

DOI:10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20221422

太湖庄园闸站前池流态分析及改善措施

叶 帅

(无锡市政设计研究院有限公司, 江苏 无锡 214072)

摘要: 为探究常州市太湖庄园闸站在引水工况时前池存在流态问题的起因,并找到相应的解决办法,通过三维紊流数值模拟方法模拟闸站原型及增设导流墩后的进水流态,分析各情况下进水断面流速均匀度和加权平均角可知,前池流态问题主要是因其扩散角偏大所致,在前池增设单根导流墩越长,整流效果越好,组合式导流墩相比于单根导流墩,更能削弱回流区,改善进水流态。研究结果可为工程实践提供参考。

关键词: 前池; 大扩散角; 流态; 导流墩; 数值模拟

中图分类号: TV135

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)09-0194-03

1 引言

常州市太湖庄园闸站由单孔 4.0 m 节制闸和 4.0 m³/s 泵站组成,受地形影响,前池长仅 9.0 m,净宽从 4.0 m 扩散至 11.6 m,严重抑制了前池水流扩散,导致引水工况时前池流态较差。对此,参照现有研究成果,提出相应整流措施,并通过数值模拟的方法,分析各整流措施对前池水力特性的影响,最终得到改善本泵站前池流态的最优方案。研究结果可直接应用于工程实践,对提高泵站工作效率,节约运营成本有积极意义。

2 模型与方法

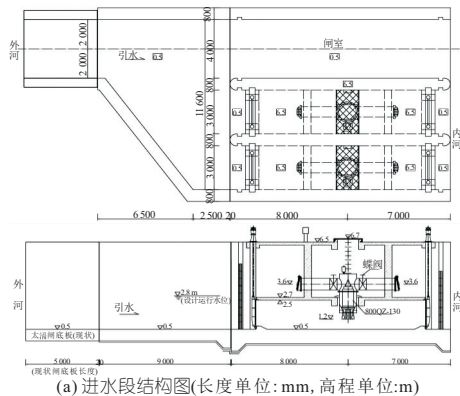
2.1 控制方程及湍流模型

数值计算时认为泵站的前池和进水池水流为三维不可压缩、无能量交换的粘性湍流。综合考虑现有水流流态研究的相关理论及方法,并对比其优缺点、适用范围、依据等,确定本次研究的基本控制方程为连续性方程与动量守恒方程;离散方法为有限体积法;数值模拟采用 Reynolds 平均法,湍流模型采用 Standard κ - ϵ 模型^[1],计算精度为 10^{-5} ^[2]。

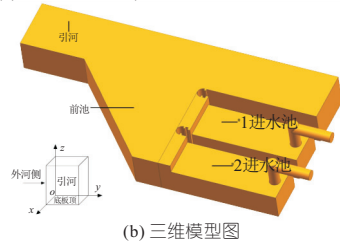
2.2 计算区域及几何建模

运用 UG 软件对工程案例进行三维实体建模。模型各组成部分按来流方向依次为引水渠、前池、进水池。泵站流量为 4 m³/s,安装 800QZ-

130 型泵 2 台套。前池与进水池底板顶高程均为 0.50 m,设计运行水位为 2.80 m。前池长度为 9.0 m,净宽度从 4.0 m 扩散至 11.6 m。站身分 3 孔,两侧布置,闸室净宽 4.0 m,中心线与引渠中心线重合;泵室每孔净宽 3.0 m,共两孔,流道采用 ZSP 双向止水铸铁闸门控制,流道底高程为 0.50 m,顶高程为 2.50 m。计算区域见图 1。



(a) 进水段结构图(长度单位: mm, 高程单位: m)



(b) 三维模型图

图 1 引水运行时进水段三维结构及模型图

Fig. 1 Structure and 3D model of inlet section during water diversion operation

2.3 网格划分

采用 Workbench 中的 Mesh 软件生成非结构化网格。对泵站进水池、水泵喇叭口及水泵进

收稿日期: 2022-07-12, 修回日期: 2022-11-14

作者简介: 叶帅(1995-),男,硕士、助理工程师,研究方向为水利工程设计,E-mail:1176414018@qq.com

行局部加密,以保证网格高质量、高精度。网格形状选为四面体结构。最终得到的网格数约为 132×10^4 个。

2.4 边界条件

(1)进口条件。采用质量流作为进口条件,引水工况时进口流量为 $4 \text{ m}^3/\text{s}$,选取中等紊流强度 $T_u = 5\%$ [3]。

(2)出口条件。取出水管道的出口作为出口边界,引水工况时,共 2 个出口,每个出口采用 1 个标准大气压。

(3)自由液面。引渠、前池和进水池的水位基本不变,同时忽略空气对水面的应力作用,计算时选用“刚盖假定”,即采用对称面边界处理。

(4)壁面边界条件。除设置的 inlet、outlet 和水面外,其余部分皆可认为是固体边壁,将其设为 wall,粗糙度 n 取为 0.1 mm 。

2.5 特征面选取及评价指标

对前池和进水池各截取 2 个特征断面,分别为前池 1-1 断面, $Y_1 = 5.0$, 前池 2-2 断面 $Y_2 = 9.3$; #1 进水池 a-a 断面, $Y_a = 17.5$, #2 进水池 b-b 断面, $Y_b = 17.5$, 见图 2。

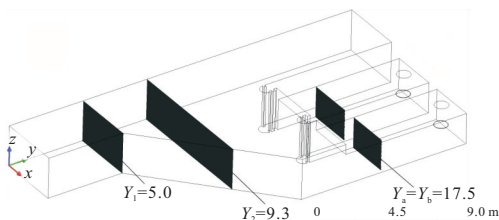


图 2 特征断面示意图

Fig. 2 Feature section diagram

通过分析特征断面流速分布均匀度和速度加权平均角 [4], 可更直观、快速地研究各进水结构的水力特性。

3 数值模拟分析

3.1 原方案模拟分析

图 3 为泵站在原始工况下运行时的流线分布图。由图 3 可知,水流从引渠进入前池后,泵站侧墩墙处存在较大回流区,主流偏向前池中央。由于泵站前池较短,扩散角度较大,水流无法通过自身充分扩散,在前池中段产生不良流态,一直延续到进水池,在进水池泵室隔墩内壁口门附近同样存在回流现象。

计算并统计各断面流速分布均匀度及速度加权平均角,见表 1。分析可知,水流进入前池前流态较好,进入前池后,前池中央与边墙处流速相差

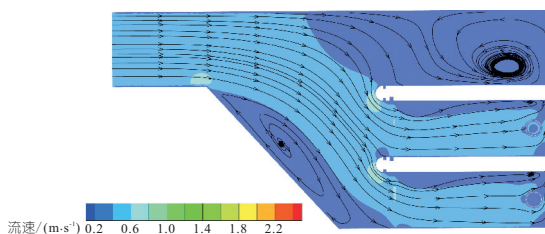


图 3 原始方案流线图

Fig. 3 Streamline of the original scheme

表 1 原始方案各断面流速均匀度和加权平均角数值
Tab. 1 Axial velocity uniformity and weighted average angle on section of the original scheme

断面	流速分布均匀度/%	速度加权平均角/(°)	断面	流速分布均匀度/%	速度加权平均角/(°)
前池进水断面 1-1	93.70	85.1	#1 进水池断面 a-a	59.80	87.6
前池进水断面 2-2	33.40	68.7	#2 进水池断面 b-b	67.20	86.9

较大,流速均匀度仅为 33.4%,同时产生了较大的横向流速,速度加权平均角度仅为 68.7° , 直接影响了流入进水池的流态。为使水流在前池得到充分扩散,保障进水池水流流态,需在前池采取一些整流措施,并探究其效果。

3.2 增设导流墩方案数值模拟

针对泵站前池存在大面积回流区消除问题,拟采取增设导流墩的措施,从而达到改善前池进水流态的目的。综合考虑造价、施工等多方面因素后,选用宽 0.3 m ,高 2.5 m 的导流墩,导流墩与进入前池水流方向的夹角取 15° ,再探究各长度的导流墩对流态改善的效果。由于前池尺寸较小,拟采用 3 种尺寸长度方案,分别为 $1、2、3 \text{ m}$ 。具体方案尺寸见表 2、图 4,图 4 中 L 为导流墩长度, b 为导流墩宽度, h 为导流墩高度。

结合 CFX 数值模拟技术,对各方案进行数值模拟,并探究其整流效果,见图 5。图 5(a)~(c) 增设导流墩后,水流在进入前池时,遇到导流墩后

表 2 导流墩方案设计

Tab. 2 Design schemes of diversion pier

方案	长度 L/m	宽度 b/m	高度 h/m	夹角/(°)
1	1	0.3	2.5	15
2	2	0.3	2.5	15
3	3	0.3	2.5	15

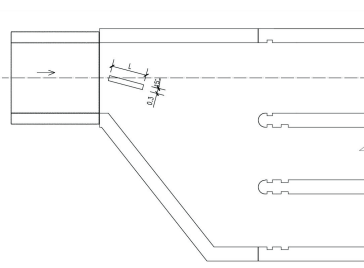


图 4 导流墩设计示意图

Fig. 4 Design scheme diagram of diversion pier

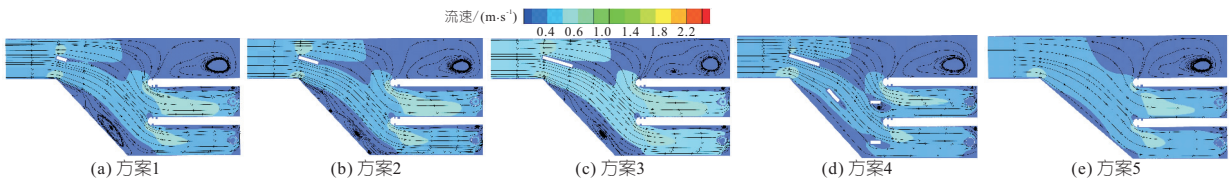


图 5 导流墩方案流线图

Fig. 5 Streamlines of diversion pier schemes

发生偏转,迫使中间主流向边墙侧行进,在一定程度上削弱了前池存在的回流区,其中导流墩越长,效果越好。但由于前池扩散角过大,回流区从前池进口处一直延伸至进水池,仅靠单根导流墩来调整水流流态,效果远未能达到期望值,需在此基础上增设其他尺寸导流墩,或通过改良边墩的方式以达到更佳的整流效果。

3.3 改良方案数值模拟

改良方案为:①方案 4。在选用宽 0.3 m、高 2.5 m、长 3.0 m 的导流墩与进入前池水流方向的夹角为 15°的基础上,针对回流区位置与特性,在前池增设 2 处辅助导流墩,辅助导流墩 1 长、宽、高分别为 1.5、0.3、2.5 m;辅助导流墩 2 共两根,长、宽、高均分别为 1.0、0.3、2.5 m。②方案 5。改良前池边墩,减小扩散角。具体方案见图 6。由图 5(d)可知,方案 4 基本消除了前池内存在的大面积回流区,仅在导流墩附近存在小范围回流区,整流效果较好。由图 5(e)可知,方案 5 改善效果明显,消除了前池内存在的大面积回流区,且未引起新的流态问题。

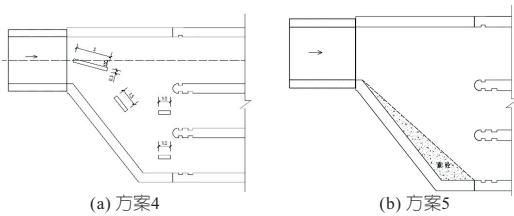


图 6 改良方案示意图

Fig. 6 Diagram of improvement schemes

3.4 整流方案数值模拟分析

为更加直观地反映各方案整流效果,并找到相关工程普适性规律,对不同方案各断面的流速分布均匀度及速度加权平均角进行分析,见表 3。由表 3 可知,方案 1、2、3 分别采用长 $D/9$ 、 $2D/9$ 、 $3D/9$ (D 为前池长度)的导流墩对前池水流进行

表 3 各整流方案断面流速均匀度和加权平均角数值
Tab. 3 Axial velocity uniformity and weighted average angle on section for each scheme

断面	定量标准	方案					原方案
		1	2	3	4	5	
1-1	流速分布均匀度/%	84.7	84.9	85.9	84.2	89.7	93.7
	速度加权平均角/(°)	81.0	81.2	81.4	80.1	82.9	85.1
2-2	流速分布均匀度/%	36.2	36.5	37.9	63.6	83.2	33.4
	速度加权平均角/(°)	67.6	67.7	67.8	63.6	64.1	68.7

调整,水流经导流墩后,流速分布均匀度有小幅度提升,其中导流墩越长,效果越好,但改善效果均不明显。其中相对最优的方案 3,断面 1-1 的流速均匀度较原方案降低了 7.8 个百分点,加权平均角降低了 3.7°;断面 2-2 的流速均匀度较原方案提高了 4.5 个百分点,加权平均角降低了 0.9°。由此可知,当遇到遍布整个前池的大面积回流区时,仅靠设置单根导流墩来达到预期整流效果的目的很难实现。

方案 4 在方案 3 基础上分别增长长 $2D/9$ 、 $D/9$ 的导流墩进行补充调整,以达到对整个前池中的水流速度进行重新分配,并限制横向流速的影响范围的目的,其效果较好。其中断面 1-1 的流速均匀度较原方案降低了 9.5 个百分点,加权平均角降低了 5.0°;断面 2-2 的流速均匀度较原方案提高了 30.2 个百分点,加权平均角降低了 5.1°。由此可见,对于前池中不同位置、不同大小的回流区,直接增设相应导流墩,效果较明显。

方案 5 通过改良边墩,直接减小扩散角,效果最佳。其中断面 1-1 的流速均匀度较原方案降低了 4 个百分点,加权平均角降低了 2.2°;断面 2-2 的流速均匀度较原方案提高了 49.8 个百分点,加权平均角降低了 4.6°。由此可见,前池扩散角偏大是导致前池流态差的最根本原因;在相关工程设计过程中,应尽可能减小前池扩散角,使水流正常扩散,以均匀地流入进水池。

4 结论

- 前池扩散角偏大是导致流态差的根本原因。
- 对于遍布整个前池的大面积回流区,仅设置单根导流墩,整流效果较差。
- 根据回流区的位置、大小有针对性地增设相应导流墩,效果较好。合理布置导流墩,是改善前池流态的有效手段。

参考文献:

[1] 徐辉,张林. 侧向进水泵站前池整流技术研究综述[J]. 水利水电科技进展, 2008, 28(6): 84-88.
[2] 成立. 泵站进水弯道三维流动分析及流态改善研究[J]. 扬州大学学报(自然科学版), 2002, 5(2): 64-68.

