

泵站弯道引水渠水流流动特性影响分析

薛士平¹, 杨晓红², 吴佩锋²

(1. 江阴市新桥水利农机管理服务站, 江苏 无锡 214426; 2. 江阴市水利工程公司, 江苏 无锡 214431)

摘要: 结合泵站弯道引水渠工程设计, 应用大型商业软件建立弯道引水渠水流三维数学模型, 基于 CFD 数值模拟技术, 分析了该泵站弯道引水渠水流流动特性。根据该泵站弯道引水渠三维水流水动力学的计算成果可得知, 在设计水位下, 泵站弯道引水渠水流流线弯曲进入进水池, 降低各个机组水流流速均匀性, 降低机组工作效率; 弯道引水渠曲率半径需要控制在一定范围内, 可通过 CFD 数值模拟或水工模型试验确定最优曲率半径; 弯道引水渠相对于顺直引水渠水力特性较差, 非特殊情况, 不宜采用; 采用弯道引水渠, 要延长引水渠顺直段, 直至水流流态平稳, 流线顺直。本文研究成果对采用弯道引水渠的泵站设计具有一定的参考价值。

关键词: 泵站; 弯道引水渠; 水流流动特性; 数值模拟

中图分类号: TV675

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839 (2017) 01-0009-04

Analysis of the flow characteristics influence in the bend channel of pump station

XUE Shiping¹, YANG Xiaohong², WU Peifeng²

(1. Xinqiao Agricultural Water Management Service Station of Jiangyin, Wuxi 214426, Jiangsu;

2. Jiangyin Irrigation Works Company, Wuxi 214431, Jiangsu)

Abstract: Combined with the design of bend channel of pump station, three dimensional mathematical model of water flow in bend channel with large commercial software is established. Based on the CFD numerical simulation technology, the flow characteristics of the water flow in the bend of the pump station are analyzed. According to the calculation results of three dimensional water flow dynamics in the bend channel of the pump station, under the design water level, the flow line of the bend channel of the pump station is bent into the water inlet, which reduces the uniformity of the flow velocity of each pump, and reduces the working efficiency of the pump. The curvature radius of the water diversion canal is needed to be controlled in a certain range. The best curvature radius can be determined by the CFD numerical simulation or hydraulic model test. Normally, the bend channel should not be used because of its bad hydraulic characteristic. If it is used, the straight section should be extended until the flow is stable and streamline along. A certain reference value for the design of the bend channel in pump station is provided in this paper.

Key words: pump station; bend channel; flow characteristic; numerical simulation

0 引言

泵站引水建筑物主要有引水渠、前池、进水池(进水流道)等, 其中引水渠主要作用为减少输

收稿日期: 2016-11-21

作者简介: 薛士平(1968-), 男, 本科, 主要从事水利工程设计与施工管理工作。

水长度、简化泵房结构便于施工、保证水流平顺进入前池及进水池(进水流道)等^[1]。泵站引水渠大多采用顺直引水渠,主要为了减少工程量和保证水流良好流态^[2]。当泵站设计采用弯道引水渠且连接前池的顺直段过短时,需要通过论证设计是否合理,是否能保证泵站机组能达到最大工作效率。有关学者对侧向引水渠道水力特性做过研究,指出侧向引水渠泵站口门处流动状态紊乱,给泵站机组运行带来诸多不利影响^[3],但侧向引水渠设计为大曲率半径弯道引水渠,其水力性能对泵站运行带来何种影响,这方面研究不多。

1 泵站弯道引水渠水力设计

泵站引水渠设计时,渠线宜顺直;当需设弯道时,弯曲渠道凹岸容易发生冲刷,凸岸容易发生淤积,故弯曲弯道应该将曲率半径控制在一定范围内,土渠弯道半径不宜小于渠道水面宽的5倍,石渠及衬砌渠弯道半径不宜小于渠道水面宽的3倍^[4]。弯道引水渠水力设计主要内容为满足引水流量、水安全及渠道不冲不淤等^[1]。当弯道引水渠设计不当时,引水渠凹岸容易形成较大回流区,造成泥沙淤积;流线弯曲过大,造成进水池或进水流道内各断面流速分布不均匀,引起泵站机组振动,降低泵站机组工作效率。

2 技术解决手段

当新建泵站需设置弯道引水渠时,应做好水

力设计分析。除参照《泵站设计规范》有关引水渠条文外,还应根据泵站规模及重要性决定是否采用水工模型试验及CFD数值模拟计算弯道引水渠水流流动特性。水工模型试验优点是真实可靠,能反映水工模型水流流动规律,缺点是周期长、费用高,且由于费用限制不宜全面反映水流流动细节。CFD数值模拟能快速全面反映模型水流流动细节,且计算精度随着CFD数值模拟技术多年发展越来越精确,已被很多模型实验所证明。对于部分中小型泵站因费用限制,无法展开水工模型试验,CFD数值模拟技术可作为不可多得的分析手段。

3 工程案例分析

某泵站6台机组,设计流量为 $20\text{ m}^3/\text{s}$,站下设计水位 31.0 m ,底高程 28.0 m 。泵站总体布置为斜向进水,侧向出水,引水渠中心线与河道中心线夹角为 83° ,引水渠左侧翼墙设计为大曲率半径与河道边坡连接。

3.1 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UGNX 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、图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。

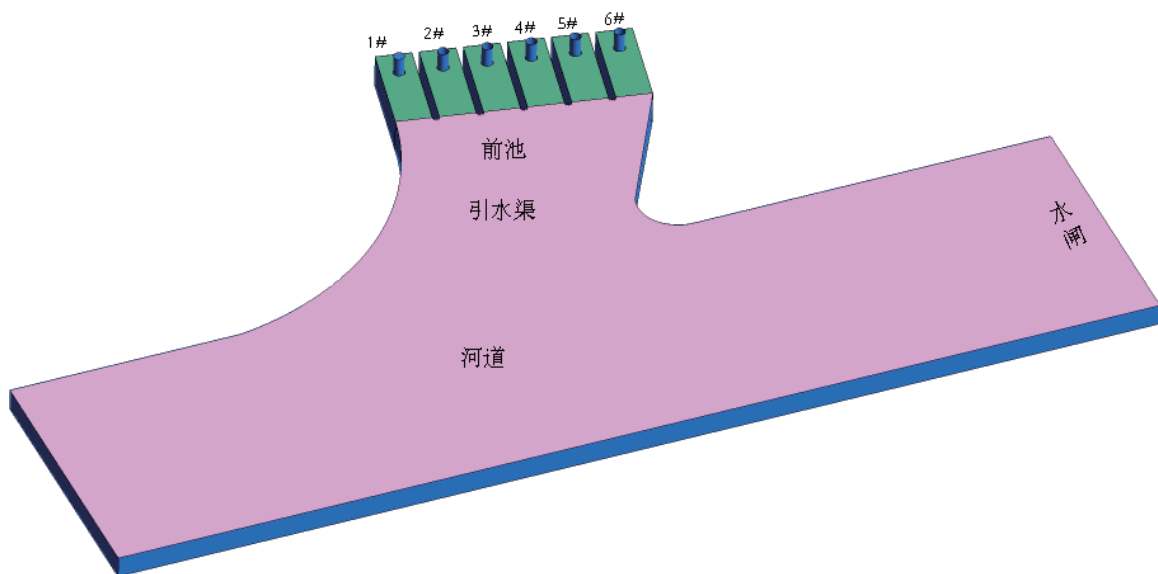


图1 泵站下游与河道区域三维水流模型

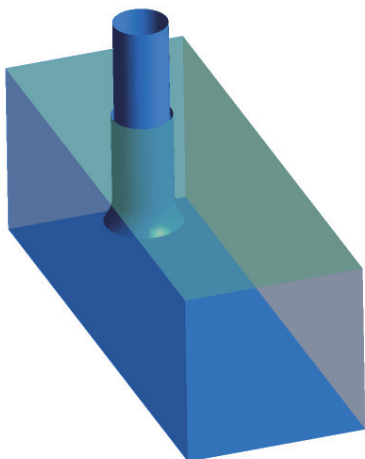


图 2 进水池三维模型

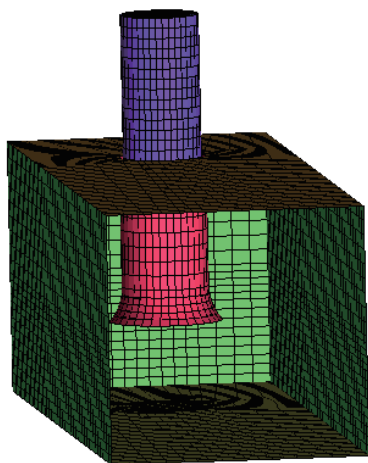


图 3 进水池三维结构网格

3.2 控制方程及边界条件设置

控制方程采用三维雷诺时均 N-S 方程来描述不可压缩湍流流动, 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:

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

边界条件设置: 在 fluent 计算中, 采用 Realizable (可实现) $k-\varepsilon$ 模型, 一阶迎风格式; 进口设置为速度进口, 速度为 0.42 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 5×10^{-4} 。

3.3 计算分析

图 4 为该泵站下游及河道区域表面水流流态示意图。从图中可以看出, 当水闸闸门关闭, 泵站排水时, 水流经过弯道引水渠进入进水池, 水流流态平顺, 未出现回流, 水流流速在 0.4 ~ 0.6 m/s 之间, 且弯道引水渠绝大部分区域流速都在 0.4 ~ 0.5 m/s 之间, 流速分布很均匀。由于水闸关闭, 在水闸侧形成较大回流区, 水流流速迅速下降, 但对泵站运行影响较小, 可忽略不计。

由于弯道引水渠的影响, 水流以流线弯曲的形式进入进水池, 造成 6 台机组靠近墩墙侧有一片区域流速较小, 速度大小在 0.1 ~ 0.2 m/s 之间,

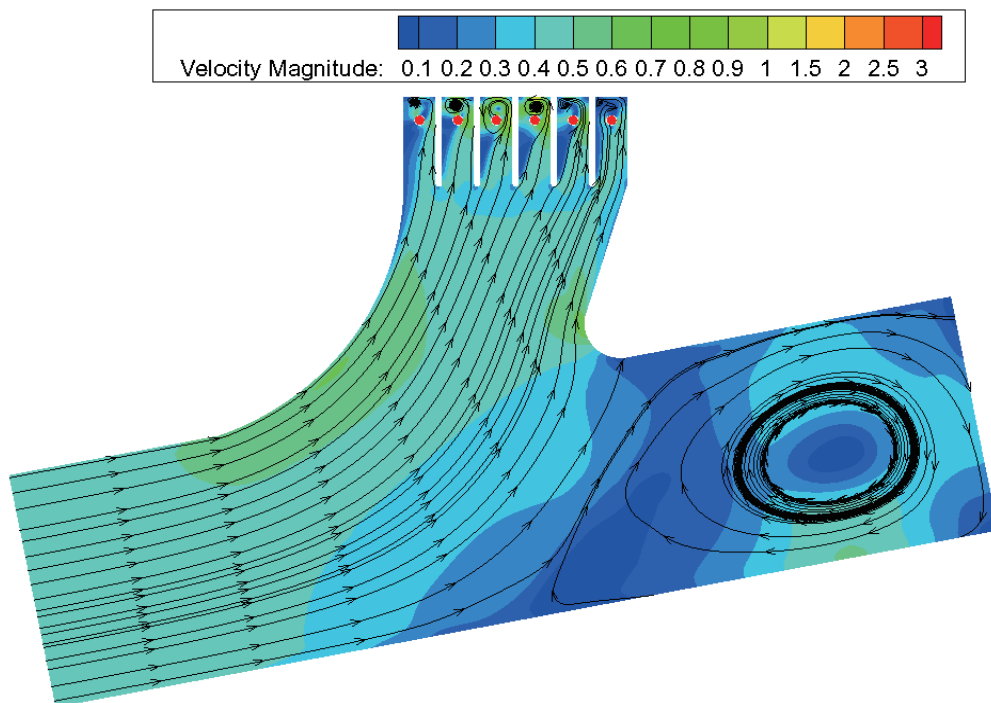


图 4 泵站下游及河道区域表面水流流态示意图

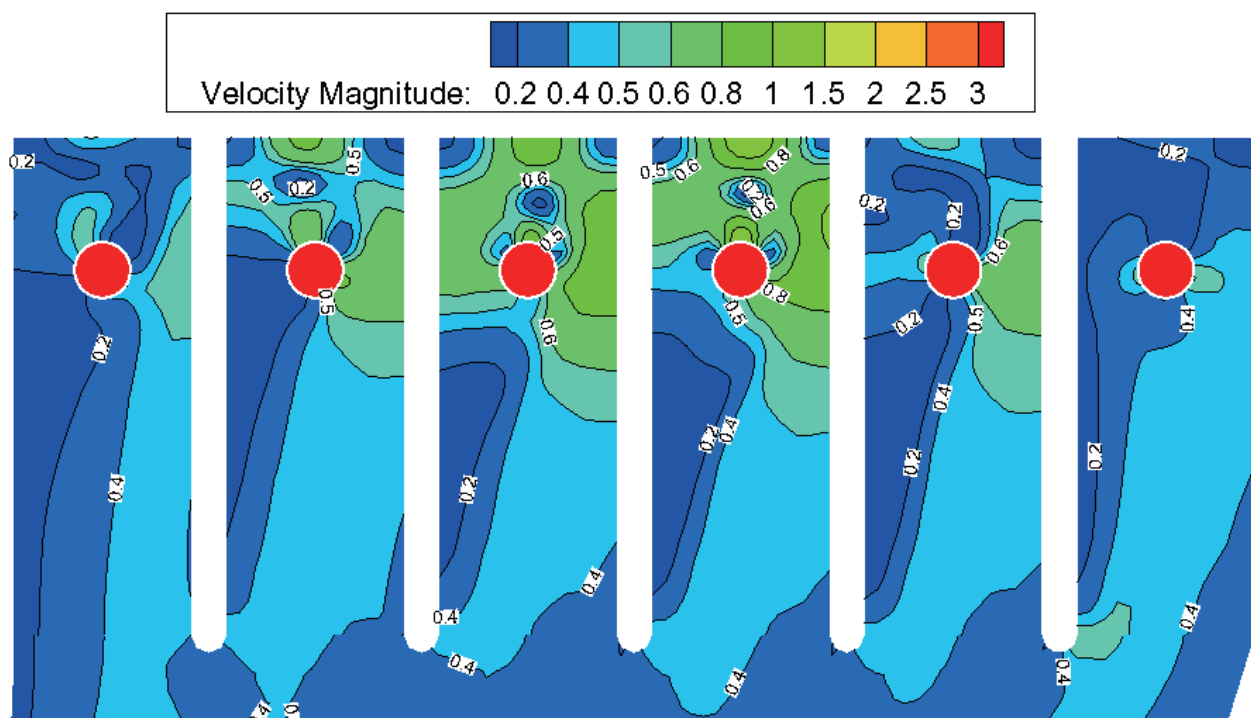


图 5 进水池表面流速分布放大图

其流速分布形状类似三角形, 水流进入进水池, 水流流速不均匀, 1# 和 6# 机组影响最为严重, 详见图 5。

取进水池进口处、进口处 2 m 及进口处 5 m 的 3 个断面, 见图 6。其断面流速分布如图 7、图 8、图 9 所示。3 个断面随着离喇叭管距离越近,

其最大流速分布区域逐渐减小, 较小流速分布区域逐渐增大, 水流流速分布越来越不均匀, 1# 和 6# 机组影响最为严重, 引起机组振动可能性增大。通过 3 个断面流速分布分析可知, 弯道引水渠水流弯曲所带来的影响比较明显, 降低水泵工作效率。

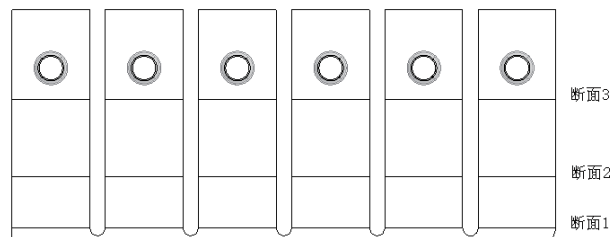


图 6 进水池断面示意图

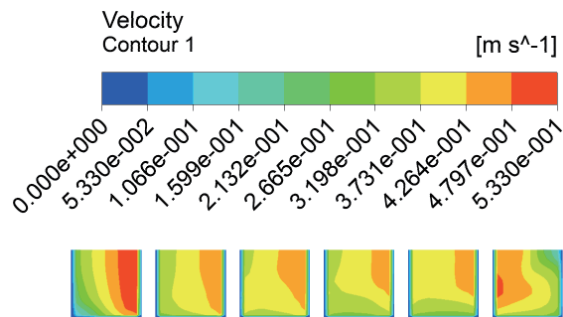


图 7 进水池断面 1 流速分布图

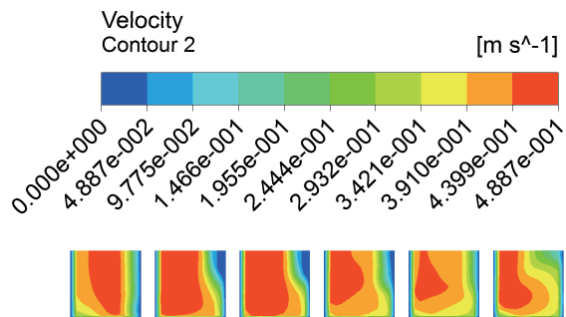


图 8 进水池断面 2 流速分布图

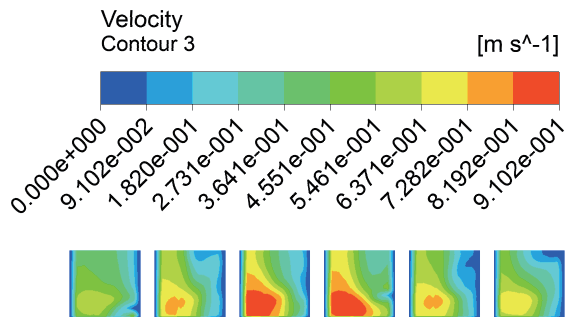


图 9 进水池断面 3 流速分布图

