

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¹, 王晓升¹, 张晓毅²

(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 SIMPLEC 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^[1-3], 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^[4-6]。

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° , 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。

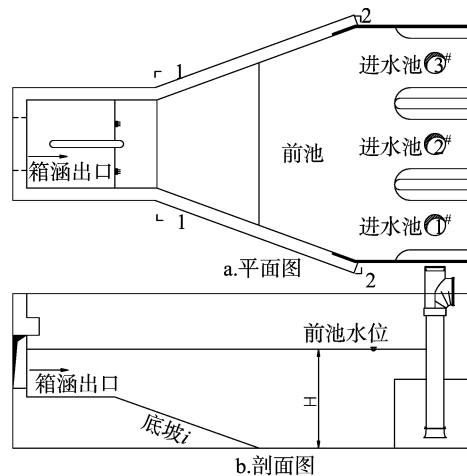


图1 泵站整体布置

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^[4-5]。

连续性方程:

泵站, 前池压水板的倾角在 60° 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。

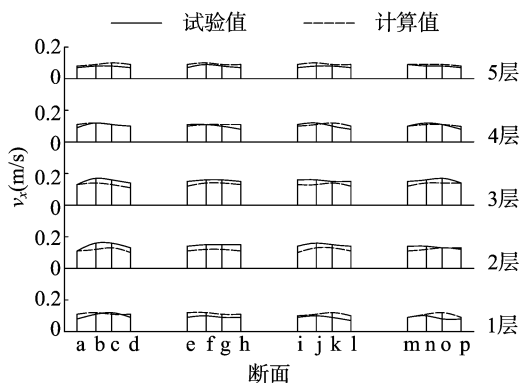


图9 前池末端典型断面数值模拟流速值与试验实测流速值

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

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = -0 \quad (1)$$

动量方程:

$$u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = g_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[(v + v_i) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2)$$

紊动能方程:

$$u_i \frac{\partial k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(v + \frac{v_i}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + v_i \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \varepsilon \quad (3)$$

式中: x_i ($i=1,2,3$) 为笛卡尔坐标系坐标; u_i 为速度矢量 u 在 i 方向的分量; g_i 为沿 i 方向的质量力; ρ 为流体微元体上的压力; v 为水的运动黏度系数; k 为水流紊动能; ε 为水流紊动能耗散率; v_i 为涡黏性系数。

1.2 边界条件

进口边界采用速度入口条件,即给出进口速度、湍动能和耗散率;出口边界采用自由出流边界条件,即各变量在流动方向上的梯度为0;黏性底层采用标准壁面函数法处理;自由水面采用刚盖假定。

1.3 计算方法

用有限体积法对控制方程离散,将压力、湍动能、湍动能耗散率布置于控制体中心,速度矢量布置于控制体表面。采用压强速度耦合算法进行计算,选用 SIMPLEC 算法求解方程。

2 结果与分析

2.1 评价指标

2.1.1 前池两断面水力损失 h_w 通过三维数值模拟,可得计算区域内的压力分布和三维流速分布等,以前池2个断面的水力损失 h_w 最小为前池水力优化目标,建立如图1所示的前池开始扩散前0.5 m处断面(1—1断面)与前池扩散结束后0.5 m处断面(2—2断面)之间的水力损失 h_w 为评价指标^[6]。

$$h_w = E_2 - E_1 = \left(\frac{\overline{p_2}}{\rho g} - \frac{\overline{p_1}}{\rho g} + Z_2 - Z_1 \right) + \left(\frac{\overline{v_2^2}}{2g} - \frac{\overline{v_1^2}}{2g} \right) \quad (4)$$

式中: h_w 为水头损失; E_1 、 E_2 分别为过水断面1—1和2—2处的总能量; $\overline{p_1}$ 、 $\overline{p_2}$ 分别为过水断面1—1和2—2处的平均动水压强; Z_1 、 Z_2 分别为过水断面1—1和2—2的形心点距基准面的高度; $\overline{v_1}$ 、 $\overline{v_2}$ 分别为过水断面1—1和2—2处的断面平均流速。

2.1.2 流速分布不均匀系数 N 进水池流态直接影响水泵的工作性能,进水池进口流速越均匀对水泵的高效运行越有利。取前池扩散结束断面为进水池进口典型断面,并以此断面的流速分布不均匀系数 N 作为评价多孔口配水系统不同布置形式前池流态优劣的一个指标,流速分布不均匀系数采用下式计算:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n |v_{xi} - \overline{v_x}|}{n \overline{v_x}} \quad (5)$$

式中: N 为进水池进口典型断面轴向流速分布不均匀系数; v_{xi} 为进水池进口典型断面第 i 个网格单元的轴向流速; $\overline{v_x}$ 为进水池进口典型断面平均轴向流速; n 为进水池进口典型断面上的网格数。

2.2 无整流措施前池流态分析

前池在无整流措施下的平面流速云图分布如图2所示。由数值模拟结果可知,从箱涵进水后,主流相对集中于前池中部,两侧流速较小,在前池出现了明显的主流脱壁现象,导致前池末端边壁区域出现明显的回流区,回流区范围较大,蔓延至进水池内,导致中间进水池进口流速较大,两侧流速较小,边机组进水不充分,前池两断面的水力损失为0.028 m,进水池进口典型断面流速分布不均匀系数为0.368,不均匀系数较大,使得泵机组进流分布严重不均,导致泵的工作效率下降,严重时可能引起泵机组的振动。

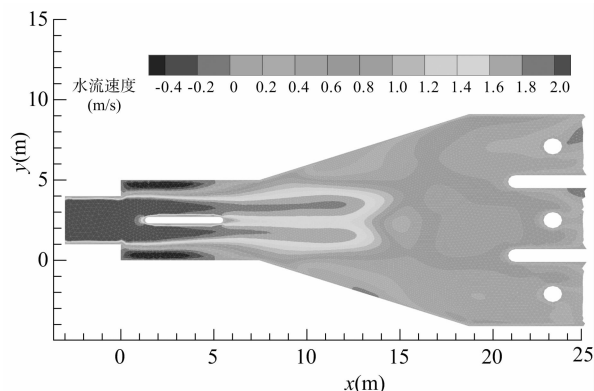


图2 无整流措施时的前池平面流速云图

2.3 加设八字形导流墩整流效果

导流墩是泵站前池调整流态的一种常用工程措施,原理是通过不同角度导流墩的导流作用,对箱涵进流进行分割,并强迫其转向,减小前池平面扩散角,在平面上均化水流,消除脱壁回流、偏流等不良流态。导流墩的设置和水力条件密切相关,头部位置的设置对前池来流的横向分配相当敏感,导流墩的长度能够抑制螺旋流和回流在墩后的扩散,导流墩的位置、角度以及长度根据不同的水流条件采用不同的布置方式。

八字形导流墩布置的主要参数有导流墩的墩头布置 L_1 、 L_2 (L_1 两墩头间距、 L_2 前池进口宽度, $L_2 = 5.0$ m)、导流墩的长度 l 和八字形导流墩之间的夹角 α 等,如图3所示。导流墩起始位置布置于前池进口处,采用对称布置,经过对前人研

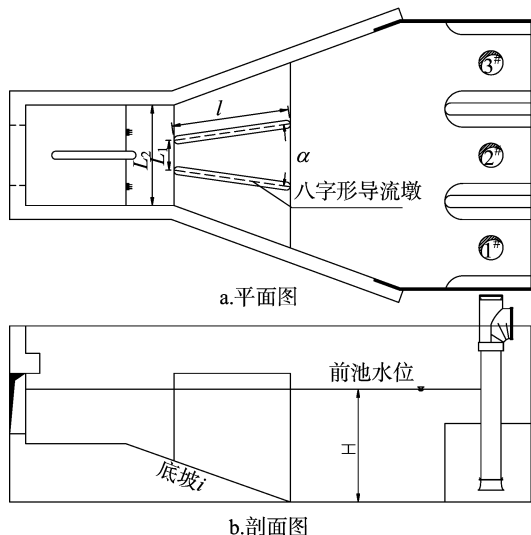


图3 八字形导流墩布置

究成果及工程实例分析,确定八字形导流墩墩头间距与前池进口宽度之比为 0.24,则 $L_1 = 1.2\text{ m}$ 。选定不同的导流墩夹角 α ,导流墩长度 l 组合,对泵站前池作数值模拟计算,并分别求得进水池进口典型断面的流速分布不均匀系数 N 和各组合下前池两断面的水头损失 h_w ,结果如表 1 所示,并绘制出导流墩长度与前池长度之比 k 、导流墩夹角与前池扩散角之比 k' 与进水池进口典型断面流速分布不均匀系数 N 之间的曲线图(图 4)。

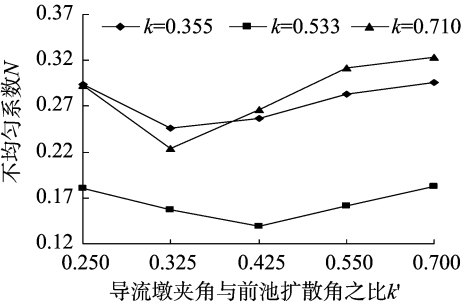


图4 进水池进口典型断面流速分布不均匀系数

分析结果表明在不同的导流墩长度和不同的导流墩夹角下,进水池进口典型断面流速分布不均匀系数变化显著,主要的趋势是当导流墩长度与前池长度之比为 0.355 和 0.710 时,典型断面流速分布不均匀系数均较大;当导流墩长度与前池长度之比为 0.355 时,导流墩长度相对较短,当水流经过导流墩作用后流经典型断面时,由于墩后至典型断面距离较大,流速不能得到良好的均化,因此作用不足;当导流墩长度与前池长度之比为 0.710 时,导流墩长度有所增加,但整流效果亦不佳,主要是导流墩长度过长,墩后调整间距过小,水流在导流墩的作用下,流经典型断面时流速分布仍不能得到良好的均化。当导流墩长度与前池长度之比为 0.533,导流墩夹角与前池扩散角比为 0.425 时,进水池进口典型断面流速分布不均匀系数最小,较未增设导流墩时减小 50% 以上,前池两断面之间的水力损失最小,表明此时前池水流流态得到最大优化。观察该组的前池平面流速云图分布如图 5 所示,与不加任何导流墩措施相比,前池主流集中现象基本消除,在前池扩散结束断面流速基本能均匀分布,流线平顺,前池侧墙处回流区消失,3 个进水池前端流速分布均匀,边机组进水条件得到了明显改善,泵机组进流分布明显得到改善,泵的运行效率提高。

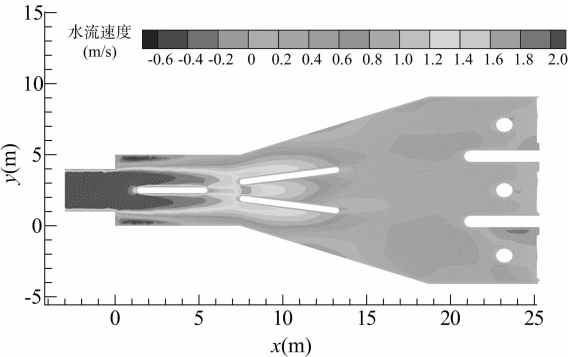


图5 加导流墩后前池平面流速云图

表 1 导流墩各参数对前池水力特性影响计算结果

组别	导流墩长度 l (m)	导流墩长度与前池长度之比 ($k=l/L$)	导流墩夹角与前池扩散角之比 ($k'=\alpha/\theta$)	流速分布不均匀系数 N	前池两断面水力损失 h_w (m)
1	4	0.355	10	0.294	0.051
2	6	0.533	10	0.181	0.042
3	8	0.710	10	0.292	0.039
4	4	0.355	17	0.257	0.048
5	6	0.533	17	0.140	0.036
6	8	0.710	17	0.266	0.038
7	4	0.355	13	0.246	0.049
8	6	0.533	13	0.157	0.045
9	8	0.710	13	0.224	0.039
10	4	0.355	22	0.283	0.039
11	6	0.533	22	0.162	0.040
12	8	0.710	22	0.296	0.043
13	4	0.355	28	0.238	0.046
14	6	0.533	28	0.182	0.048
15	8	0.710	28	0.323	0.051

3 结论

(1)采取导流墩整流后,水流在平面上基本消除了主流集中和回流区等不良水力现象,进水池横断面流速分布趋于均匀,边机组与中间机组水泵进流条件差异明显减小。(2)泵站前池导流墩整流效果主要与导流墩布置位置、导流墩长度和导流墩之间夹角有关,导流墩夹角与扩散角之比取 0.425 左右为宜;导流墩长度 l 与前池纵向长度 L 之比取 0.533 左右为宜。(3)针对前池设置八字形导流墩整流效果的定性分析对改善泵站的进水条件具有借鉴及指导作用,并对泵站前池的设计或改造都具有重要的现实意义。(4)针对泵站前池设置导流墩的参数做了详细的分析,但八字形导流墩墩头的布置对前池流态的影响比较敏感,相关问题还有待进一步研究。

参考文献:

[1]冯建刚,李 杰. 大型城市水源泵站前池流态及改善措施试验[J]. 水利水电科技进展,2010,30(2):70-74.
[2]冯建刚,王晓升,佟宏伟,等. 大型城市供水泵站前池流态改善措施研究[J]. 给水排水,2010,12(36):51-54.
[3]周龙才. 泵站前池隔墩整流的数值分析[J]. 长江科学院院报,2010,27(2):31-33.
[4]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.
[5]Launder B E, Spalding D B. The numerical computation of turbulent flows[J]. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 1974,7(3):269-289.
[6]徐存东,杨 柯,肖 璐,等. 竖向进水管布置对泵站进水流态的影响模拟[J]. 排灌机械工程学报,2012,30(1):40-45.