

# 混凝土桩基础在水闸地基处理中 防渗稳定性作用分析

王 宁<sup>1</sup>, 刘邦俊<sup>1</sup>, 张 力<sup>1</sup>, 杨 蕾<sup>1</sup>, 陈晶晶<sup>2</sup>

(1. 南京市水利规划设计院股份有限公司, 江苏 南京 210022; 2. 江苏省水文水资源勘测局, 江苏 南京 210029)

**摘要:**渗流破坏是影响水闸结构稳定的重要负面因素,目前常用的解决措施是采用混凝土桩基础进行地基处理。为研究混凝土桩基础的防渗作用原理和作用效果,以江苏省南京市秦淮河某水闸作为实例研究工程,借助迈达斯三维模拟计算软件,采用2组特征工况,对比天然地基和灌注桩处理地基下实例工程的渗透规律分布情况。研究结果显示,灌注桩处理措施能有效防渗、减小最大水头分布,同时还能兼顾水闸自身结构稳定。

**关键词:**混凝土桩基础;地基处理;防渗;水头分布

中图分类号:TV61

文献标识码:A

文章编号:1007-7839(2021)04-0020-05

## Analysis of anti-seepage stability effect of concrete pile foundation in sluice foundation treatment

WANG Ning<sup>1</sup>, LIU Bangjun<sup>1</sup>, ZHANG Li<sup>1</sup>, YANG Lei<sup>1</sup>, CHEN Jingjing<sup>2</sup>

(1. *Nanjing Water Planning and Designing Institute Co., Ltd., Nanjing 210022, China;*

*2. Jiangsu Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Nanjing 210029, China)*

**Abstract:** Seepage failure is an important negative factor affecting the stability of sluice structure. At present, the common solution is to use concrete pile foundation for foundation treatment. In order to study the anti-seepage principle and effect of concrete pile foundation, a sluice of Qinhuai River in Nanjing, Jiangsu province was taken as an example. With the help of Midas three-dimensional simulation software, two groups of characteristic working conditions were used to compare the seepage law distribution of practical engineering under natural foundation and cast-in-place pile treatment foundation. The research results showed that the treatment measures of cast-in-place piles could effectively prevent seepage, reduce the maximum water head distribution, and also take the structural stability of the sluice into account.

**Key words:** concrete pile foundation; foundation treatment; anti-seepage effect; water head distribution

渗流是指水流在土体孔隙内流动,当水流压力较大且流动水流达到一定规模会产生渗流破坏;常见的情况有管涌、流土、接触冲刷等等<sup>[1-3]</sup>。如果水闸建筑物地基产生渗漏,若有效水流量较大,会导致出现较大的渗流力而产生渗透破坏,从而影响整个水闸稳定。

混凝土桩基础抗渗性能好、施工简单、承载力强,造价较低,是目前复杂地基条件下水闸建设常用的地基处理方式之一<sup>[4-6]</sup>。

为研究混凝土桩基础的抗渗作用原理和作用效果,同时为实例工程—江苏省南京市秦淮河某水闸的抗渗性能提供参考,本文借助 midas GTS 软件

收稿日期:2020-09-08

作者简介:王宁(1990—),男,工程师,硕士,主要从事水利工程及市政工程设计工作。E-mail:626816756@qq.com

进行建模计算分析。

## 1 实例工程概况及基本条件

### 1.1 水闸概况

本文选择江苏省南京市秦淮河某水闸作为实例研究工程。该水闸位于三汊河口处,距离上游新三汊河大桥 550 m;水闸闸门结构型式为弧形钢闸门;闸室尺寸为:长 37.0 m(顺水流方向);总宽 97.0 m;分 2 孔跨秦淮河。

### 1.2 地质条件

工程区域地层为第四系全新统人工堆积层(Q4ml)填筑土、杂填土、素填土。

### 1.3 特征水位条件

根据《秦淮河水文监测分析报告》,工程处特征水位(国家 85 高程,下同)如下:

最高蓄水位:7.00 m;正常蓄水位:6.50 m;最低蓄水位:5.50 m。

### 1.4 结构断面

实例工程两侧闸门呈对称分布,基础底下设置 4 排灌注桩,桩长 54 m;外包桩距外部边界为 2.25 m;深齿墙厚 6 m。实例工程剖面结构见图 1。

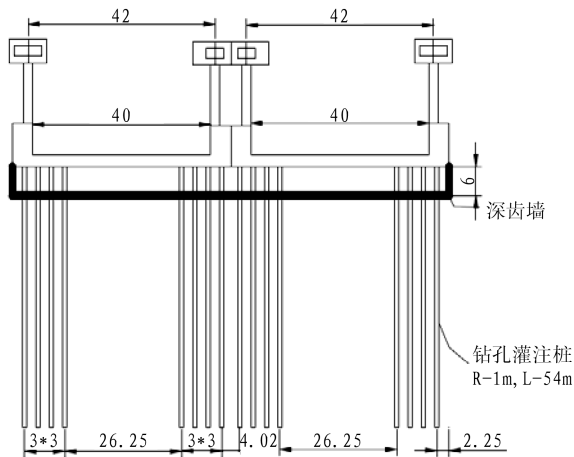


图 1 实例工程剖面结构图(单位:m)

## 2 三维有限元模型建立及工况

### 2.1 三维有限元模型建立

借助 Midas GTS 进行建模分析,采用稳定性最好的六边形<sup>[7]</sup>进行网格划分,网格间距设为 3 m,局部区域(尤其是混凝土桩基部分)进行加密处理。其中,对于弧形的闸门,由于边界为弧形,采用三角网格进行划分。

整体模型共 274 262 个网格节点和 11 892 个网格。水闸模型建立及网格划分结果见图 2。

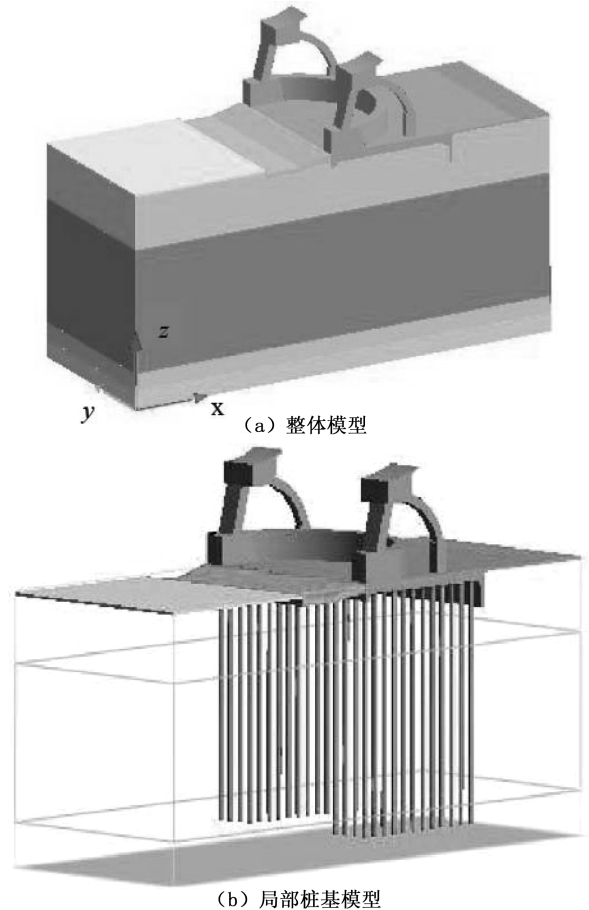


图 2 水闸模型建立及网格划分

### 2.2 计算工况

结合以往研究经验,本文选择最低蓄水位和最高蓄水位 2 个模型进行建模分析。其中最低蓄水位上、下游水位分别为 5.5 m 和 0 m;最高蓄水位上、下游水位分别为 7.0 m 和 3.5 m;分别记为工况一和工况二。

## 3 渗流计算结果

### 3.1 天然地基工况

#### 3.1.1 工况一

在未对闸基础进行处理(天然地基)情况下,最低蓄水位工况(工况一)计算结果见图 3,由图 3 分析可知:

(1)在工况一下,上、下游水位分别为 5.5 m 和 0.0 m;上下游总水头差达到 5.5 m;经总水头等值线云图(图 3(a))可详细查看,在齿墙处和闸底板处,水头分别为 3.30 m 和 1.85 m;即这两处位置与下游的水头差也分别变为 3.30 m 和 1.85 m。

(2)根据水平渗透坡降等值线云图(图 3(c)),最大值和最小值分别为 0.14 和 0.00;在三个典型区域(进水口、齿墙、出水口)的水平渗透坡降均远

大于其他区域。出现这一现象的原因是因为进、出水口水头差大,因此在齿墙位置只能向下方渗透;渗透至墙底时在水平方向没有阻挡,因此路径由竖直改为水平,渗透路径变形。

(3)根据孔隙水压等值线云图(图3(b));分析可知分布范围为 $33.57 \sim -594.8 \text{ kN/m}^2$ 。

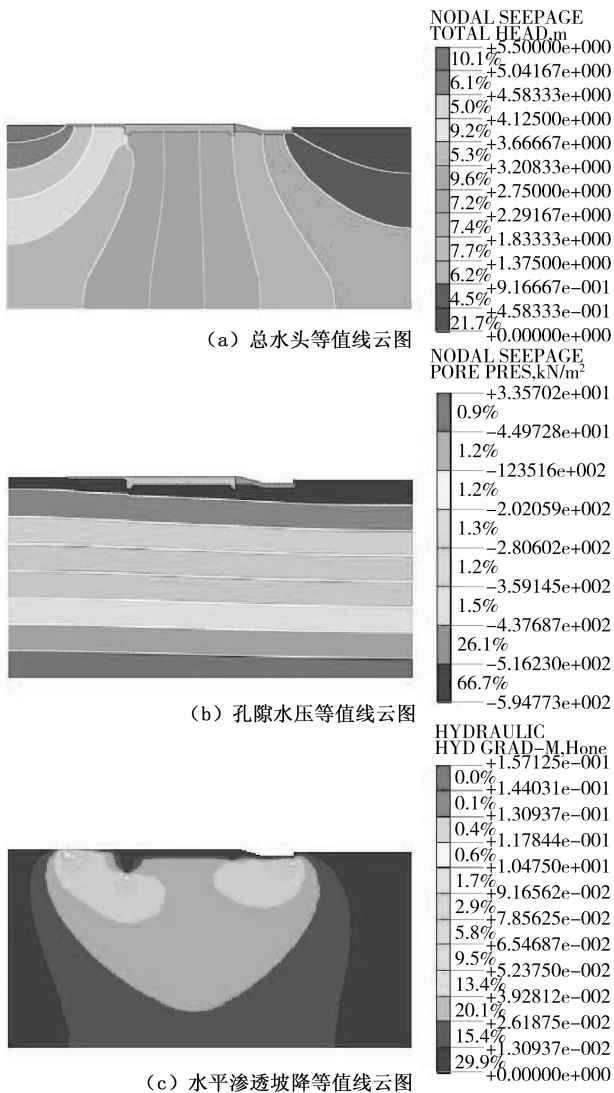


图3 天然地基下工况一

### 3.1.2 工况二

在未对闸基础进行处理(天然地基)情况下,最高蓄水位工况(工况二)计算结果见图4,实例工程基础渗流路径模拟示意图见图5。由图4分析可知:

(1)在工况二下,上、下游水位分别为 $7.0 \text{ m}$ 和 $3.5 \text{ m}$ ;上下游总水头差减小为 $3.5 \text{ m}$ ;经总水头等值线云图(图4(a))可详细查看,在齿墙处和闸底板处,水头分别为 $5.50 \text{ m}$ 和 $5.02 \text{ m}$ ;即这两处位置与下游的水头差分别变为 $2.00 \text{ m}$ 和 $1.52 \text{ m}$ ;比工况一略有下降。

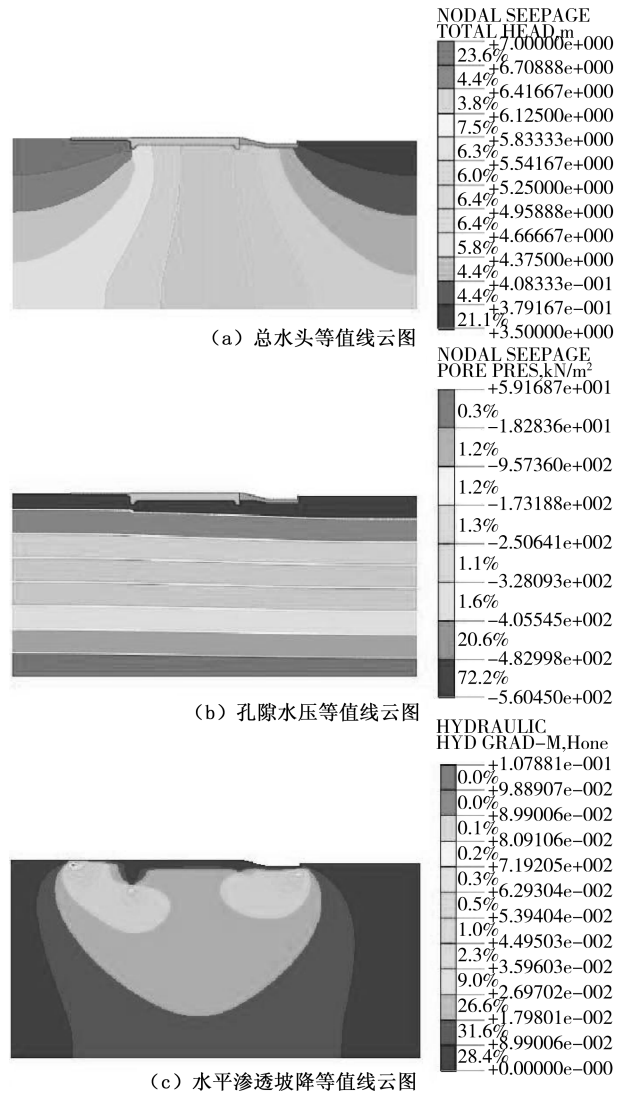


图4 天然地基下工况二

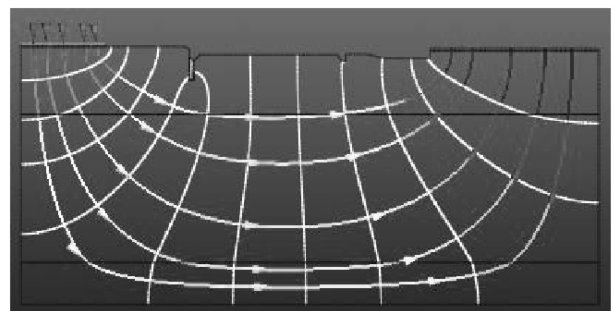


图5 实例工程基础渗流路径模拟示意

(2)根据水平渗透坡降等值线云图(图4(c)),最大值和最小值分别为 $0.108$ 和 $0.00$ ;根据孔隙水压等值线云图(图4(b)),分析可知分布范围为 $59.17 \sim -560.45 \text{ kN/m}^2$ 。

(3)与工况一相比,上下游水位差减小了 $1.50 \text{ m}$ ,渗透坡降减小了 $0.302$ 。

### 3.2 闸基础下各工况

本节分析在设置混凝土桩基础后的渗流分析。

根据实例工程设计文件,共设置 96 根灌注桩;灌注桩分 4 排布设;桩径均为 0.50 m。通过混凝土桩基础来减小实例工程基础底部渗流。

### 3.2.1 工况一

在设置混凝土桩基础情况下,最低蓄水位工况(工况一)计算结果见图 6,对比天然地基计算结果分析可知:

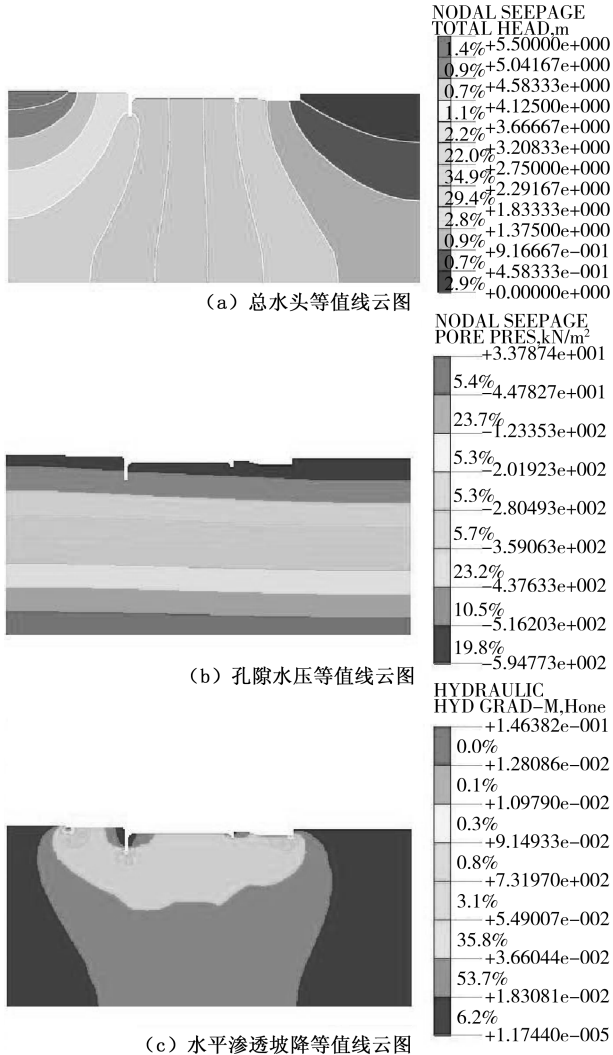


图 6 闸基础下工况一计算结果分析

(1)在工况一下,上下游水头差仍为 5.0 m。在齿墙处和闸底板处,水头分别为 3.19 m 和 1.82 m;在同等水头差情况下,桩位处的水头分布略有下降;较大水头所占比重由天然地基工况下 39.6% 下降至设置混凝土桩基础工况的 3.11%;渗流能量显著下降。

(2)根据水平渗透坡降等值线云图(图 6(c)),最明显的渗透坡降区域仍在进水口、齿墙、出水口这 3 处典型位置。但是水平渗透坡降范围已由天然地基工况下的 0.00~0.14 下降为 0.00~0.125;

且取值为 0 的区域已由天然地基工况下 21.2% 下降至设置混凝土桩基础工况的 39.66%;取值为 0.02 以上的区域由天然地基工况下 48.6% 增大至设置混凝土桩基础工况的 50.2%。

(3)根据孔隙水等值线云图(图 6(b))可知,孔隙水分布范围为 33.57 ~ -594.78 kN/m<sup>2</sup>;这与天然地基工况下 33.79 ~ -594.8 kN/m<sup>2</sup> 基本一致。

### 3.2.2 工况二

在设置混凝土桩基础情况下,最高蓄水位工况(工况二)计算结果见图 7,实例工程灌注桩处理工况下基础渗流路径模拟示意图 8。由图 7 对比天然地基计算结果分析可知:

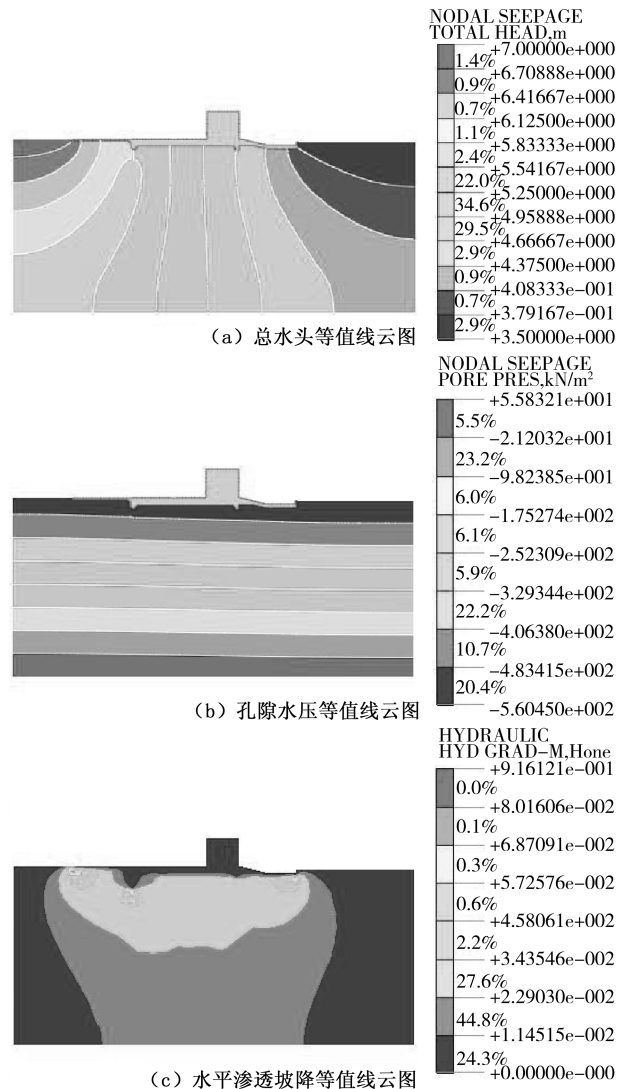


图 7 闸基础地基下工况二计算结果分析

(1)在设置混凝土桩基础工况二下,齿墙底部水头值为 5.54 m;根据云图网格节点数据进一步统计可知,在齿墙以上较大水头所占的比值约 5.17%,远小于天然地基工况下的 41.88%。

(2)根据水平渗透坡降等值线云图(图 7(c))

可知,水平渗透坡降范围进一步下降至 0.00 ~ 0.092;较天然地基工况下的 0.108 有一定幅度下降。

(3)根据(图 7(b))可知,孔隙水分布范围为 55.83 ~ -560.45 kN/m<sup>2</sup>;这与天然地基工况下 59.17 ~ -560.45 kN/m<sup>2</sup>基本一致。

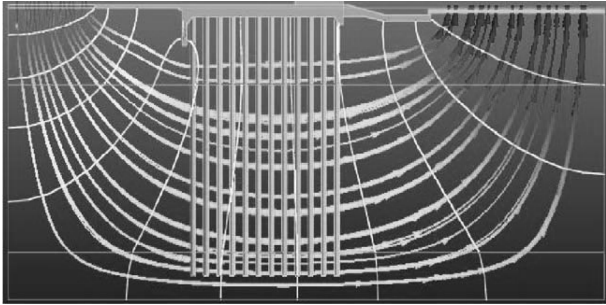


图 8 实例工程灌注桩处理工况下基础渗流路径模拟示意

## 5 结 论

本文以江苏省南京市秦淮河某水闸作为实例研究工程,借助迈达斯三维模拟计算软件,采用 2 组特征工况,对比天然地基和灌注桩处理地基下实例工程的渗透规律分布情况,主要研究成果如下:

(1)在各工况下,渗透坡降与总水头成正比;实例工程最大渗透坡出现在低水位(上下游水头差达到 5.5 m)时;最大渗透坡降达到 0.14。

(2)在设置灌注桩基础以后,水头分布发生了较大变化,水头分布由天然地基状态下均匀分布变成两头分布较小,中间较大的情况。同时,由于灌注桩基础的防渗作用和中间段对渗流的干扰,大幅降低了最大水头的占比。

(3)根据以往实例工程经验<sup>[8-11]</sup>,结合本文数值计算成果可知,在设置灌注桩基础后,可以有效减少蓄水阶段的渗透量;减小渗透压力,有利于实例构筑物结构安全。

## 参考文献:

- [1] 张师帅. 计算流体力学及其应用—CFD 软件的原理与应用[D]. 武汉:武汉华中科技大学出版社, 2001.
- [2] 胡兆球. 水闸结构设计现代计算方法及其应用研究[D]. 南京:河海大学, 2003.
- [3] Zare HK, Doering JC. Effect of rounding edges of stepped spillways on the flow characteristics[J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2012(39):140-153.
- [4] V. U. Minorsky. An analysis of ship collision to protection of nuclear powered plant[J]. J. Ship Research, 1999(1):1-4.
- [5] 殷家驹, 张元冲. 计算力学教程:有限单元法, 边界单元法, 加权残数法[M]. 西安:西安交通大学出版社, 1992.
- [6] 张生财. 新疆某水库溢洪道布置方案比选[J]. 水利规划与设计, 2015(2):83-85.
- [7] MASAYUKI Takahashi, YOUICHI Yasuda, IWAO Ohtsu. Characteristics of aerated in skimming, transition, and napped flows[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2017(9):881-886.
- [8] 王智辉. 水流数值模拟中群桩阻力系数研究[D]. 南京:河海大学, 2015.
- [9] 李玲, 陈永灿, 李永红. 三维 VOF 模型及其在溢洪道水流计算中的应用[J]. 水利发电学报, 2007, 26(2):1209-1218.
- [10] 曹依雯, 黄润秋, 沈水龙, 等. 基桩对含水层渗流阻挡作用效应研究[J]. 岩土力学, 2014(6):1617-1622.
- [11] 李洪江, 刘红军, 王虎, 等. 饱和海床土-渗流应力耦合损伤及液化破坏规律(II)[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2014(12):1480-1486.

(上接第 19 页)

## 参考文献:

- [1] 朱建英, 宋玉. 江苏省淮北地区 2000 年抗旱水源调度[J]. 防汛与抗旱, 2000(4):10-12.
- [2] 陶长生, 宋玉, 陶娜麒. 苏北运河的水源调度探索与实践[J]. 中国防汛抗旱, 2015(2):69-73.
- [3] 刘永, 缴锡云, 程明瀚, 等. 基于 DEM 与 Logistic 函数的灌区渠系工作制度模拟——以周桥灌区为例[J]. 灌溉排水学报, 2020(9):101-107.
- [4] 陈晓燕, 陈振军, 张厚芹, 等. 基于灌溉预报的邢家渡灌区灌溉制度数值模拟研究[J]. 中国水利, 2019(15):45-47.
- [5] 徐烈辉, 牟汉书, 王景才, 等. 基于冠气温差的淮北地区水稻日需水量估算模型研究[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(3):119-125.
- [6] 郭旭宁, 胡铁松, 方洪斌, 等. 水库群联合供水调度规则形式研究进展[J]. 水力发电学报, 2015, 34(1):23-28.