

# 基于 CFD 技术的侧向进水回流 泵站优化设计

袁连冲<sup>1</sup>, 杨 陈<sup>2</sup>, 陈 斌<sup>3</sup>, 张 华<sup>3</sup>, 顾玉中<sup>2</sup>

(1. 南水北调东线江苏水源有限责任公司, 江苏 南京 210029; 2. 蓝深集团股份有限公司, 江苏 南京 211500;  
3. 南京合工智能环保研究院有限公司, 江苏 南京 211500)

**摘要:**以某污泥回流泵站为例, 针对其侧向进水结构带来的不良流态和水泵运行的安全问题, 进行优化设计研究。基于 Star ccm + 软件平台, 利用 CFD 技术对两种簸箕型流道下的流场进行数值模拟。结果表明: 采用方案 1 隔墙式的簸箕型流道时, 3 台回流泵流量不均, 存在抢水现象, 并且易导致污泥沉降, 沉降区集中在隔墙后方的池底死角; 采用方案 2 的开式簸箕型流道时, 3 台回流泵流量较为均匀, 且运行稳定, 最高效率可达 70%, 缺点在于施工难度大和施工成本高; 最终提出了采用带有斜坡的隔墙式簸箕型流道, 同时将 3 号泵作为备用泵使用, 最终方案有效缓解了隔墙后方的沉降现象, 并在一定程度上改善了回流泵运行的稳定性, 研究结果对该类工程具有一定参考和指导意义。

**关键词:**泵站; 侧向进水; 数值模拟; 流态分析; 污泥沉降

**中图分类号:**TV675 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7839(2022)01-0001-04

## Optimal design of side inflow return pumping station based on CFD technology

YUAN Lianchong<sup>1</sup>, YANG Chen<sup>2</sup>, CHEN Bin<sup>3</sup>, ZHANG Hua<sup>3</sup>, GU Yuzhong<sup>2</sup>

(1. The Eastern Route of South-to-North Water Diversion, Jiangsu Water Resource Co., Ltd.,  
Nanjing 210029, China; 2. Lanshen Co., Ltd., Nanjing 211500, China;

3. Nanjing Hegong Intelligent Environmental Protection Research Institute Co., Ltd., Nanjing 211500, China)

**Abstract:** Taking a sludge return pumping station as an example, the optimal design is studied for the adverse flow regime and the problems of the pump operation safety caused by the side inflow structure. Based on the Star CCM + software platform, CFD technology was used to simulate the flow field under the two dustpan flow channels. The results show that: when the partition wall dustpan type flow channel of scheme 1 is adopted, the flow rate of the three reflux pumps is uneven, there is water grabbing phenomenon, and it is easy to cause sludge settlement, and the settlement area is concentrated in the dead corner of the bottom of the pool behind the partition wall. When the open dustpan type flow channel of scheme 2 is adopted, the flow rate of the three reflux pumps is more uniform, and the operation is stable, the highest efficiency can reach 70%. But The disadvantages of the scheme 2 are the construction difficulty and high construction cost. Finally, the wall type dustpan type flow channel with slope was proposed, and the no. 3 pump was used as the standby pump. The final scheme effectively alleviated the settlement phenomenon behind the partition wall, and improved the stability of reflux pump operation to a certain extent. The

收稿日期: 2021-09-07

基金项目: 江苏省水利科技项目(2019053)

作者简介: 袁连冲(1970—), 男, 总经理, 高级工程师, 硕士, 主要从事水利工程管理工作。Email: 1225125288qq.com

research results provide certain reference and guiding significance for this kind of projects.

**Key words:** pumping station; side inflow; numerical simulation; flow regime analysis; sludge settling

泵站进水前池是泵站及引水工程中重要的水利建筑物,其主要作用是为水泵机组提供良好的来流条件,保证机组安全高效地运行<sup>[1-3]</sup>。受地形条件的限制以及工程实际需要,部分泵站不得不采用侧向进水的布置形式。相对于正向进水,侧向进水前池中更易形成回流区以及流态紊乱而造成的泥沙沉积现象,机组的进水条件由此受到影响,导致水泵运行效率降低<sup>[4-5]</sup>。

基于以上背景,学者对泵站的侧向进水形式展开了大量的研究。孙众等<sup>[6]</sup>基于能量梯度理论对泵站的侧向进水前池进行了优化设计,其研究表明大能量梯度的产生是导致局部回流和漩涡等不良流态产生的原因,因此在泵站进水结构的设计中应力求能量梯度的均匀。扬州大学多名学者针对侧向进水泵站提出了系列优化方案,陈齐<sup>[7]</sup>通过设置导流墩、底坎以及导流墩与底坎相结合的方式进行了整流设计;杨旭<sup>[8]</sup>对不同孔高比和孔宽比的镂空式整流底坎进行了研究,结合数值模拟与物模试验,得出了最优比值;孔梁<sup>[9]</sup>以袁桥泵站为例,提出了采用导流墙与立柱的优化方案,系列研究对同类泵站的优化设计具有借鉴和指导意义。

针对某侧向进水形式的污泥回流泵站,本文以水泵运行的稳定性和安全性为出发点,提出了采用隔墙式和常规开式簸箕型流道的改进方案,最终结合斜坡设计提高了污泥回收率,为类似回流泵站的设计建设提供一定参考。

## 1 初始改进方案

### 1.1 项目概况

该项目为某净水厂改造工程,其污泥回流环节采用侧向进水形式。选用某公司 3 台 600ZQB-85D 型潜水轴流泵作为污泥回流泵使用,设计流量  $2\ 600\ \text{m}^3/\text{h}$ ,设计扬程 4 m,转速 730 r/min,配套功率 45 kW。图 1 为原始方案,3 台回流泵按照横向等距布置。

### 1.2 改进方案

在原始方案下,由于 3 台回流泵的来流条件不一,易导致泵之间出现抢水现象,机组的运行稳定性和安全性受到影响。因此,基于水泵进口导流的思想,提出采用簸箕型流道的改进方案,分别定义 3 台水泵编号为 1、2、3,方案如图 2 所示。

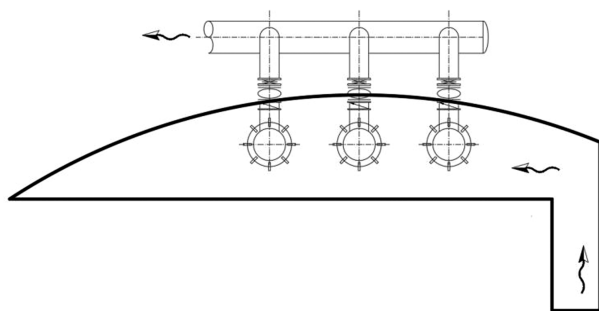


图 1 原始布置方案

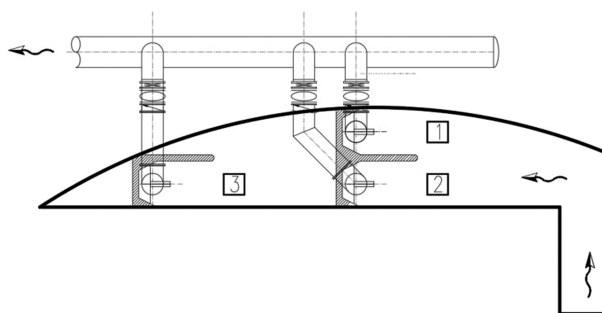


图 2 初始改进方案

簸箕型流道分别设计为隔墙式(方案 1)和常规开式(方案 2),前者施工较为简单,成本较低,后者能为水泵提供稳定的进水来流,但施工相对复杂。两种方案的三维示意如图 3。

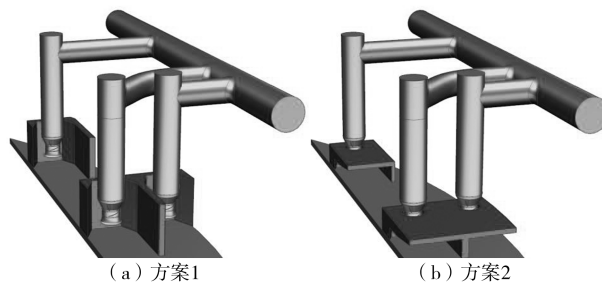


图 3 改进方案三维示意

## 2 数值计算与最终方案

### 2.1 数值计算方法

对流体计算域进行 1:1 三维建模,以 Star ccm+ 作为虚拟仿真平台,采用多面体网格划分<sup>[10-11]</sup>,泵段关键水力部件进行局部加密处理。最终,方案 1 网格总数约为 734 万,方案 2 网格总数约为 860 万。图 4 为具体的网格划分示意图。

对全流场进行定常数值模拟,工作流态为分离流流动,控制方程选用 Navier-Stokes 方程,湍流模型调用 K-Epsilon 模型。叶轮区域为旋转区域,其

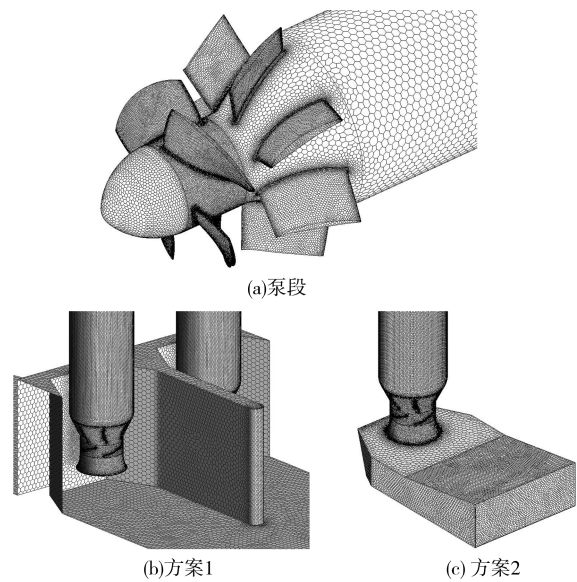


图 4 网格划分

余均为静止区域。依据实际情况,进口设为速度进口,出口设为自由出流边界,相对压力为  $1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

2.2 初始方案分析

方案 1 和方案 2 的数值计算结果分别如表 1 和表 2 所示。可见两方案中的 1 号泵均分担了较大的流量,3 号泵的流量均为最小,且效率最低。相对于方案 1,方案 2 中同位置水泵的运行效率和扬程均略高,其水泵的进水流线如图 5 所示。从流线图中可以看出,3 号泵流量最低,流线颜色最深,其流道进口侧箭头所示区域存在小型旋涡,其余 2 个泵的进水流线均很平顺,有利于水泵的稳定运行,因此效率较高。

表 1 方案 1 数值计算结果

方案 1	流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	扬程/ m	效率/ %	流量极差/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )
1 号泵	0.758	4.29	68	0.062
2 号泵	0.730	4.32	66	
3 号泵	0.696	4.33	62	

表 2 方案 2 数值计算结果

方案 1	流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	扬程/ m	效率/ %	流量极差/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )
1 号泵	0.745	4.37	70	0.030
2 号泵	0.742	4.41	69	
3 号泵	0.715	4.42	66	



图 5 方案 2 水泵进水流线

图 6 为方案 1 的流场分布情况。簸箕型隔墙后方的池底死角位置为污泥沉降的重点区域,从流场图来看,污泥沉降区域的主要特征表现为大旋涡和低流速,如图中箭头所示区域。

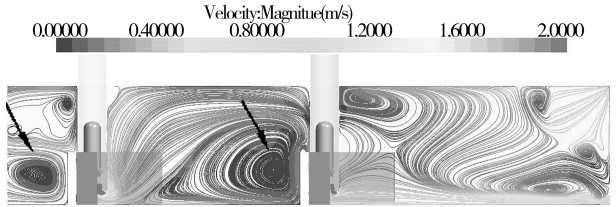


图 6 方案 1 流场分布

因此,方案 1 虽然施工简单,但污泥沉降现象较为严重,且水泵运行稳定性略逊于方案 2。综合考虑以上两种方案各自的优缺点,下文提出了最终方案。

2.3 最终方案的确定

基于施工制造、泵运行效率、稳定性以及污泥回收率等方面的考虑,决定在方案 1 中 1 号泵和 2 号泵的隔墙后方设置斜坡,以缓解污泥沉降和提高隔墙强度,同时取消 3 号泵区域的隔墙,把 3 号泵作为备用泵来使用,即“两用一备”方案。定期或当流量需求较大时开启 3 号泵,以回收后方污泥和分担部分流量。最终方案如图 7 所示。

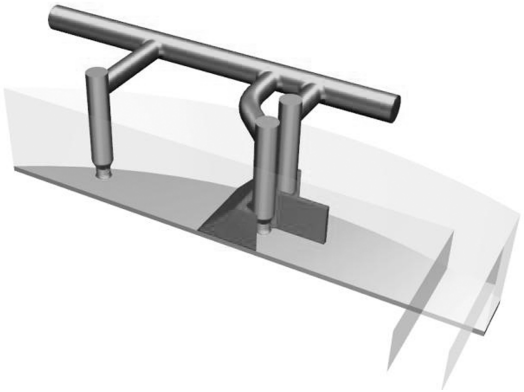


图 7 最终方案示意

2.4 最终方案分析

采用与上文相同的数值计算方法,模拟了 3 台回流泵全开的情况,最终方案的计算结果如表 3 所示。从整体上来看,3 台回流泵的运行流量相对于

方案 1 更为均匀,效率也得到了一定提升,但依然低于方案 2。其中 3 号泵优化效果最为明显,其运行效率相对于方案 1 提高了 3%,3 台回流泵的流量极差由方案 1 的  $0.062 \text{ m}^3/\text{s}$  降到了  $0.049 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

表 3 最终方案数值计算结果

方案 1	流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	扬程/ m	效率/ %	流量极差/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )
1 号泵	0.754	4.31	68	
2 号泵	0.730	4.35	68	0.049
3 号泵	0.705	4.40	65%	

图 8 为最终方案下的流场图。从图中可以看出,3 号泵后方的池底死角区域原本存在的大型旋涡被消除,流线呈现一定的规律性,稳定地进入 3 号泵的吸入口,如 A 区域所示。斜坡所处的 B 区域依然存在较大的低速旋涡,但在重力作用下,沉降的污泥有沿斜坡向下运动的趋势,有利于 3 号泵的污泥回收工作。前方 C 区域的流场相对于方案 1 未发生明显变化,旋涡均位于在池底上方,池底流速较高,不会形成大面积的污泥沉降。

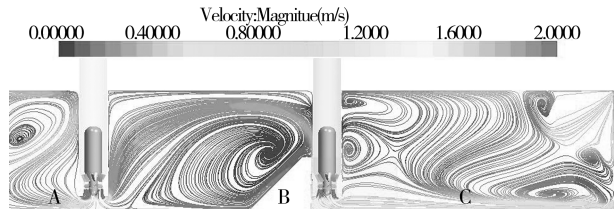


图 8 最终方案流线图

### 3 结 论

(1)方案 1 采用隔墙式簸箕型流道,具有施工简便、制造成本低等优点,但流体运动至隔墙后方,动能损失较大,流体运动失速,易在池底的隔墙死角处形成沉降区,同时回流泵的抢水现象较为明显,不利于泵的安全稳定运行。

(2)方案 2 为常规开式簸箕型流道,回流泵的运行性能最优,最高效率达到 70%,且流量分布最为均匀,流量极差仅为  $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$ ,但施工难度大,成本高。

(3)最终,选择带有斜坡的隔墙式簸箕型流道结合“两用一备”的方案。该方案下,3 号泵的运行效率提高至 65%,流量极差由方案 1 的  $0.062 \text{ m}^3/\text{s}$  降到了  $0.049 \text{ m}^3/\text{s}$ ,同时泵站后方污泥沉降问题也得到了显著改善。

利用 CFD 技术确定了侧向进水回流泵站的优化方案,相对于模型试验的方法,数值模拟节省了大量时间和经济成本,具有一定的工程意义。对于上文的最终方案,隔墙的高度  $h$  以及斜坡的角度  $\alpha$  将会是今后研究的重点方向。

### 参考文献:

- [1] 刘超. 水泵及水泵站[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2009.
- [2] 王国霞. 基于 CFD 数值模拟的泵站前池流态分析及其对淤积形态的影响研究[D]. 郑州:华北水利水电大学, 2018.
- [3] 张聪聪, 周春峰, 周艳霞, 等. “Y”形导流墩几何参数对侧向进水泵站前池流态影响[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2020, 18(3):192-200.
- [4] ZHANG H, SHI W D, CHEN B, et al. Experimental study of flow field in interference area between impeller and guide vane of axial flow pump[J]. Journal of Hydrodynamics, Ser. B, 2015, 26(6):894-901.
- [5] ZHOU Y, ZHANG H, CHEN B. Influence of double-inlet design on the flow-head characteristics of axial-flow pump[J]. Journal of Hydrodynamics, 2021, 33(4):763-772.
- [6] 孙众, 程炀, 刘冠霆, 等. 基于能量梯度理论的泵站侧向进水前池设计优化[J]. 人民长江, 2020, 51(10):138-143.
- [7] 陈齐. 某侧向进水泵站前池流态改善措施研究[D]. 扬州:扬州大学, 2019.
- [8] 杨旭. 基于镂空式整流底坎对侧向进水泵站进水流态改善的研究[D]. 扬州:扬州大学, 2021.
- [9] 孔梁. 袁桥泵站进水前池整流改善研究[D]. 扬州:扬州大学, 2020.
- [10] 陈云帆, 杨陈, 张华, 等. 搅拌机布置方式对生化池流场的影响及优化[J]. 排灌机械工程学报, 2020, 38(10):1045-1050.
- [11] 陈斌, 李贞彬, 张华, 等. 基于轮毂比的潜水轴流泵优化设计研究[J]. 中国给水排水, 2019, 35(23):91-95.