

# 泵站正向进水前池水流流动均匀性分析

吴晓兰, 马晓辉, 许一新

(丹阳市水利局, 江苏 镇江 212300)

**摘要:** 结合泵站正向前池工程设计, 通过 CFD 数值模拟计算分析了泵站正向前池、进水池水流流动均匀性, 结合 CFD 数值模拟计算结果, 给出了定时清淤、定时检修、加强业务能力和提高管理水平等管理与维护建议。

**关键词:** 泵站; 进水池; 数值模拟; 流动均匀性

中图分类号: TV131      文献标识码: B      文章编号: 1007-7839(2017)03-0053-05

## Analysis of flow uniformity of front inflow forebay in the pump station

WU Xiaolan, MA Xiaohui, XU Yixin

(Danyang Water Conservancy Bureau, Zhenjiang 212300, Jiangsu)

**Abstract:** Based on design of the front inflow forebay, the flow uniformity of front forebay and the water inlet of the pump station are analyzed by CFD numerical simulation. Combined with the results, suggestions of regular dredging, regular maintenance, strengthening business ability and improving management are proposed.

**Key words:** pump station; forebay; numerical simulation; uniformity

## 1 概述

随着近几年我国农村城镇化建设速度的不断加快, 农田水利小型泵站得到了快速发展。泵站引水建筑物包括引水渠、前池、进水池等, 其中泵站前池作用是为了保证水流在从引水渠流向进水池的过程中能够平顺扩散, 为进水池提供良好流态<sup>[1-2]</sup>。前池分为正向进水前池和侧向进水前池两种基本类型, 另一种形式为复合前池, 其构造较为复杂, 水流流动状态差, 较少采用。正向进水前池的水流与进水池水流方向一致, 水流逐步扩散、流态平顺且形式简单、施工方便, 应优先采用<sup>[3]</sup>。

正向前池水流流动特性的研究颇多, 主要是从正向前池的流态及整流等方面研究较多, 对于正向前池和进水池的水流流动均匀性以及重要参数流速分布均匀度分析不多<sup>[4-5]</sup>。

## 2 正向前池水力设计

### 2.1 前池扩散角

正向前池水力设计主要内容有前池扩散角、池长等。前池扩散角  $\alpha$  是影响前池流态及尺寸大小的主要因素。 $\alpha$  过大, 则前池池长过短, 但水流扩散太快, 极易导致回流及旋涡;  $\alpha$  过小, 则水流平缓、可得到理想流态, 但前池池长过长; 若  $\alpha/2$

收稿日期: 2016-11-24

作者简介: 吴晓兰(1978-), 女, 工程师, 主要从事水利工程规划、建设管理工作。

大于某一临界值,则水流会因惯性发生脱壁现象,此临界值称为临界扩散角。

扩散角经验公式如下:

$$\tan \frac{\alpha}{2} = 0.065 \frac{1}{\sqrt{F_r}} + 0.107, \text{ 其中佛汝德数 } F_r = \frac{v}{\sqrt{gh}}。$$

由扩散角公式可知,临界扩散角取决于佛汝德数,当  $F_r=1$  时,水流处于急流和缓流之间的临界状态时,  $\alpha$  为  $20^\circ$ 。由于引水渠和前池中的流动通常为缓流,故扩散角  $\alpha$  为  $20^\circ \sim 40^\circ$  [5]。

## 2.2 前池池长

前池池长经验公式如下:

$$L = \frac{B-b}{2 \tan \frac{\alpha}{2}}$$

式中:

$b$ —引水渠末端底宽;

$B$ —进水池总宽。

前池中  $B$  与  $b$  一般相差较大,需设计成扩散型,这样水流流速逐渐减小,水深逐渐加深,  $F_r$  逐渐减小。

## 3 工程实例

### 3.1 案例简介

某泵站共安装 5 台机组,型号为 36ZLB-100 立式轴流泵,配套电机 YL310-10,总装机容量 1550 kw。泵站设计水位 3.8 m,最高净扬程 6.5 m,设计流量  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ 。该泵站引水建筑物主要包括引水渠、前池及进水池等,其中引水渠宽度 3.5 m;前池扩散角为  $40^\circ$ ,池宽 21.7 m。根据前池水力设计内容,前池池长据经验公式计算长度为 25 m,而设计池长为 43 m,符合计算规定。

### 3.2 三维建模及网格划分

根据该泵站引水建筑物及河道布置情况,应用大型商用建模软件 UG NX 6.0,按照 1:1 比例,建立泵站下游及河道区域水流三维物理模型,如图 1、2 所示。网格划分采用 ICEM CFD 软件,对该泵站下游及河道区域划分为结构化网格,结构化网格能提高计算精度及准确度。进水池网格见图 3 所示。

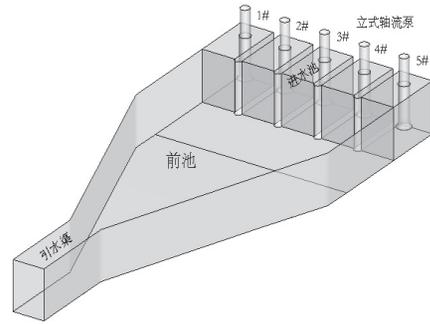


图1 泵站三维水流模型

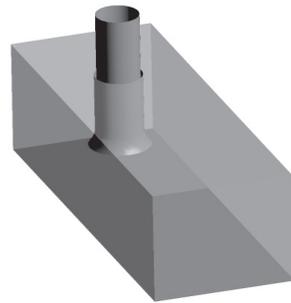


图2 进水池三维模型

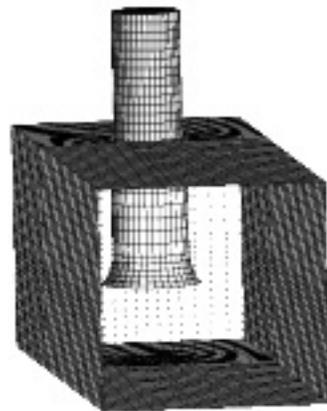


图3 进水池三维结构网格

### 3.3 控制方程及边界条件

控制方程采用三维雷诺时均 N-S 方程来描述奔牛水利枢纽不可压缩湍流流动,方程式如下:

$$\text{连续性方程: } \partial(\rho \bar{u}_i) / \partial x_i = 0$$

雷诺时均 N-S 方程:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (v + \nu_t) \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right]$$

边界条件设置:在 fluent 计算中,采用 Realizable (可实现) 模型,一阶迎风格式;进口设置为速度进口,为  $0.6211 \text{ m/s}$ ;出口设置为 outflow (自

由出流); 水流与空气接触面设置为 symmetry (对称); 枢纽所有边壁均设为无滑移壁面; 迭代残差值为  $1 \times 10^{-3}$ , 迭代示意图如图 4 所示。

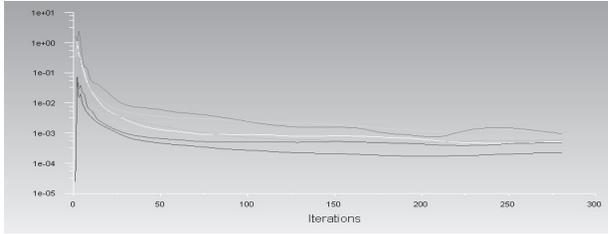


图 4 计算迭代示意图

### 3.4 计算结果分析

正向前池表面水流流态及流速分布图如图 5 所示, 水流从引水渠流入前池, 经前池扩散后流入进水池, 水流流速沿程逐渐降低, 流速范围为 0.6~0.1 m/s。水流主流方向在前池中央侧, 前池两侧形成较大回流区, 水流主流与前池两侧脱壁, 这也是水流扩散后形成的水力现象, 延长前池直线段后能消除水流扩散后所带来的不良影响, 但相应地增加了工程量。水流进入进水池, 其流速范围为 0.2 ~ 0.1 m/s。数值模拟计算结果所显示的水流流态及流速分布符合正向前池所熟悉的水力现象。

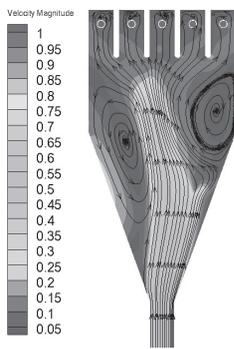


图 5 泵站正向前池水流流态图

从正向前池流态及流速分布图中还不能完全反映水流流入进水池后流速分布均匀性。为更好分析正向前池水流动特性, 现引入水流流速均匀性水力目标函数, 分析前池断面和进水池断面流速分布均匀性(图 6)。

速度分布均匀度:

$$V_u = \left[ 1 - \frac{1}{u_a} \sqrt{\frac{\sum (u_{ai} - \bar{u}_a)^2}{m}} \right] \times 100\%$$

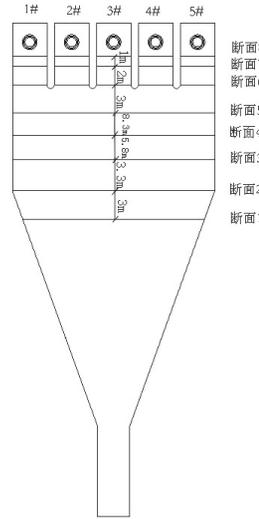


图 6 泵站正向前池各断面位置示意图

式中:

$\bar{u}_a$ —进口断面的平均轴向速度, m/s;

$u_{ai}$ —进口断面各单元的轴向速度, m/s;

$m$ —流场数值计算时刻该断面所划分的单元个数。

公式中断面平均轴向速度是指本文计算模型的  $y$  方向速度, 各单元的轴向速度是指本文模型所划分的每个网格单元面积速度,  $m$  单元个数是指该模型所剖断面的网格数量。

根据水流流速均匀性水力目标函数公式, 通过 Matlab 编程, 计算各断面流速分布均匀度。前池断面 1 ~ 5 流速分布均匀度见表 1。表 1 中断面 1、2、3、4 流速分布均匀度出现负值, 其中断面 2 负值最大, 这是由于前池水流流态中有两个回流区, 回流区流向与进口水流流向相反, 故流速分布均匀度出现负值。断面 2 流速分布均匀度最小, 是由于断面 2 处在回流区平面面积最大区域。随着前池断面与进水池距离较近时, 流速分布均匀度逐渐增大。断面 5 流速分布均匀度出现正值, 表明断面 5 所在区域水流正向流向进水池, 但其值过小, 流速分布不均匀。

表 1 前池断面流速分布均匀度

断面	1	2	3	4	5
$V_u$	-0.461	-0.5475	-0.4419	-0.1653	0.2457

为了分析正向前池水流流动特性, 故引进进水池断面 6、7、8 三断面流速分布与均匀度大小,

分析前池水流流动给进水池带来的影响。从图7~9可以看出,较大流速分布在进水池底部且分布范围小;较小流速分布在进水池上部区域,分布范围较广。图7~9流速分布云图表明各个水泵机组流速分布较为不均匀,这是由于各个不同水泵机组断面由若干不同流速分布范围组成,流速分布越均匀,流速分布范围越集中。随着进水池断面不断靠近喇叭管,其进水池底部较大流速分布区域不断扩大,但仅从图7~9不能直观分析流速分布区域范围变化对流速均匀度大小的影响。

该泵站5台水泵机组,进水池3个断面,通过CFD-post后处理输出15组Excel表格数据。利用Excel计算断面流速分布均匀度,耗费时间长且繁琐。通过Matlab编程导入Excel数据直接计算,快速方便。

图10为进水池各断面5台水泵机组流速分布均匀度。断面6中1#和5#水泵机组水流流速分布均匀度较大,3#水泵机组水流流速分布均匀度较小;断面7和断面8中1#和5#水泵机组水流流速分布均匀度较小,3#水泵机组水流流速分布均匀度最大;断面6中5台水泵机组水流流速分布均匀度值总体大于断面7、8。水历经前池流入进水池,由于立式轴流泵向上的提水作用,在喇叭管底部及附近水流流速变大,造成水流流速分布不均匀,这也是断面6中5台水泵机组水流流速分布均匀度值总体大于断面7、8的主要原因。

综上所述,水历经正向前池扩散,水流流速降低,在前池两侧形成回流,水流主流方向集中在前池中央,造成前池水流分布不均匀,流速分布均匀度值出现负值;水流流向进水池,由于进水池后

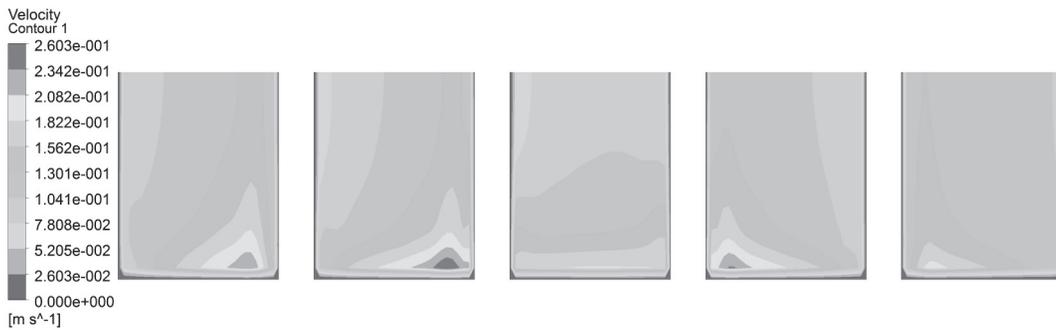


图7 进水池断面6流速分布云图

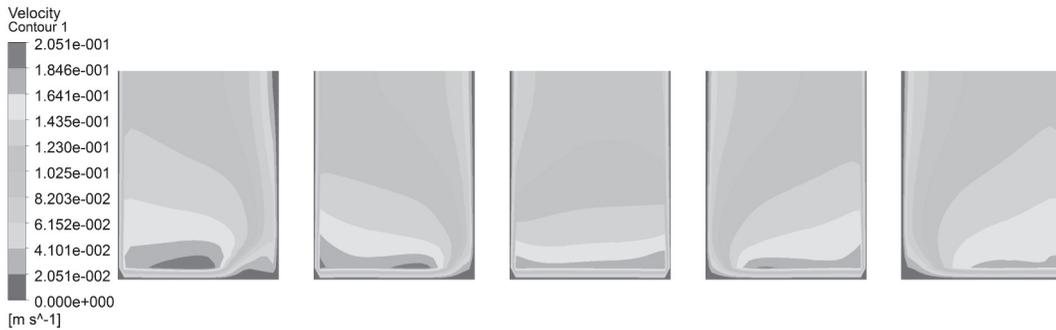


图8 进水池断面7流速分布云图

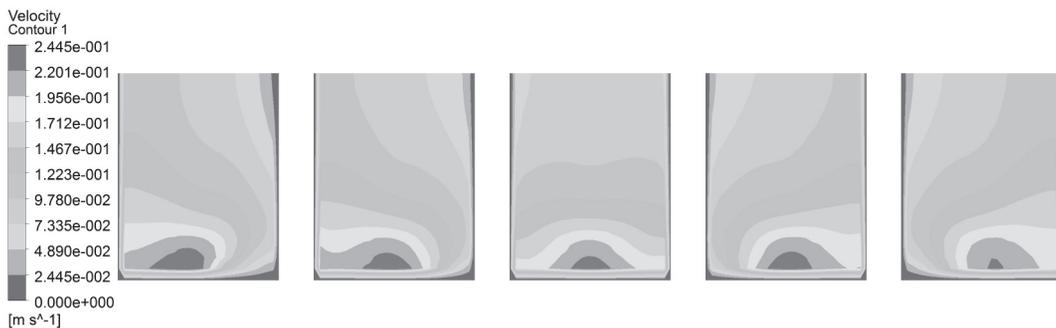


图9 进水池断面8流速分布云图

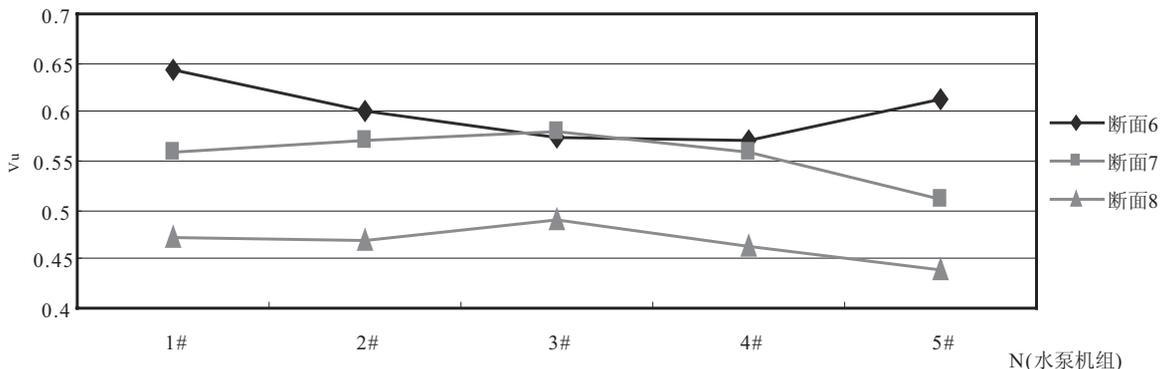


图 10 进水池各断面流速分布均匀度

壁的阻挡加上立式轴流泵向上提水作用, 进水池断面流速分布均匀度值随着断面靠近立式轴流泵逐渐减小, 这也是采用前池、进水池等引水建筑物的中小型泵站水泵机组效率不高的主要因素。

#### 4 管理与维护建议

我国地形地貌复杂, 不同地区自然条件不同, 对水资源需求及分配利用多种多样, 所以大、中、小型泵站在我国均得到快速发展, 其中小型泵站分布最多。小型泵站采用正向前池和进水池的引水建筑物非常普遍。小型泵站站身结构简单, 上述计算分析可知来流均匀度不高造成水泵工作效率低下, 加上设备随着时间老化, 给泵站运行带来一系列影响。泵站正向前池两侧回流区及进水池后壁侧泥沙容易沉积, 进一步可能降低泵站运行效率。管理部门要组织力量定时清理前池、进水池

及拦污栅等淤泥, 定时检修水泵机组运行情况, 定时更换老化设备, 加强业务能力, 提高管理水平, 以保障众多小型泵站良性运行。

#### 参考文献:

- [1] 刘超. 水泵与水泵站 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2003: 162-173.
- [2] GB50265-2011 泵站设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2011: 32-33.
- [3] 丘传忻. 取水输水建筑物丛书—泵站 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002: 380-390.
- [4] 周龙才, 刘士和. 泵站正向进水前池流态的数值模拟 [J]. 排灌机械工程学报, 2004, 22(1): 23-27.
- [5] 罗灿, 成立. 泵站正向进水前池底坎整流机理数值模拟 [J]. 排灌机械工程学报, 2014(5): 393-398.

(责任编辑: 徐丽娜)