

洪磊,周春天,王晓升,等.城市排水泵站前池压水板的整流效果[J].江苏农业科学,2013,41(5):357-360.

# 城市排水泵站前池压水板的整流效果

洪磊<sup>1</sup>,周春天<sup>1</sup>,王晓升<sup>1</sup>,王笑飞<sup>2</sup>

(1.河海大学水利水电学院,江苏南京 210098; 2.广东省惠州市华禹水利水电工程勘测设计有限公司,广东惠州 516000)

**摘要:**城市排水泵站受地形和面积限制,并易形成漩涡、回流等不良流态。采用物理模型试验和数值模拟相结合的方法,对某城市排水泵站前池水流进行模拟,探讨了前池压水板整流措施对改善前池流态的影响,明确了合理的压水板布置参数。

**关键词:**城市排水泵站;前池;压水板;数值模拟

**中图分类号:** TV675 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)05-0357-03

前池是泵站的进水建筑物,作用是合理衔接引渠和进水池,并为水泵吸水创造良好的水力条件。城市排水泵站由于受地形限制,前池面积一般较小,扩散段较短,扩散角较大,水流进入前池后突然扩散,易形成脱壁、回流和漩涡等不良流态,增加能量损失,致使水泵工作效率降低,甚至会引起水泵的汽蚀和机组振动,危及水泵的运行安全。

前人研究表明,在泵站前池中设置倾斜的压水板,是改善进水流态的有效措施之一<sup>[1-4]</sup>。前池中设置压水板后,由于压水板的下压作用,板后水流分成两部分,一部分底层水流继续扩散,较为均匀地流至吸水口处;另一部分水流向上翻滚,形成紊动扩散状态,这样底层流速加大且均匀流向进水池,改善了水泵进流条件。在前人研究的基础上,针对排水泵站的特点,对压水板水力特性进行研究,提出了较优的布置参数。

## 1 模型建立

### 1.1 工程概况

上海市某城市排水泵站前池进流为正向箱涵式进水,进水池内布置 3 台水泵机组,前池扩散角为 40°,纵向底坡坡度为 0.354,前池总长 13.7 m,该泵站主要特点是底坡较陡,正常运行时前池水位较高,为 5.7 m。前池进水口与水泵吸水口的高程相差较大,水流进入前池后在平面上扩散不足,存在主流居中现象,并且立面上水流主流居上,向下扩散不足。

### 1.2 物理模型

综合考虑水流流态研究需要和实际情况,确定模型线性比尺  $\lambda_L=8$ 。根据泵站布置特点,模型试验采用自循环开敞式整体正态水力模型。模型由供水池、进水箱涵、拦污栅井、前池、进水池、水泵机组、出水管路、回水渠、控制及量测系统组成。泵站水力模型布置见图 1。

泵站前池内水流状态主要受重力作用支配,故模型采用佛汝德相似准则设计。试验中流量由量水堰进行量测,水位由测压管量测,流速采用多普勒三维剖面点式流速仪(ADV)量测,选取前池末端断面为典型过流断面进行水流流速分布

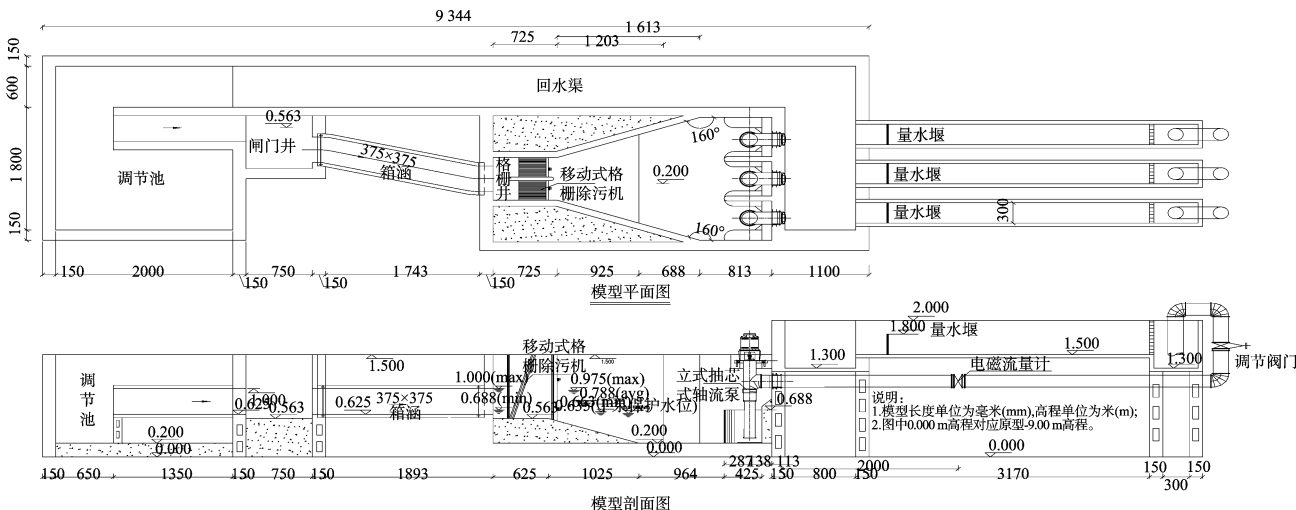


图1 泵站水力模型布置

的量测。典型过流断面流速分布量测点布置见图 2。

### 1.3 数学模型

**模型选择:**城市排水泵站前池的流动属于复杂的三维紊流运动,是不可压流动,本研究采用雷诺平均方程和 RNG  $k-\varepsilon$  湍流模型方程对其进行模拟。控制方程为<sup>[5]</sup>:

收稿日期:2013-03-03

基金项目:国家自然科学基金(编号:51009051)。

作者简介:洪磊(1987—),男,河南信阳人,硕士研究生,研究方向为泵站工程。E-mail: honglei200660809@163.com。

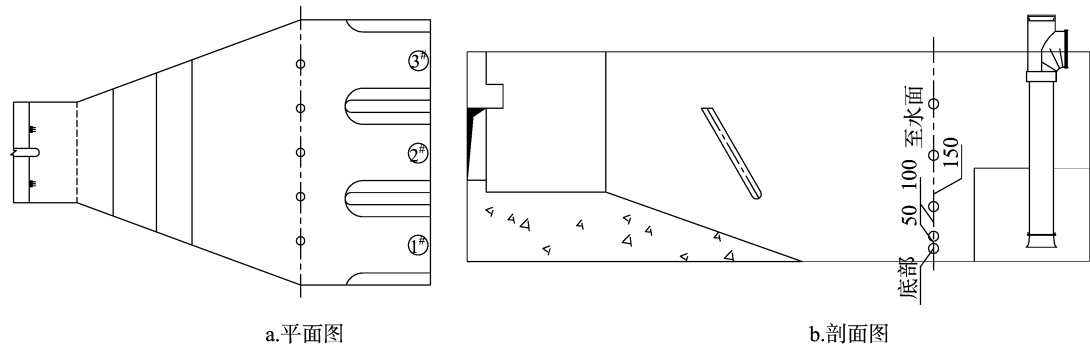


图2 前池典型断面流速测点布置

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \alpha_i \mu_{\text{eff}} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + \rho \varepsilon \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \alpha_j \mu_{\text{eff}} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{C_{1\varepsilon}^*}{k} G_i - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (2)$$

式中： $G_k$ 为湍动能  $k$  的产生项； $C_{1\varepsilon}^*$ 、 $C_{2\varepsilon}^*$ 为经验常数； $k$ 为湍动能； $\varepsilon$ 为耗散率； $\mu_{\text{eff}} = \mu + \mu_t$ ； $\alpha_k = \alpha_\varepsilon = 1.39$ 。

进口边界采用速度入口条件，出口边界采用自由出流边界条件，自由液面采用刚盖假定法进行处理，壁面函数法进行近壁面处理，求解采用非结构化网格划分计算区域，用有限体积法将控制方程离散化，扩散项采用二阶中心差分离散，对流项采用二阶迎风差分离散，采用压强速度耦合算法进行计算，选用 SIMPLEC 算法。

2 压水板整流措施研究

2.1 数值计算成果分析

前池加设压水板通常需确定压水板设置位置、板下悬空高度及压水板的倾斜角度等 3 个参数。压水板布置见图 3。

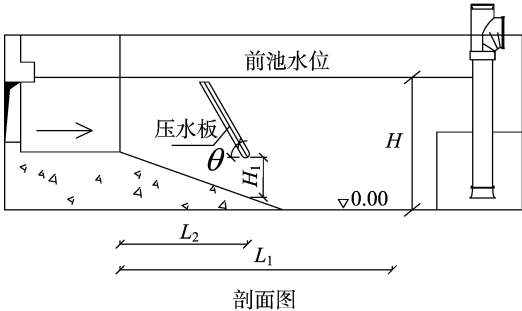


图3 泵站前池压水板

由压水板的作用原理可知，压水板改善前池流态的作用是通过导流、下压调流实现的。压水板倾斜角度  $\theta$  越大，导流作用越弱，虽能改善底层流速分布，但增加了水头损失。压水板倾斜角度  $\theta$  越小，导流作用越强，下压调流作用减弱。由于受结构布置影响，在压水板布置位置  $L_2$  引用前人研究成果，经试验比较确定不变，针对不同压水板倾斜角度和板下缘悬空高度 2 个参数进行了计算分析和试验比较。设置位置与前池长度之比为 0.467，前池水深为 5.7 m。计算工况选取见表 1。

通过数值模拟计算，可得到各工况前池末断面的垂向及横向流速分布，由此计算各断面的垂向主流相对高度和横向流速分布不均匀系数。垂向流速分布采用垂向流速分布图为计算依据，求得主流位置  $h$ ，即流速分布图形心距离前池底部

表 1 计算工况

工况	板下缘悬空高度与前池水深之比 ( $H_1/H$ )	倾斜角度 $\theta(^{\circ})$	垂向主流相对高度 $k_1$	横向流速分布不均匀系数 $k_2$
1	0.175	60	0.363	0.174
2	0.263	60	0.345	0.141
3	0.351	60	0.334	0.129
4	0.439	60	0.335	0.240
5	0.526	60	0.338	0.585
6	0.351	30	0.332	0.234
7	0.351	45	0.333	0.166
8	0.351	90	0.338	0.135

高度，表达式为：

$$h = \sum (v_i \times h_i \times \Delta h) / (\bar{v} \times H)$$

再以  $h$  与前池水深  $H$  之比得到垂向主流相对高度  $k_1$ ， $k_1$  值并非越小越好，只有当主流位置高度接近泵进口悬空高度时，才是最佳主流位置。

横向流速分布不均匀系数可直接采用断面流速计算，不均匀系数越小说明均化效果越好，表达式为：

$$k_2 = (V_{\text{max}} - V_{\text{min}}) / \bar{V}$$

以此判断前池末断面的均匀程度，将工况 1~5 中各个不均匀系数拟合，得到悬空高度与垂面、平面的流速分布不均匀系数变化规律(图 4)。

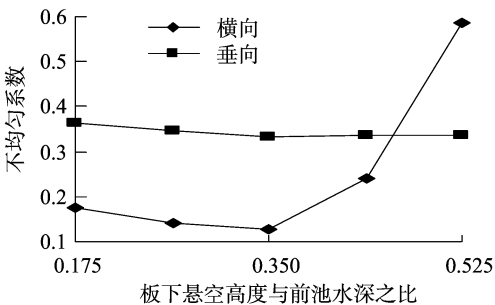


图4 板下缘悬空高度与前池水深比对不均匀系数的影响

将工况 3 及工况 6~8 中各个不均匀系数拟合，得到压水板不同倾斜角度时的垂面及平面流速分布不均匀系数变化规律(图 5)。

由图 5 结果表明，在压水板同一倾斜角度，板下悬空高度与前池水深之比为 0.351 时，垂向及横向流速分布不均匀系数均最小，垂向上能改变流速上大小小的状态，同时均化了平面流速，表明在该工况下整流效果最佳。

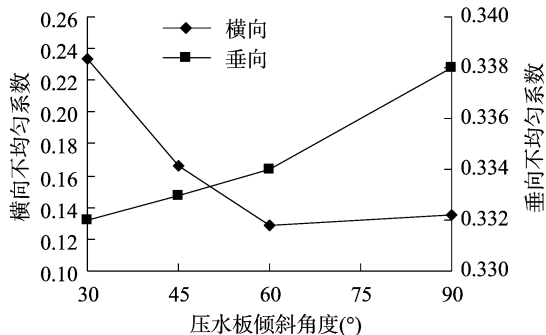


图5 压水板倾斜角度对不均匀系数的影响

由工况3、6~8可知,在压水板下缘悬空高度与前池水深之比不变,压水板倾斜角度为60°时,前池末断面横向流速不均匀系数最小。当压水板倾斜角度为30°时,虽然垂向流速分布不均匀系数最小,但由于倾斜角度过小导致表层流速仍然较大,底层流速变化不大,未能达到良好均化效果。综合分析,在板下悬空高度与前池水深之比为0.351、倾斜角度60°时,前池末断面均化效果最优。

在水泵正常运行情况下,压水板倾斜角度 $\theta$ 为60°、板下悬空高度与前池水深之比为0.351、压水板位置设置与前池长度之比为0.467时,整流效果最好。该工况下沿池长取一纵剖面,观察前池进水流线图,结果如图6所示。在压水板的作用下,前池流态得到明显改善,既均匀增大了底部流速,减

小了表层流速,立面旋滚仅限制在压水板后局部区域,不影响进水池流态,为水泵吸水创造良好的进水条件,该工况整流效果最优,为压水板最佳布置方案。

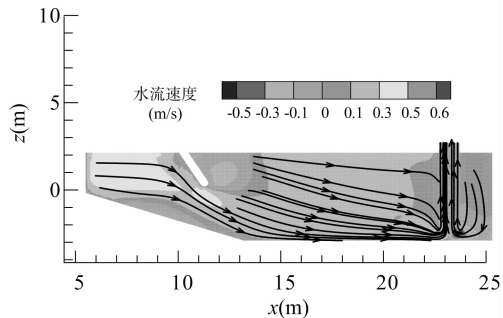
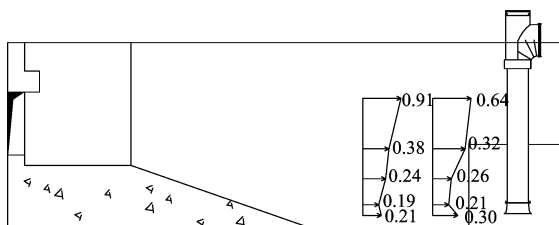


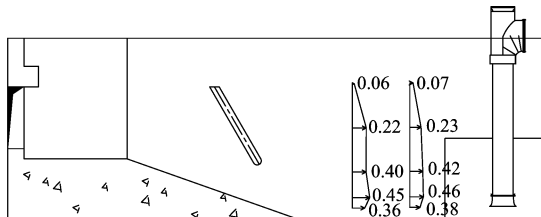
图6 加设压水板前池流速分布(中剖面)

## 2.2 物理模型试验比较

由物理模型试验可知,未加压水板整流前,由于进水箱位置较高,前池底坡较陡,使得水流未充分均匀便进入进水池,试验结果表明,进水池表层流速偏大,底层偏小,大小不均,水泵进水条件不佳。经压水板整流后,前池底部流速分布基本均匀,表面流速减小,无回流。由不均匀系数计算式可得,在该压水板布置参数下不均匀系数最小。增设压水板前、后泵站前池水流立面及平面流速分布见图7、图8。

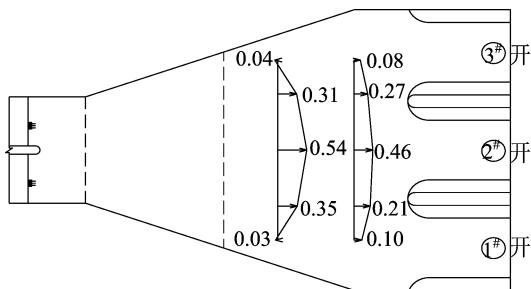


a.增设压水板前

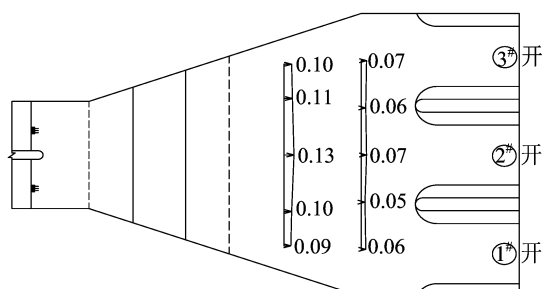


b.增设压水板后

图7 泵站前池流速分布中剖面(m/s)



a.增设压水板前



b.增设压水板后

图8 泵站前池流速分布平面(表面, m/s)

## 2.3 数值计算结果的试验验证

为验证数值模拟计算的准确性,在数值计算的基础上,进行了物理模型试验的流速对比量测,分析数值计算的偏差。将增设压水板措施之后的前池末典型过流断面顺水流方向的计算值与试验实测值对比见图9,分析数值模拟结果的准确性。

从图9可以看出,各测点数值模拟流速值与试验实测流

速值规律基本一致,流速大小基本相当,表明采用数值计算手段研究前池压水板整流效果可行。

## 3 结论

泵站前池压水板整流效果主要与压水板位置、板下悬空高度、倾斜角度有关。数值模拟研究表明,前池压水板具有良好的整流效果,能有效改变流速垂向分布,使得前池末断面

黄继宏, 王晓升, 张晓毅. 城市排水泵站前池导流墩整流措施的数值模拟[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(5): 360-362.

# 城市排水泵站前池导流墩整流措施的数值模拟

黄继宏<sup>1</sup>, 王晓升<sup>1</sup>, 张晓毅<sup>2</sup>

(1. 河海大学水利水电学院, 江苏南京 210098; 2. 山东省烟台市胶东地区引黄调水工程建设管理局, 山东烟台 264003)

**摘要:** 城市排水泵站前池扩散角过大会在前池中形成边侧回流, 影响水泵进流条件, 增设导流墩整流措施可以显著改善泵站前池平面水流流态, 应用标准  $k-\varepsilon$  湍流模型建立三维前池计算模型, 并用 SIMPLIC 算法求解。选取不同的导流墩参数对泵站前池进行数值模拟, 分析导流墩对泵站前池水流流态的影响因素, 明确了优化导流墩布置的相关参数。

**关键词:** 泵站前池; 数值模拟; 导流墩

**中图分类号:** TV675 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)05-0360-03

城市排水泵站由于受用地条件的限制, 一般占地面积较小, 建筑物尺寸不足, 前池难以完全遵循常规设计规范的要求, 因而城市排水泵站前池难以平顺地扩散前池水流, 使得前池水流不能均匀地进入进水池, 易产生水流偏折、回流、漩涡等不良现象, 影响水泵的工作性能。导流墩作为泵站前池常用的整流措施, 在泵站前池中已经得到了广泛的研究及应用<sup>[1-3]</sup>, 取得了显著的效果。针对城市泵站的特点, 采用数值模拟方法对典型的正向箱涵式进水前池导流墩整流措施进行研究, 分析导流墩各参数对改善泵站前池水流流态的影响, 提出了适宜改善此类泵站前池水流条件的导流墩参数<sup>[4-6]</sup>。

## 1 数学模型和计算方法

上海市某排水泵站设有 3 台立式轴流机组, 前池进流为正向矩形箱涵式进水, 扩散角为  $40^\circ$ , 纵向底坡坡度为 0.354, 长 11.26 m; 3 台水泵分别布置于前池后进水池中, 各进水池由隔墩分开, 泵站前池布置如图 1 所示。根据泵站前池体型

建立三维湍流数学模型。

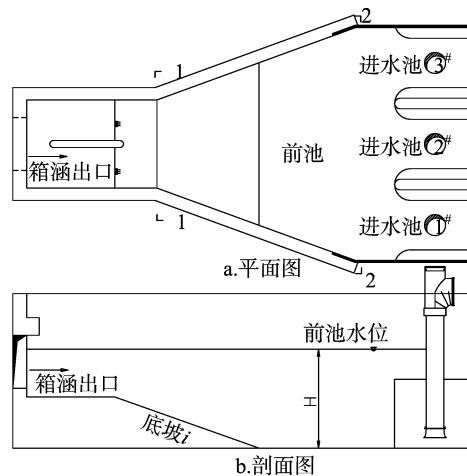


图1 泵站整体布置

### 1.1 控制方程

泵站前池流态处于复杂的紊流状态, 雷诺数通常大于  $10^4$ , 为不可压流动。应用雷诺时均方程和标准  $k-\varepsilon$  紊流模型方程, 可得到在定常直角坐标下不可压水流的控制方程<sup>[4-5]</sup>。

连续性方程:

泵站, 前池压水板的倾角在  $60^\circ$  左右较优, 板下缘悬空高度与前池水深之比在 0.351 左右较优。

### 参考文献:

- [1] 李百齐, 张有敬, 王天奎, 等. 压水板/导流墩组合导流装置的开发及其在上海污水治理二期工程 SB 泵站前池中的应用研究[J]. 船舶力学, 2002(4): 22-26.
- [2] 何 耘, 刘 成. 污水泵站前池设置压水板的改进措施研究[J]. 水泵技术, 2000(2): 21-24.
- [3] 刘 成, 何 耘, 韦鹤平. 污水泵站前池流态改进措施的试验研究[J]. 给排水, 1997(23): 15-18.
- [4] 于永海, 徐 辉, 程永光. 泵站前池导流板整流措施数值模拟研究[J]. 水利水电技术, 2006(9): 41-43.
- [5] 金忠青. N-S 方程的数值解和紊流模型[M]. 南京: 河海大学出版社, 1989: 193-206.

收稿日期: 2013-03-03

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 51009051)。

作者简介: 黄继宏(1986—), 男, 甘肃通渭人, 硕士研究生, 主要从事泵站工程研究。E-mail: huangjh2006@163.com。

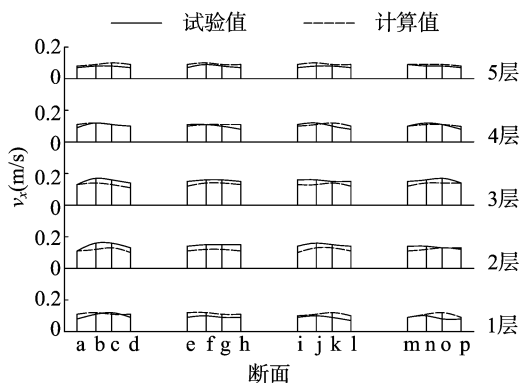


图9 前池末端典型断面数值模拟流速值与试验实测流速值

流速呈上小下大的合理分布; 同时能均化平面流速分布, 改善了水泵的进流条件。对于进水口偏高、底坡较陡的城市排水