

# 城镇泵站侧向进水间隔墩与圆柱结合水流流态分析

周 杨<sup>1</sup>, 吴东恒<sup>2</sup>, 顾春雨<sup>2</sup>, 杨晓红<sup>2</sup>

(1. 江阴市重点水利工程建设管理处, 江苏 无锡 214431;

2. 江阴市水利工程公司, 江苏 无锡 214431)

**摘要:** 应用 CFD 数值模拟技术对城镇泵站侧向进水间原设计、加隔墩、加隔墩与圆柱三种方案进行流场信息对比。结果表明,侧向进水间原设计 1# 进水间出现大尺度回流与低速区,设置隔墩后,大尺度回流消失,低速区范围大幅缩小;2# 进水间水流主流偏流,底层水流翻转,设置隔墩后,偏流与底层水流翻转现象得到好转,加入圆柱后,上述现象进一步好转,流态更加平稳;设置隔墩与圆柱结合整流措施,2# 进水间特征断面回流强度大幅下降,低速区进一步减小。

**关键词:** 侧向进水间; 隔墩; 圆柱; 流态; 数值模拟

**中图分类号:** TV131      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1007-7839 (2017) 05-0020-04

## Analysis of flow pattern in the lateral inlet of urban pumping station

ZHOU Yang<sup>1</sup>, WU Dongheng<sup>2</sup>, GU Chunyu<sup>2</sup>, YANG Xiaohong<sup>2</sup>

(1. Jiangyin Key Water Conservancy Construction Management Office, Wuxi 214431, Jiangsu;

2. Jiangyin Water Conservancy Engineering Company, Wuxi 214431, Jiangsu)

**Abstract:** CFD numerical simulation technology is used to compare the flow field information under the three schemes: the original design, adding pier, adding pier and column. The results show that large scale flow with low velocity zone appeared in 1# intake chamber under the original design. Large scale backflow disappeared, the low-speed zone significantly reduced after setting separation piers; drift of mainstream, turnover of bottom water appeared in 2# intake chamber under the original design. Drift and bottom water turnover phenomenon has been improved after adding piers. The phenomenon is further improved after adding column piers; the return strength of the characteristic section decreased sharply, and the low velocity zone is further reduced in 2# intake chamber after setting piers and column.

**Key words:** lateral inlet; pier; column; flow pattern; numerical simulation

## 0 引言

城镇泵站设计时由于站址选择、周边楼房密

集或者工厂无法搬迁等原因采用侧向进水方式并省去进水前池。采用这种设计方法可以减少土方开挖、降低工程造价等,但由于没有经过前池水

收稿日期: 2017-02-24

作者简介: 周杨 (1980-), 男, 工程师, 主要从事水利工程建设与管理工作。

流均匀扩散提供平稳流态严重影响侧向进水间水流流态,导致水泵能量性能和汽蚀性能下降,甚至引起水泵汽蚀与振动<sup>[1]</sup>。水流弯曲流动导致侧向进水池水流出出现旋涡、回流、流速分布不均匀等不良水力现象,需要采取整流措施,如底坎、隔墩、圆柱、导流墩等。单一整流措施面对复杂的水流流态往往难以达到设计要求,需要多种整流措施结合,根据水流走势选择合理的几何参数,达到水流平顺的设计要求。对于泵站侧向进水及整流计算的研究,罗灿<sup>[2]</sup>等对侧向前池及进水池进行了CFD数值模拟,并在进水池设置了多重隔墩等整流措施,基本消除了回流等不良流态,特征断面流速分布取得最优分布效果。

## 1 常见整流措施

泵站进水整流措施常见有底坎、隔墩、圆柱、导流墩等。底坎使底层水流遇阻,在坎前与坎后各形成一段紊动扩散区,增加了漩涡之间的对流速率,减小了漩涡积累,回流区范围减小或消失,但底坎坎后底层翻滚区影响进水间水泵进水,不宜采用<sup>[3-4]</sup>。隔墩将来流一分为二,降低漩涡之间的对流速率,减少漩涡累计,破坏了大尺度回旋水流,甚至回流现象消失,使得水流流态及流速重新调整分布。圆柱绕流是经典流体力学问题。当水流湍流运动遇圆柱伴随着流动分离、漩涡生成与脱落、漩涡间相互干扰等水力现象,圆柱对改善流态、流速重新分布有一定的积极作用。导流墩是用来隔开来流水流分成两股水流,减少漩涡累计,特别对大尺度回流有积极的改善作用。

对于特别紊乱的流态,单一整流措施难以达到水流平顺效果,须通过多种整流措施结合。本文根据弯曲水流运动走势,结合隔墩、圆柱整流机理,应用于侧向进水间整流。

## 2 侧向进水池几何参数及模型

引水渠与进水间以正交方式布置,以内外圆弧连接,内外圆弧半径分别为 $2.5D$ 、 $1.0D$  ( $D$ 为水泵直径,下同);进水间之间设置墩墙,其长度与岸墙一致;距1#、2#进水间后壁 $7\text{ m}$ 处设置隔墩,其宽为 $0.5\text{ m}$ ,高度为 $1.0H$  ( $H$ 为引渠断面平均水深);在2#进水间隔墩后缘 $1.0D$ 处设置 $1.0D$ 圆柱;引渠长度大于 $3H$ 。侧向进水间平面布

置图如图1所示。侧向进水间区域水流三维数学模型如图2所示。

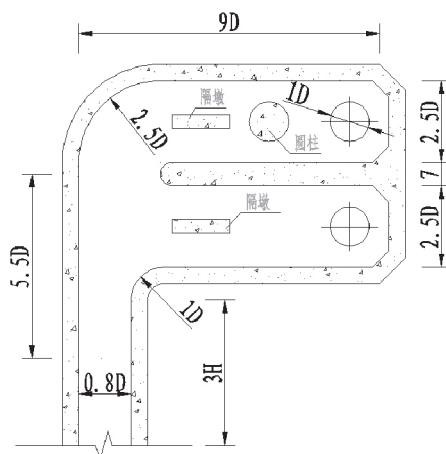


图1 侧向进水间平面布置图

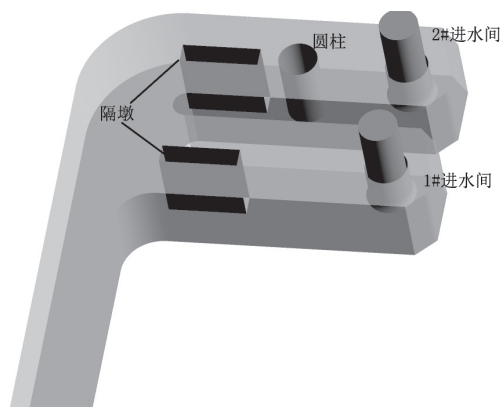


图2 侧向进水间区域三维数学模型

## 3 计算网格划分

应用ICEM CFD高级网格划分软件,采用块格式对侧向进水间区域水流三维数学模型划分结构化网格。引水渠、隔墩水流区域为一个整体,进水间、喇叭管、圆柱为第二部分,交界面设置interface面合并成为整体计算网格。侧向进水间计算网格如图3、图4所示,计算网格单元94747,计算网格节点82602,最小计算角度大于 $18^\circ$ 。

## 4 控制方程与边界条件

### 4.1 控制方程

控制方程采用三维雷诺时均N-S方程来描述水流不可压缩湍流流动,方程式如下:

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



图3 侧向进水间计算网格示意图

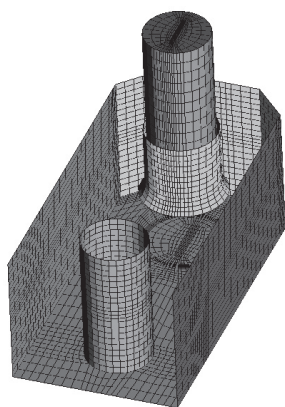


图4 引水间、喇叭管、圆柱局部网格示意图

雷诺时均 N-S 方程:

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

#### 4.2 边界条件

采用 Realizable (可实现)  $k-\varepsilon$  模型, 一阶迎风格式; 进口设置为速度进口; 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  $5 \times 10^{-4}$ 。

湍流强度系数采用经验公式计算, 湍流强度系数公式为  $I=0.16\text{Re}^{(-1/8)}$ , 其中 Re 为雷诺数。

### 5 计算结果分析

对原设计的侧向进水间进行 CFD 数值模拟, 根据计算成果, 在进水池加入隔墩整流措施后, 获得侧向进水间水流流场对比信息, 再加入圆柱措施后根据水流流态、断面分布均匀度等流场信息, 分析两种措施结合后整流效果。

#### 5.1 表层水流流态

原设计进水间水流流态紊乱。1# 进水间水流主流偏向墩墙侧, 岸墙侧出现较大尺度的回流区, 也是较大范围低速区; 2# 进水间水流主流偏向岸墙侧, 底层水流翻转至表层, 墩墙侧出现类似三角形分布的低速区。1#、2# 进水间低速区流速大小范围在  $0.05 \sim 0.15 \text{ m/s}$  之间。

根据原设计 1#、2# 进水间水流流态, 设置隔墩。水流遇隔墩前缘分为两股水流, 1# 进水间大尺度回流区消失, 岸墙圆弧连接段较小的回流区影响忽略不计, 岸墙侧出现小范围低速区; 2# 进水间水流主流偏流与底层水流翻转至表层现象得到改善, 低速区范围缩小。1#、2# 进水间水流流态好转, 说明隔墩整流具有一定的效果。

加入隔墩后, 2# 进水间水流流态、流速分布仍不够理想, 故在 2# 进水管隔墩后缘 1D 处设置圆柱 (圆柱直径为 1D)。2# 进水管隔墩后缘回流区与低速区进一步缩小; 墩墙侧水流经过隔墩后缘绕过圆柱后发生偏流, 水流主流偏流与底层水流翻转至表层现象进一步得到改善; 表层水流流速分布得到重新调整, 低速区范围有了明显的缩小。加入圆柱整流后, 2# 进水间水流整流效果更加明显。见图 5。

#### 5.2 特征断面水流流态

1# 进水间特征断面取距后壁 4 m 处断面, 2# 进水间特征断面取距后壁 3 m 处断面, 分析特征断面水流流态及流速分布。

原设计 1# 进水间特征断面回流强度高, 2# 进水间底层出现小范围回流与水流翻转至表层现象; 设置隔墩后, 1#、2# 进水间底层形成较小范围的回流区; 2# 进水间加入圆柱后, 底层回流区范围缩小, 小回流区消失, 较大回流区未出现低速, 流速重新分布。见图 6。

隔墩与圆柱结合整流效果明显, 2# 进水间特征断面回流强度、回流区、低流速区范围有所减小。

### 6 结论

通过对侧向进水间原设计、加隔墩、加隔墩与圆柱三种方案 CFD 数值模拟, 对比三种方案的流场信息, 结论如下:

(1) 侧向进水间原设计 1# 进水间出现大尺度回流与低速区, 设置隔墩后, 大尺度回流消失, 低速区范围大幅缩小。

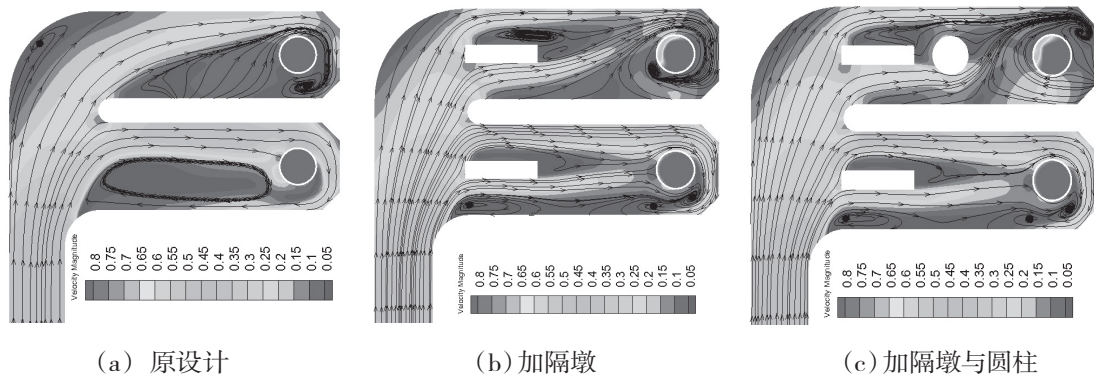


图5 侧向引水间水流表层流态示意图

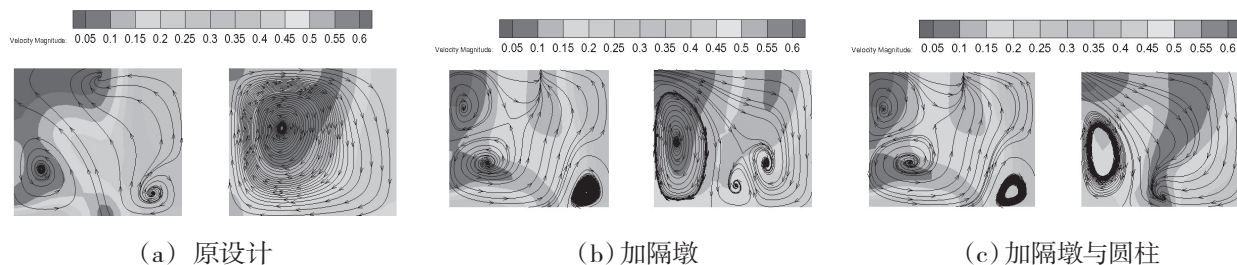


图6 特征断面水流流态与流速分布示意图

(2) 2# 进水间水流主流偏流, 底层水流翻转, 设置隔墩后, 偏流与底层水流翻转现象得到好转, 加入圆柱后, 上述现象进一步好转, 流态更加平稳。

(3) 设置隔墩与圆柱结合整流措施, 2# 进水间特征断面回流强度大幅下降, 低速区进一步减小。

#### 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] 罗灿, 刘超. 多机组泵站侧向进水特性模拟及改进研究[J]. 水力发电学报, 2015, 34(1): 207-214.
- [3] 冯旭松. 泵站前池底坎整流及坎后流动分析[J]. 江苏水利, 1998, 1: 31-33.
- [4] 成立, 刘超, 等. 水泵站底坎二维绕流湍流数值模拟[J]. 农业机械学报, 2005, 36(3): 37-39.

(责任编辑: 王宏伟)