

# 泵站出水管路交汇方式对管路水力性能的影响

张自超<sup>1</sup>, 张 勇<sup>2</sup>, 高长景<sup>2</sup>, 高志锴<sup>1</sup>

(1. 华北水利水电大学能源与动力工程学院, 河南 郑州 450045; 2. 济南市水利工程服务中心, 山东 济南 250400)

**摘要:** 由于泵站相邻机组共用一个出水管路产生交汇而导致原设计存在一定的问题,提出了3种出水管路交汇方案,采用数值模拟方法研究出水管路不同交汇方式对泵站管路水力性能的影响。结果表明,相比于原方案,方案2、3的水力损失均约减小了50%;3种优化方案均明显改善了出水管路交汇点前的流场分布;相比于原方案,在交汇点前,方案1、2能改善#2机组的流场,漩涡和二次流变小;在交汇点后,方案2的流场分布更光顺,水力性能更优。综合考虑各方案的水力性能和结构特点,确定方案3为最优方案。

**关键词:** 泵站;出水管路;交汇方式;水力性能

中图分类号: TV675

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)02-0125-03

## 1 概况

黄河下游某提水灌溉二级泵站共有20台机组,其特点为相邻2台机组出水管路在通过泵房后经过渡而产生交汇,之后共用一个出水管路。其中,边机组#1、#2机组泵房后出水管路现场情况见图1(为便于描述,称此部分管路为相邻出水管路交汇段)。该部分相邻出水管路交汇段的主要问题为:①出泵房墙壁后,小管径的管路长度较长,导致流速增大,水力损失增加。②变径管较多且变径管长度较短,导致内部流态变差,二次流和漩涡增多,水力损失增加。③在相邻两台机组的出水管路交汇处,变径管距离太短,导致此处的水力损失较大。目前关于泵站相邻机组共用出水管路而产生的管路交汇对出水管路水力性能影响的研究较少<sup>[1,2]</sup>,出水管路交汇方式对泵站性能的影响规律尚不清楚。为此,本文采用数值模拟方法,通过对比分析了不同交汇方式产生的水力损

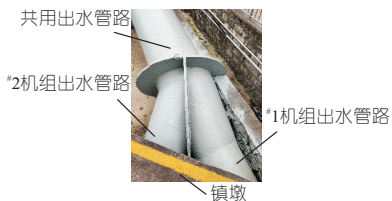


图1 相邻机组出水管路现场布置图

失、流场特性,得到一种水力性能较优的出水管路交汇方案,可为提高泵站安全高效运行提供指导。

## 2 数值模拟

### 2.1 计算域及不同改造方案

用于相邻出水管路交汇段数值计算的三维几何模型由#1、#2机组的吸水管路+泵段+出水管路组成。进水管路为喇叭管进口到水泵进口,泵段为水泵进口到水泵出口,出水管路为水泵出口到交汇点后延长段,延长段长度为管路直径的6倍。数值模拟的计算域见图2。图2中,从泵房后墙壁开始为需改造的出水管路段,即图2中虚线框内部分。

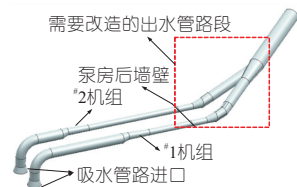


图2 计算域

Fig. 2 Computational domain

针对相邻出水管路交汇段存在的问题,按尽量减少小管径管路的使用、减少变径管的使用并加长变径管长度、加长交汇点处的变径管长度和简化结构等原则,提出3种改造方案(图3),并将3种方案的计算结果与原方案进行对比,得到一

收稿日期: 2022-04-19, 修回日期: 2022-05-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(51909094)

作者简介: 张自超(1987-),男,博士、讲师,研究方向为水泵及水泵站优化设计, E-mail: zhangzichaozcc@126.com

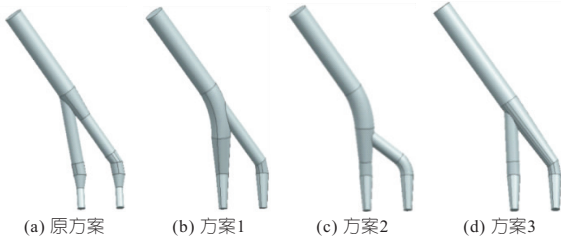


图 3 相邻出水管路交汇段的各方案几何模型

Fig. 3 Geometric models of each scheme for adjacent outlet pipeline intersection part

种最优的改造方案。由图 3 可知,相比于其他方案,方案 3 无弯管结构,整体结构较简单,易于现场施工。

### 2.2 网格及边界条件

几何模型的网格采用四面体非结构网格,经网格无关性分析最终确定每种方案的网格节点数约为  $30 \times 10^4$  个。进口采用速度进口,出口采取自由出流,湍流模型为 Standard  $\kappa-\epsilon$  模型,壁面采用标准壁面函数进行计算。

### 2.3 计算工况

结合二级泵站多年运行情况,在#1、#2 机组同时运行时,选择单泵流量分别为 0.97、0.88、0.83  $\text{m}^3/\text{s}$  三种工况进行计算。

## 3 泵站出水管路交汇方式对管路水力性能的影响分析

### 3.1 水力损失分析

图 4 为相邻机组出水管路交汇段的水力损失,即图 3 中几何模型段的水力损失,计算的是从泵房后墙壁到共用管路出口的水力损失。由图 4 可知,随流量的增大水力损失增加。与原方案相比,3 种优化方案的水力损失均约减小了 50%;方案 2、3 的水力损失最小,表现最优。

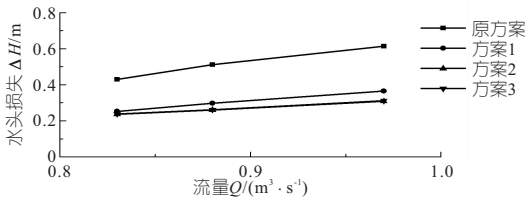


图 4 各方案水力损失曲线

Fig. 4 Hydraulic loss curves of different schemes

### 3.2 流态分析

图 5 为不同工况下不同方案的流态分布。由图 5 可知,与原方案相比,3 种改造方案的内部流态有明显改善,#2 机组出水管路的流态较为光滑,#1 机组的出水管路在转弯前流态较光滑。而各方案中,两台机组的出水管路在交汇点后的流态分布均较紊乱。

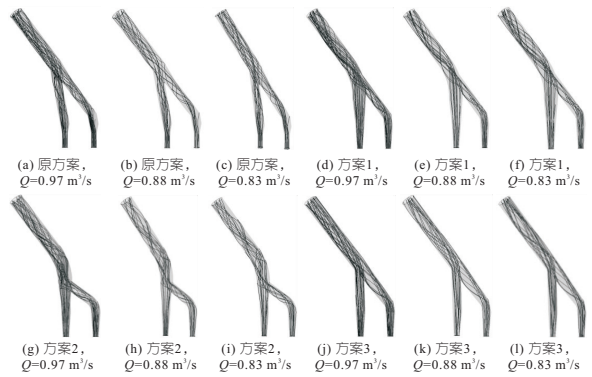


图 5 不同工况下不同方案的流态

Fig. 5 Flow field characteristic of different schemes under different operating conditions

综上所述,相比于原方案,3 种优化方案均明显改善了两台机组出水管路交汇点前的流场分布,且 3 种优化方案的优化效果较接近。

### 3.3 中间流面流态分析

为便于分析各方案的流场特性,选取相邻出水管路交汇段的中间流面进行压力和流线分布分析。图 6 为中间流面上的压力和流线分布。由图 6 可知,方案 2 中,两台机组的出水管路交汇点处形成的压力梯度较大。原方案中,两台机组出水管路的流线分布较紊乱,而方案 1 中,#2 机组的出水管路流线分布较光滑,方案 2、3 中,两台机组的出水管路内流线分布相比于原方案均较光滑。

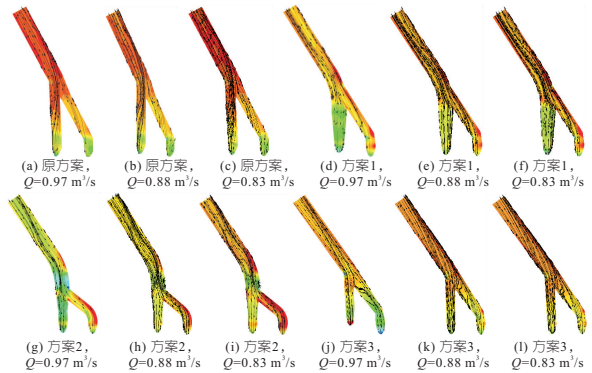


图 6 中间流面上压力和流线分布

Fig. 6 Pressure and streamline distribution on middle flow surface

综上所述,方案 1 中,#1 机组的出水管路流态改善不明显;方案 2 中,两台机组交汇处的压力梯度较大;就中间流面上的压力和流线分布而言,方案 3 的综合性能更优。

### 3.4 出水管路交汇点前后流场分析

选取交汇点前后的管路剖面进行速度和流线分布分析,剖面位置见图 7。图 7 中,圆管面 1、2 分别为交汇点前#1、#2 机组的出水管路剖面;圆管面 3 为交汇点后的共用出水管路剖面。

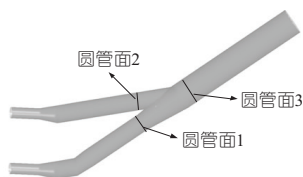


图 7 剖面位置

Fig. 7 Cross section position

图 8 为交汇点前后出水管路剖面上的流速和流线分布。由图 8 可知:①分析圆管面 1、2 上的流线和流速分布。相同流量下,方案 1、2 的<sup>#</sup>2 机组出水管路内的流速整体上小于<sup>#</sup>1 机组,且速度梯度较大;而方案 3 的<sup>#</sup>2 机组出水管路内的流速大于<sup>#</sup>1 机组。在各流量工况下,方案 1、2 使<sup>#</sup>2 机组的截面上的流态变得光顺,漩涡和二次流变

小,流态得到改善;相比于原方案,方案 3 的流态得到一定改善,漩涡和二次流有所减小,但相比于方案 1、2,效果不明显。综上可知,方案 1、2 能改善交汇点前<sup>#</sup>2 机组的流场,就改善速度场和二次流而言,方案 1、2 的效果最优。②分析圆管面 3 上的流速和流线分布。相比于原方案,方案 1 仍存在较大的漩涡和二次流,流态改善效果不佳;方案 2 在交汇点后的流场分布更光顺,漩涡消失或变小;而方案 3 的流态分布相比于原方案有所改善,漩涡有所变小,但改善效果不如方案 2。综上可知,方案 2 可有效改善出水管路交汇点后共用管路内的流场分布,减小漩涡和二次流,使其分布更光顺,水力性能更优。

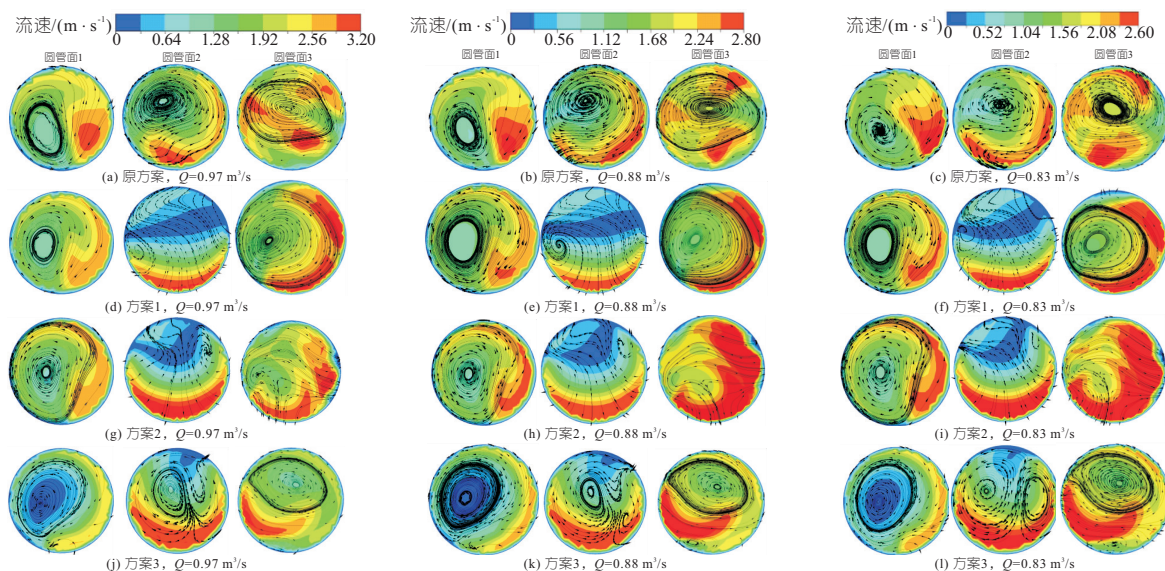


图 8 交汇点前后出水管路剖面上流速和流线分布

Fig. 8 Velocity and streamline distribution on cross sections of outlet pipeline before and after junction

## 4 结论

a. 与原方案相比,3 种优化方案的水力损失均约减小了 50%;方案 2、3 的水力损失最小,且较接近。

b. 在各工况下,3 种优化方案均明显改善了两台机组出水管路交汇点前的流场分布。而各方案中,出水管路交汇点后的流态分布均较紊乱。

c. 相同工况时,优化方案明显改善了两台机组出水管路的流线分布。而方案 1 中,<sup>#</sup>1 机组的出水管路流态改善不明显;方案 2 中,两台机组交汇处的压力梯度较大;就中间流面上的压力和流线分布而言,方案 3 的综合性能更优。

d. 各流量工况下,在交汇点前,方案 1、2 能改善交汇点前<sup>#</sup>2 机组的流场;在交汇点后,方案 1、

2 的流态改善效果不佳。

e. 综合考虑各方案的水力性能和流场特性,并结合各方案的结构特点和现场施工的难易程度,最终确定方案 3 为最优方案。

f. 对于具有类似出水管路交汇形式的泵站,尽量减少小管径管路和变径管的使用,加长变径管尤其是交汇处变径管的长度,采用结构简单的交汇形式,可改善管路水力性能,便于施工。

## 参考文献:

[1] 孙振兴,周勇胜,陈云帆,等. 大型潜水泵站竖井式出水流道的水力性能研究[J]. 中国给水排水, 2018, 34(5):52-56.  
 [2] 邵立特. 东部提水灌区二级提水泵站出水管路设计浅析[J]. 黑龙江水利科技, 2018(5):100-102,184.

### 4 结 论

a. 存在多管道系统的输水泵站优化问题是组合优化调度问题,其实质为一个多阶段决策过程,在管道系统可通过模拟计算得到运行情况的前提下,采用动态规划法既能保证计算结果的准确性,又能保证计算速度。

b. 通过算例检验基于组合变异算子的改进遗传算法的性能,发现改进遗传算法求得的最优值优于传统遗传算法的求解结果,适用于日经济优化调度模型,有效降低了泵站日运行费用。

c. 当泵机组经常偏离设计工况点较远运行时,采用变频调节能节省较多的运行电费。

#### 参考文献:

[1] 郑和震,张召,吴辉明,等. 梯级泵站输水系统日优化调度及经济运行研究[J]. 水利学报, 2016, 47(12):1558-1565.

[2] 王彤,李春桐,刘文睿. 基于遗传算法的地表水取水泵站优化调度[J]. 水电能源科学, 2020, 38(6):89-91,107.

[3] 赵平伟,王海明,张薇薇. 基于改进遗传算法的水泵组合运行优化研究[J]. 电气自动化, 2020, 42(6):92-94.

[4] BRENTAN B M, LUVIZOTTO E, RIBEIRO L. PSO applied to reduce the cost of energy in water supply networks[J]. Applied mechanics & materials, 2013, 409-410:703-706.

[5] 刘雨. 变频水泵在水厂取水系统中的优化运行研究[D]. 扬州:扬州大学, 2019.

[6] 魏良良,丁祥,蔡甜,等. 基于BP神经网络与改进遗传算法的泵站优化调度[J]. 水电能源科学, 2019, 37(5):168-171.

[7] 王吉权,程志文,张攀利,等. 求解有约束优化问题的实数遗传算法改进研究[J]. 控制与决策, 2019, 34(5):937-946.

[8] 王彤,刘嘉祥,韦彪,等. T市供水泵站优化运行调度[J]. 水电能源科学, 2021, 39(8):120-123,132.

## Daily Optimal Scheduling of Pump Station Based on Improved Genetic Algorithm and Dynamic Programming

HE Bin-hao<sup>1</sup>, FU Zhi-min<sup>1</sup>, WU Wei<sup>2,3,4</sup>, ZHAO Ze-jin<sup>5</sup>, ZHOU Bin<sup>5</sup>, WANG Gao-xu<sup>2,3,4</sup>

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 3. Yangtze Institute for Conservation and Development, Nanjing 210098, China; 4. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210098, China; 5. Honghe Nanyuan Water Supply Co., Ltd., Honghe 661000, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of low economic benefits of pump stations caused by unreasonable dispatching, this paper took the pump stations with multiple piping systems as the research object. Considering the impact of peak-valley electricity price, a pump station daily economic optimization model was established by taking the minimum daily operating cost as the goal. The secondary pump station of the connected river reservoir project was taken as a study case to compare constant speed throttling regulation and frequency conversion regulation, which bases on the improved genetic algorithm and dynamic programming method of combined variation. The results show that the improved genetic algorithm is suitable for optimal dispatching of pumping station. At the same time, it is found that when the actual operating points of the pump unit far from the design operating point, adopting frequency conversion regulation has higher economic benefit.

**Key words:** improved genetic algorithm; dynamic programming method; pumping station; optimal scheduling; combinatorial mutation operator

\*\*\*\*\*  
(上接第 127 页)

## Influence of Intersection Forms of Pumping Station Outlet Pipes on Hydraulic Performance of Pipe

ZHANG Zi-chao<sup>1</sup>, ZHANG Yong<sup>2</sup>, GAO Chang-jing<sup>2</sup>, GAO Zhi-kai<sup>1</sup>

(1. College of Energy and Power Engineering, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450045, China; 2. Jinan Hydraulic Engineering Service Centre, Jinan 250400, China)

**Abstract:** For the intersection problem of the outlet pipe shared by adjacent units of pumping station, three schemes for the intersection of the outlet pipe of the adjacent units was proposed based on the original scheme of the pump station. The influence of different intersection forms of the outlet pipe on the hydraulic performance of the pump station pipe was investigated with numerical simulation. The results show that the hydraulic losses of plan 2 and 3 were reduced by about 50% compared to the original plan. The flow field distribution before the junction point of the outlet pipes was improved obviously by the three optimization schemes. In the middle flow surface, the pressure and streamline distribution characteristics of plan 3 were better. Compared with the original scheme, plan 1 and plan 2 can improve the flow field of unit 2 and the vortex and secondary flow were reduced before the intersection point. After the intersection point, the flow field distribution of plan 2 was smoother and the hydraulic performance was better. Both the hydraulic performance of each scheme and construction were considered, plan 3 was finally determined as the optimal scheme.

**Key words:** pump station; outlet pipe; intersection form; hydraulic performance