好的代表性。

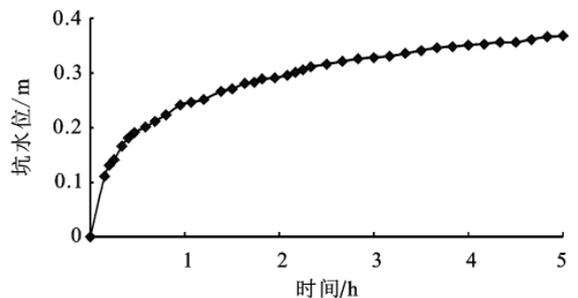


图 5 抽水期间渗坑水位上升曲线

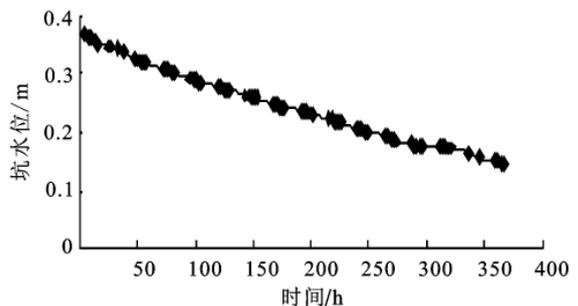


图 6 ZK1 孔停抽后渗坑水位下降曲线

## 1.2 双环渗水试验

为获取四柏树海则各处地表土层入渗参数的变化情况,在四柏树海则洼地内均匀布设了10处地点进行双环渗水试验,渗水稳定时间大于2 h。

综合上述渗水试验的成果,以坑渗试验后期的入渗强度计算值,作为四柏树海子引水回灌的入渗参数是可靠的。

## 1.3 四柏树海则引水回渗分析

四柏树海则近似一个圆形洼地,东高西低,平均深度1~2 m。由图7可知,洼地圈闭的总面积为54 281 m<sup>2</sup>,洼地底部面积为42 623 m<sup>2</sup>;洼地区入渗强度取坑渗试验的结果为0.01 m<sup>3</sup>/(d·m<sup>2</sup>);洼地区全部被水淹没后的入渗量为426 m<sup>3</sup>/d,如果全年被水淹没,则年入渗量为16万m<sup>3</sup>。

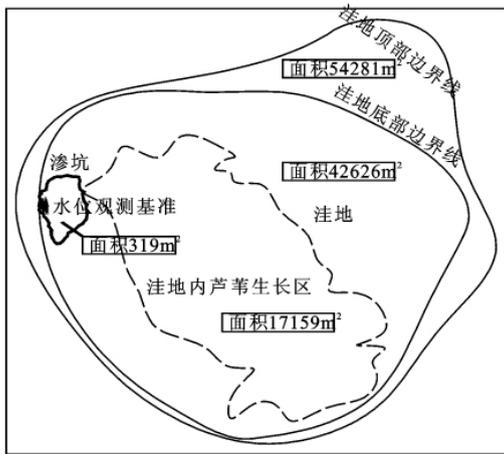


图7 四柏树海则形状及渗坑位置图

靖边县多年平均降水量396.1 mm,多年平均蒸发度1 835 mm,蒸发折算系数取0.58,四柏树海则全年被水淹没的年纯蒸发量约为3万m<sup>3</sup>。

四柏树海则年平衡引水量为最大入渗量与纯蒸发量之和,年平衡引水量为19万m<sup>3</sup>,保证四柏树海则全年有水的引水注入量确定为20万m<sup>3</sup>/a。

## 2 引水回渗数值模拟及其效果分析

建立包含四柏树和炼油厂两个水源地以及四柏树海则与杨家湾水库区的地下水数值模型,将四柏树海则最小引入量作为注水井加入模型中,预测现状开采水平下未来30 a地下水位变化趋势及四柏树海子引水回渗引起的地下水位升幅变化。

预测结果表明,模型区地下水位整体趋势没有发生太大的变化,四柏树海则中心处形成封闭的降落漏斗,北部风沙滩地区地下水位略有所升高;四柏树海则水位升幅大于1 m,北部风沙滩地区水位升幅为0.4~0.6 m。

## 3 引水回渗的环境效应分析

综合考虑靖边县境内地表水资源的质量、数量、开发利用条件,水库多年平均可利用量为2 908万m<sup>3</sup>/a,保证率90%的可利用量为1 922万m<sup>3</sup>/a。在水资源开发利用规划中,是以保证率90%的可利用量进行规划的,所以正常年份多于保证率90%的可利用量的那部分水资源量即可作为回灌水源加以利用,考虑到丰、平、枯水年的交替变化以及提高引水的可靠性等因素,可按50%折算可利用的引渗水量。据此算得水库可利用的引渗水量为493万m<sup>3</sup>/a。

四柏树海则引水回渗模拟预测表明,引水注入量20万m<sup>3</sup>/a,入渗补给地下水量16万m<sup>3</sup>/a,可增加海则面积42 623 m<sup>2</sup>。水库可利用的引渗水量为493万m<sup>3</sup>/a,入渗水量为约290万m<sup>3</sup>/a,可回渗海子面积约1 km<sup>2</sup>。可见,引水回渗是对整个地区的环境生态效应的一种有效的改善途径。

## 4 结论

通过野外试验,综合分析了引水回渗后对四柏树海则环境的影响。研究结果表明:

(1)通过野外回渗试验取得可靠的引水回渗入渗系数0.01 m/d,并计算出保证四柏树海则全年有水的引水注入量确定为20万m<sup>3</sup>/a。

(2)建立地下水数值模型后,预结果表明,模型区地下水位整体趋势没有发生太大的变化,北部风沙滩地区地下水位略有所升高;四柏树海则水位升幅大于1 m,北部风沙滩地区水位升幅为0.4~0.6 m。

(3)对其他25个与四柏树海则类似的海则而言,使地下水采补平衡良性方向发展,实现绿洲生态的恢复和人居环境的改善,引水回渗无疑是整个地区环境生态效应的一种有效的改善途径。

致谢:文中部分数据由陕西省地勘局908水文地质工程地质大队提供,在此表示感谢!

参考文献:

- [1] 朱思远,田军仓,李全东. 地下水库的研究现状和发展趋势[J]. 节水灌溉,2008(4):23-27.
- [2] 王伟,马思锦,郭洪钧. 四柏树水源地三维水文地质数值模拟中的参数最优估计[J]. 地下水,2003,25(3):141-146.
- [3] 王伟,马思锦,陈建敏. 四柏树水源地保护区划分研究[J]. 人民黄河,2008,30(3):48-49.