

徐鹏飞, 陈业超, 徐贵颖, 等. 非对称运行西河泵站前池试验分析[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2024, 22(2): 409-416. XU P F, CHEN Y C, XU G Y, et al. Experimental analysis of forebay of Xihe pumping station under asymmetric operation[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2024, 22(2): 409-416. (in Chinese)

非对称运行西河泵站前池试验分析

徐鹏飞^{1,2}, 陈业超³, 徐贵颖², 张丽娟¹, 杨帆²

(1. 淮安市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 淮安 223005; 2. 扬州大学水利科学与工程学院, 江苏 扬州 225009;
3. 中山市堤围管理中心, 广东 中山 528400)

摘要: 为明确西河泵站非对称机组运行时前池的流态特征, 基于物理模型试验的方法对西河泵站的前池及进水渠道进行整体物理模型试验, 共获取4种不同开机方案时西河泵站前池的流场和速度分布规律, 并采用计算流体力学技术对最低水位时8台机组全开的方案进行数值分析。结果表明: 在0.75负荷排涝时, 非对称机组运行方案2的前池两侧有微弱旋流, 开机方案3和开机方案4前池流态均平稳, 开机方案3泵站进口断面的底流速分布均匀度为78.2%; 推荐两侧边机组和中间机组各2台开机运行; 在全负荷排涝流量且最低水位时, 机组全开时两边机组流道进口的水力性能指标最低, 在实际运行时应注意两侧边机组运行的安全稳定性。研究成果可为西河泵站的实际运行管理提供一定的参考。

关键词: 西河泵站; 前池; 流态; 开机方案; 模型试验

中图分类号: TV675 **文献标志码:** A **DOI:** 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2024.0042

前池的流态对泵站机组的安全稳定运行具有直接影响, 为此国内外学者针对泵站前池的流态开展了许多研究工作。当前有关前池流态的研究主要集中在国内, 国内学者对前池的研究内容主要集中于前池的几何参数变化对其流场的影响^[1-4]、前池流场的调控及整流措施的合理性研究^[5-8]、前池流场的整流措施几何参数及布置方式的研究^[9-13]、不同开机组合时前池的表面涡及水位的预测研究^[14-17]、前池泥沙淤积的数值分析^[18-21]等方面。当前国内学者^[22-25]对前池流场的研究主要采用数值模拟, 主要因物理模型试验耗费周期长且费用高, 前池流态的物理模型试验均依托于具体泵站工程开展。

多机组泵站在承担排涝任务时, 内河水位与外河水位的变化关系致使泵站机组有时仅需部分开机即可满足特定排涝要求。当前多机组泵站的部分机组开机大多采用非对称开机方式, 这易导致泵站前池流态出现非对称、偏折流动现象, 进而对运行机组产生不利影响。为明确非对称开机时泵站前池流态的变化规律, 以西河泵站为研究对象, 探讨非对称运行时多机组泵站前池的流动特性。西

河泵站工程位于广东省中山市, 主要功能为排涝, 设计排涝流量400 m³/s(满负荷), 同时兼顾反向应急补水, 设计引水流量145 m³/s, 泵站安装8台叶轮直径3.90 m的竖井贯流泵装置机组, 单机流量50 m³/s, 配套电机功率2 300 kW, 总装机容量18 400 kW。该泵站排涝流量和引水流量均很大, 且引水工况为侧向进水, 此时对泵站前池的水流条件提出了较高要求。若前池来流不均匀, 出现偏流、折冲水流、回流及吸气旋涡等不良流态, 会对西河泵站安全运行及运行效率造成不利影响。

为了明确排涝时非对称开机方案时西河泵站引河及前池的流场分布特征及其对河道流场分布的影响, 本文采用物理模型试验结合数值模拟的方法对西河泵站的前池的流态开展分析。

1 模型试验

西河泵站的水工模型试验按重力相似准则设计成正态模型, 即采用弗劳德数相似条件。此外, 模型设计需满足流态相似要求, 模型的水流是紊流, 雷诺数大于临界雷诺数2 000。其次, 为避免水体表

收稿日期: 2023-08-08 修回日期: 2023-11-15 网络出版时间: 2024-03-14

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/13.1430.TV.20240312.1814.010>

基金项目: 江苏省水利科技项目(2022010; 2021015), 江苏省高校自然科学研究重大项目(20KJA570001); 扬州市科技计划项目(YZ2022192)

作者简介: 徐鹏飞(1986—), 男, 江苏淮安人, 高级工程师, 主要从事泵站的BIM及流场分析研究。E-mail: 1085484494@qq.com

通信作者: 杨帆(1985—), 男, 江苏宿迁人, 教授, 主要从事泵站工程研究。E-mail: fanyang@yzu.edu.cn

面张力作用的干扰,物理模型重点研究区域的水深需大于 2.0 cm。水位测量采用高精度的水位测针,精度可达到 0.1 mm;面流速测量以 XKVMS-02 表面流场测量系统为主,底流速采用 LS-8C 八点光电流速仪,流速仪测量最小流速约为 0.01 m/s,测量最小水深约为 0.02 m,表面流场测量系统主要用于测量泵站前池、航道及引河段区域的表面流场分布,光电流速仪用于补充测量泵站进、出口断面的底流流速。考虑涡流流态在水工模型试验的“缩尺效应”更为显著,为保证安全,增大模型流量对有害旋涡的存在情况的测试。原模型的几何比尺为 25、流速比尺为 5、流量比尺为 3 125、糙率比尺为 1.71,满足《水工(常规)模型试验规程》(SL 155—2012)和

《河工模型试验规程》(SL 99—2012)的要求。西河泵站前池流场的物理模型试验在广东省水利试验基地完成,泵站的水工建筑物采用杉木精制并对表面进行上蜡抛光处理,河道采用河沙塑造、水泥砂浆刮制。西河泵站流速测线的平面位置及物理模型见图 1,测线 CSV1~CSV6 沿水流方向距泵房中心线的平面距离分别为 1.143、0.786、0.357、0.321、0.750 和 1.500 L_p ,测线 CSV1 与 CSV6 的相邻测点间距为 0.161 L_p ,测线 CSV2、CSV3 的相邻测点间距为 0.065 L_p ,测线 CSV4 和 CSV5 的相邻测点间距为 0.129 L_p ,其中 L_p 为泵房长度,各测线位于距物理模型底面距离为 1.0 cm。图 1 中 CSV1~CSV6 分别为测线 1~测线 6。

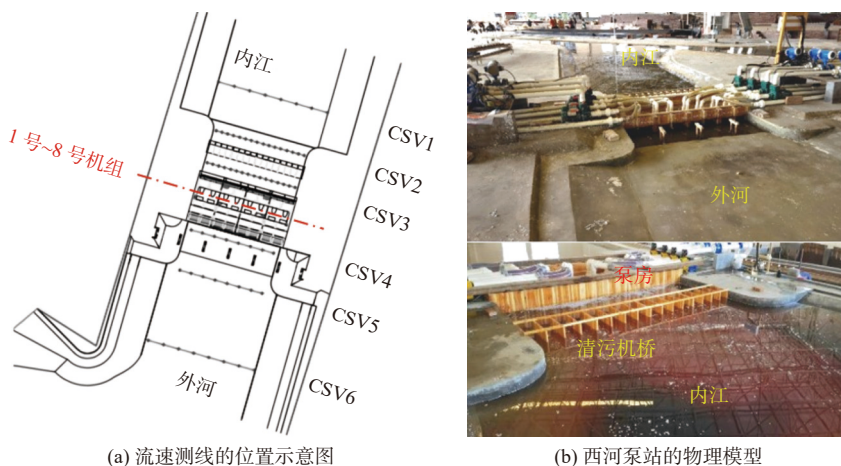


图 1 流速测线的平面位置及物理模型

Fig. 1 Plane position and physical model of flow velocity measuring line

依据西河泵站在汛期天气预报有暴雨时及汛期发生暴雨时西河水闸外水位的具体情况,确定不同的开机方案的组合和原型泵站排涝流量,具体见表 1。4 种不同开机方案时外江均为平潮,且内外江水位均为最低水位时进行流场测试。

表 1 不同的开机方案
Tab. 1 Different startup schemes

类别	开机的台位	原型泵站排涝流量/($m^3 \cdot s^{-1}$)
开机方案1	1号~8号全开	400 (满负荷)
开机方案2	2号、3号、4号、5号、6号、7号	300 (0.75负荷)
开机方案3	1号、2号、4号、5号、7号、8号	300 (0.75负荷)
开机方案4	1号、3号、4号、5号、6号、8号	300 (0.75负荷)

2 结果与分析

西河泵站 8 台机组全开排涝时,泵站进出口表

面流场分布及各测线的底流速见图 2。在内江引河段主流居中,主流区的面流速大部分在 0.9~1.2 m/s,泵站进口前,表面流速较小,在 0~0.6 m/s,沿断面分布较均匀;在泵站出水池以及外河段,主流居中,主流区的面流速大部分在 0.9~1.2 m/s,局部区域出现了更大的面流速,最大流速为 1.44 m/s,两岸斜坡处流速较小,基本在 0.6 m/s 以下。在泵站测线 CSV1~测线 CSV3 范围内,底流速沿该测线所在的断面分布较为均匀,流速值在 0.52~0.68 m/s;在泵站出口及下游测线 CSV4~测线 CSV6 范围的底流速沿断面分布较为均匀,底流速范围分别在 0.78~0.96、0.84~1.10 和 0.50~0.76 m/s。泵站上、下游引河段的流态均较为平顺,泵站进口处水面波动较小,在胸墙的阻水作用下水面存在沿断面分布均匀的弱回流,但未形成明显旋涡,相比泵站进口,出口处水面波动稍大,但水流仍然较为稳定平顺。

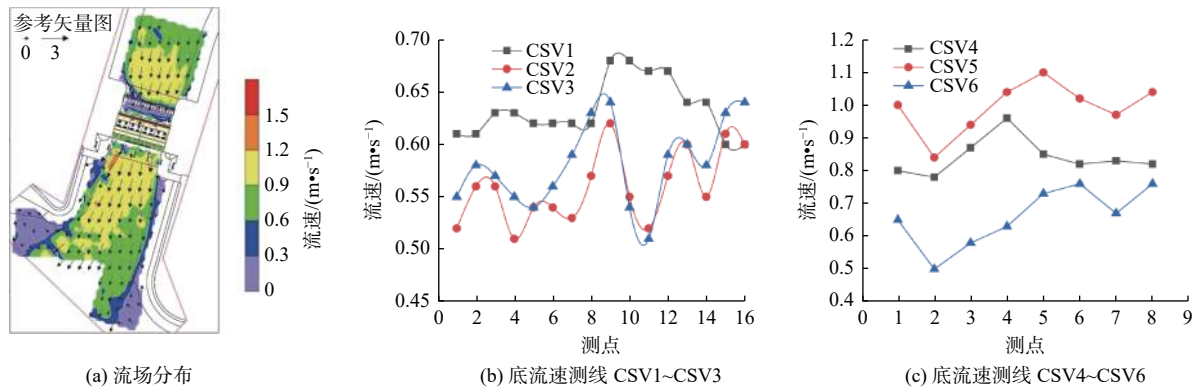


图2 8台机组运行流速分布(开机方案1)

Fig. 2 The flow velocity distribution of 8 units (startup scheme 1)

最低运行水位的排涝工况时,开机方案2共6台机组运行,此时泵站进出口表面的流场分布见图3(a)。如图3(a)所示,在内江引河段,主流居中,主流区的面流速大部分在0.6~1.0 m/s;泵站进口前表面流速较小,在0~0.4 m/s,沿断面分布较均匀;在泵站出水池及外江引河段,主流居中,主流区面流速大部分在0.6~1.0 m/s,局部范围出现更大的面流速,最大速度为1.32 m/s,两岸斜坡处流速较小,在0~0.4 m/s范围内。测线1~6的底流速见图3(b)和3(c):在测线CSV1~CSV2的引河段范围内,底流速沿该测线

所在的断面分布较为均匀,流速值在0.36~0.58 m/s;泵站进口测线CSV3和出口测线CSV4的水流受1号和8号机组未开机的影响,两侧底流速明显小于中间的流速值,在1号机组和8号机组进口形成了微弱的回流区,但无有害的表面旋涡,1号机组和8号机组出口处有局部的滞流区,底流速最大值分别为0.36和0.87 m/s;外江引河段测线CSV5~CSV6,中间底流速大于两侧,底流速分别在0.56~0.87和0.32~0.57 m/s。

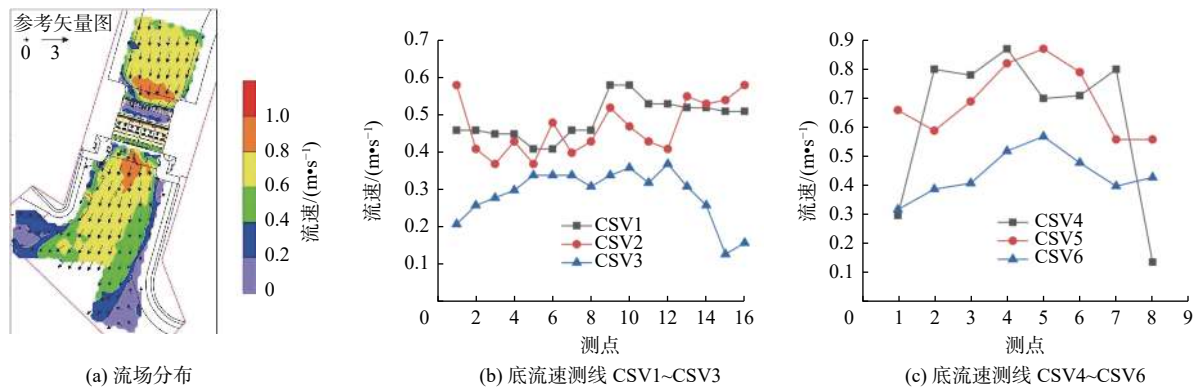


图3 6台机组运行流速分布(开机方案2)

Fig. 3 The flow velocity distribution of 6 units (startup scheme 2)

开机方案3泵站进出口表面流场分布及各测线的底流速见图4。在内江引河段,主流居中,主流区的面流速大部分在0.6~1.0 m/s;泵站进口前的表面流速较小,在0~0.4 m/s,沿断面分布较均匀;在泵站出水池及外江引河段,主流居中,主流区的面流速大部分在0.6~1.0 m/s,局部范围出现更大的面流速,最大速度为1.47 m/s,两岸斜坡处流速较小,在0~0.4 m/s。在泵站上游测线CSV1的底流速沿该测线所在断面分布较为均匀,流速值在0.48~0.63 m/s;清污机桥上测线CSV2、泵站进口测线CSV3和出口测线CSV4,未开机水泵机组前后

的流速相对偏小,底流速最大值分别为0.58、0.48和0.86 m/s;外江引河段测线CSV5~CSV6,底流速分布也受到未开机水泵机组的影响,底流速分别在0.35~0.81和0.42~0.61 m/s。

开机方案4泵站进出口表面流场分布及各测线的底流速见图5。在内江引河段,主流居中,主流区的面流速大部分在0.6~1.0 m/s;泵站进口前,表面流速较小,在0~0.4 m/s,在泵站出水池及外江引河段,主流居中,主流区的面流速大部分在0.6~1.0 m/s,局部范围出现更大的面流速,最大为1.38 m/s,两岸斜

坡处流速较小,在 0~0.4 m/s。在泵站上游测线 CSV1,底流速沿断面分布较为均匀,流速值在 0.45~0.56 m/s;在清污机桥上游测线 CSV2、泵站进口测线 CSV3 和泵站出口测线 CSV4,未开机水泵

前后的流速相对偏小,底流速最大值分别为 0.54、0.44 和 0.93 m/s,外江引河段测线 CSV5 和测线 CSV6 的底流速分布于出口测线相似,底流速分别在 0.39~0.84 和 0.43~0.64 m/s。

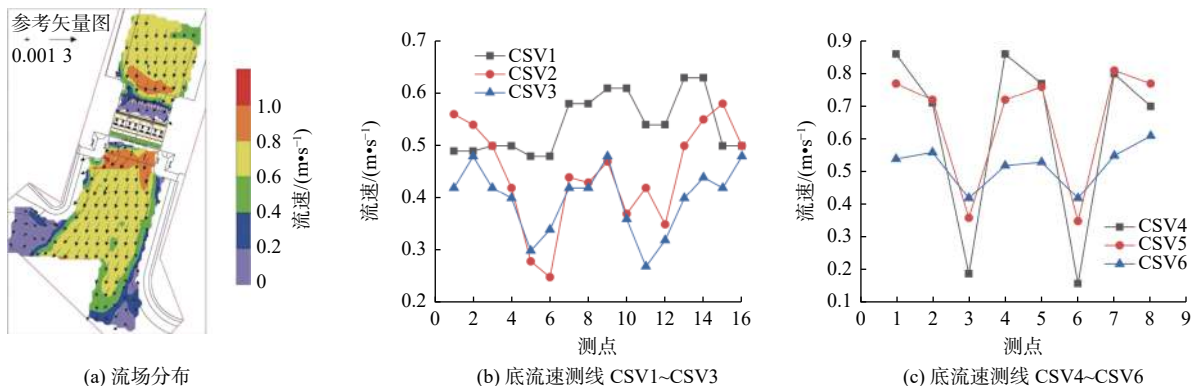


图 4 6 台机组运行流速分布(开机方案 3)

Fig. 4 The flow velocity distribution of 6 units (startup scheme 3)

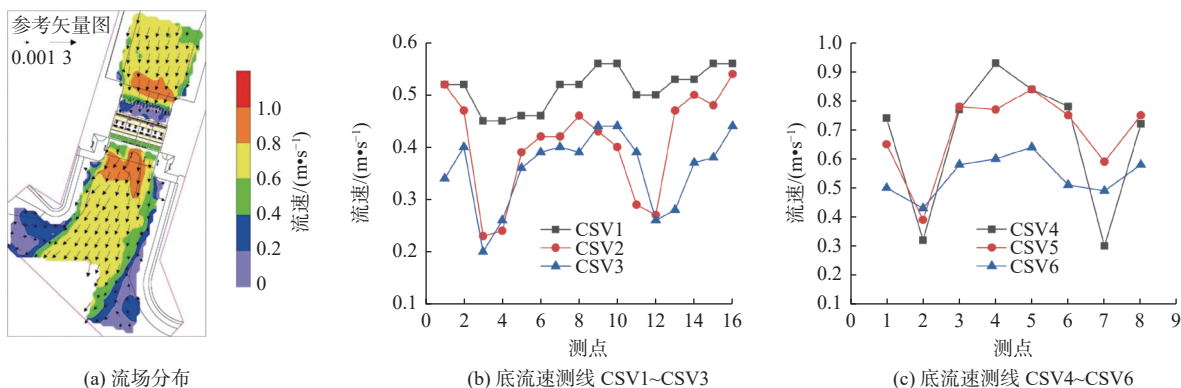


图 5 6 台机组运行流速分布(开机方案 4)

Fig. 5 The flow velocity distribution of 6 units (startup scheme 4)

排涝工况时,不同开机方案时泵站进口流态特征及测线 CSV3 的底流速度分布均匀度见表 2。

表 2 不同开机方案时泵站进口的流态特征及测线 CSV3 的底流速度分布均匀度

Tab. 2 Flow characteristics of the pump station inlet and the uniformity of the underflow velocity distribution of the measuring line CSV3 under different startup schemes

类别	进口流态特征	进口测线 CSV3 底流速度分布均匀度/%
开机方案 2	平稳,两侧有微弱旋流	76.3
开机方案 3	平稳,无明显旋流	78.2
开机方案 4	平稳,无明显旋流	77.2

底流速度分布均匀度的计算方法参阅文献 [10]。通过对开机方案 2、3 和 4 的表面流速测量和实际观测可知,开机方案 2 的前池两侧有微弱旋流,开机方案 3 和开机方案 4 前池流态均平稳,进口测线 CSV3 的底流速度分布均匀度均超过 77%,其中开机方案 3 泵站进口测线 CSV3 的底流速分布均匀度

最大,为 78.2%。在西河泵站排涝流量为 300 m³/s 时,推荐开机方案 3,即开机 1 号、2 号、4 号、5 号、7 号和 8 号共 6 台机组进行排涝。

为进一步明确最低水位时 8 台机组全开时各运行机组进水流道进口面的水力性能指标,采用数值模拟的方法对开机方案 1 时 8 台机组全开时泵站前池内流场进行数值计算,前池流场计算基于大型商业软件 Midas NFX,三维模型构建基于大型商用建模软件 INVENTOR,边界条件及收敛精度的设置参考文献 [7, 10],则本次计算对象的进口设置为质量流,出口设置为压力,自由液面设置为对称壁面,计算精度设置为 10⁻⁵。为了分析网格数量对西河泵站前池流动计算结果的影响,采用 6 组不同网格数量方案分析网格数量无关性,以前池的水力损失为评价指标^[5],当水力损失变化不明显时,则表明该网格数量是合理的。图 6 为不同网格数量时前池水力损失的变化曲线,当网格数量超过 309 万个时前池的

水力损失无明显变化, 相对误差控制在 0.5% 以内, 满足文献 [5] 的数值计算精度要求, 则本文数值计算的流体域网格共计 309 万个。三维模型及网格见图 7。

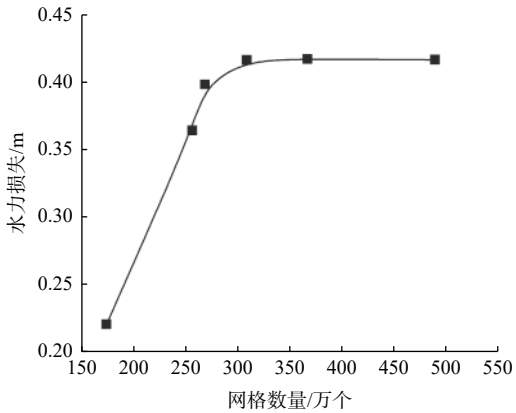


图 6 不同网格数量时前池的水力损失

Fig. 6 Hydraulic loss of forebay in different mesh numbers

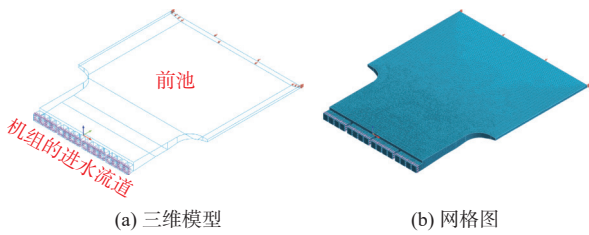


图 7 前池的三维模型及网格图

Fig. 7 Three-dimensional model and grid diagram of the forebay

当 8 台机组全开时, 各机组进水流道进口面的速度分布见图 8, 各机组进水流道隔墩两侧的速度

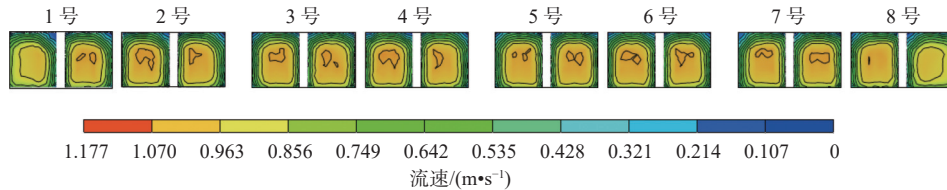


图 8 各机组流道的进口面速度云图(开机方案 1)

Fig. 8 The inlet surface velocity cloud diagram of each unit flow channel (startup scheme 1)

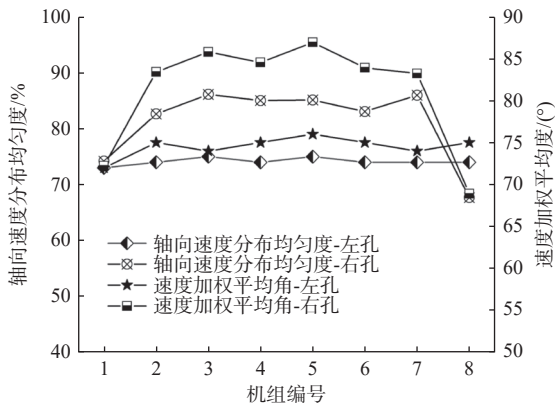


图 9 各机组进水流道隔墩两侧进口面的水力性能参数 (开机方案 1)

Fig. 9 The hydraulic performance parameters of the inlet surfaces on both sides of the partition pier of the inlet passage of each unit (startup scheme 1)

分布并未完全一致, 其中, 边机组进水流道隔墩两侧的速度分布差异更为显著, 中间机组的速度分布差异较小, 表明 8 台机组全开时中间机组流道的入流条件优于两边机组, 主要因为该泵站 8 台机组全开时中间机组的入流流态较好, 在边机组的进水侧出现了小范围的弱回流, 进而影响了边机组的入流速度分布。为进一步定量说明各机组进水流道的入流流速差异性, 采用文献 [26-28] 中的轴向速度分布均匀度和速度加权平均角的计算方法进行分析, 8 台机组进水流道进口面隔墩两侧的水力性能参数见图 9, 中间机组和边机组进水流道隔墩两侧的轴向速度分布均匀度和速度加权平均角的均值存在一定的差异性, 这与图 8 所给出的速度分布云图相一致, 8 台机组的轴向速度分布均匀度的均值为 74.31%, 速度加权平均角的均值为 81.18°, 两边机组 1 号和 8 号机组的进水流道进口面的轴向速度分布均匀度和速度加权平均角均较小, 其中: 1 号机组流道进口面的轴向速度分布均匀度为 72.5%, 轴向速度分布均匀度低于均值 1.81%, 速度加权平均角为 73.22°, 速度加权平均角低于均值 7.96°; 8 号机组流道进口面的轴向速度分布均匀度为 74.5%, 速度加权平均角为 68.31°, 速度加权平均角低于均值 12.87°, 这与数值计算和物理模型试验所获流场特征相一致, 在最低水位工况运行时, 应注意边机组运行的安全稳定性。

3 结论

以物理模型试验为主, 辅以数值模拟的方法, 对在最低运行水位时西河泵站机组满负荷和 0.75 倍负荷运行时各开机方案的前池流态及流道入流速度分布进行了定性和定量的分析, 得到了以下结论:

西河泵站 8 台机组全开满负荷排涝且最低水位时, 泵站进口前表面流速较小, 泵站进口处水面波动较小, 出口处水面波动稍大, 8 台机组进水流道轴向速度分布均匀度的均值为 74.31%, 速度加权平均角的均值为 81.18°, 两边机组进水流道的进口面水力性能指标最低, 其运行的稳定性及耗能最大。

在 0.75 倍排涝负荷时,通过物理模型分析了 3 种不同机组的开机方案,开机方案 3(1 号、2 号、4 号、5 号、7 号和 8 号)时泵站进口流态平稳,无明显旋流,进口测线底流速分布均匀度为 78.2%,高于开机方案 2 和开机方案 4,在 0.75 倍排涝负荷时推荐开机方案 3。

参考文献:

- [1] 樊新建,董春海,王之君,等. 泵站正向进水前池扩散角对池内流场结构的影响[J]. *农业工程学报*, 2023, 39(1): 92-99. DOI: [10.11975/j.issn.1002-6819.202208112](https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.202208112).
- [2] 李明,王勇,熊伟,等. 泵站侧向进水前池几何参数优化[J]. *农业工程学报*, 2022, 38(19): 69-77. DOI: [10.11975/j.issn.1002-6819.2022.19.008](https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2022.19.008).
- [3] 王琪,朱文辰,周济人,等. 侧向泵站进水前池流态数值计算与优化[J]. *中国农村水利水电*, 2023(1): 152-157. DOI: [10.12396/znsd.220476](https://doi.org/10.12396/znsd.220476).
- [4] 孙众,程场,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. DOI: [10.16232/j.cnki.1001-4179.2020.10.024](https://doi.org/10.16232/j.cnki.1001-4179.2020.10.024).
- [5] 常鹏程,杨帆,孙丹丹,等. 多机组泵站侧向进水前池流态及整流措施分析[J]. *中国农村水利水电*, 2021(12): 229-234. DOI: [10.3969/j.issn.1007-2284.2021.12.038](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-2284.2021.12.038).
- [6] 营佳玮,俞晓东,贺蔚,等. 基于流体体积模型的泵站前池流态及组合式整流方案[J]. *排灌机械工程学报*, 2020, 38(5): 476-480,493. DOI: [10.3969/j.issn.1674-8530.19.0176](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-8530.19.0176).
- [7] NHMED N, YANG F, ZHANG Y Q, et al. Analysis of the flow pattern and flow rectification measures of the side-intake forebay in a multi-unit pumping station[J]. *Water*, 2021, 13(15): 2025. DOI: [10.3390/W13152025](https://doi.org/10.3390/W13152025).
- [8] 白玉川,李彬,徐海珏,等. 大跨度泵站多人字型前池导流墩整流分析[J]. *水电能源科学*, 2019, 37(6): 75-79.
- [9] 刘承,陈奇,蒋劲,等. 导流墩布置形式对泵站前池流态影响分析[J]. *中国农村水利水电*, 2018(4): 112-118. DOI: [10.3969/j.issn.1007-2284.2018.04.025](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-2284.2018.04.025).
- [10] YANG F, ZHANG Y Q, LIU C, et al. Numerical and experimental investigations of flow pattern and anti-vortex measures of forebay in a multi-unit pump station[J]. *Water*, 2021, 13(7): 935. DOI: [10.3390/W13070935](https://doi.org/10.3390/W13070935).
- [11] 刘志泉,成立,卜舸,等. 泵站正向进水前池“V”形导流墩整流数值模拟[J]. *中国农村水利水电*, 2022(3): 183-188. DOI: [10.3969/j.issn.1007-2284.2022.03.028](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-2284.2022.03.028).
- [12] 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. DOI: [10.13476/j.cnki.nsbdkq.2020.0064](https://doi.org/10.13476/j.cnki.nsbdkq.2020.0064).
- [13] 奚斌,郑雅珍,段元锋,等. 闸站结合泵站前池流态优化[J]. *长江科学院院报*, 2021, 38(12): 91-97,110. DOI: [10.11988/ckyyb.20201258](https://doi.org/10.11988/ckyyb.20201258).
- [14] 罗海军,张睿,徐辉,等. 改善城市排水泵站进水流态的试验研究[J]. *中国农村水利水电*, 2019(1): 176-179. DOI: [10.3969/j.issn.1007-2284.2019.01.033](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-2284.2019.01.033).
- [15] 薛萍,张召,雷晓辉,等. 基于BP神经网络的不同时间尺度泵站前池水位预测模型[J]. *南水北调与水利科技(中英文)*, 2022, 20(2): 393-407. DOI: [10.13476/j.cnki.nsbdkq.2022.0040](https://doi.org/10.13476/j.cnki.nsbdkq.2022.0040).
- [16] 潘强,施卫东,赵睿杰,等. 基于LES的泵站前池表面涡及液下涡流瞬态特性分析[J]. *农业机械学报*, 2018, 49(5): 186-194. DOI: [10.6041/j.issn.1000-1298.2018.05.021](https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2018.05.021).
- [17] 李颜雁,郭鹏程,孙龙刚,等. 立柱对大型泵站前池和进水池流态影响的数值分析[J]. *灌排机械工程学报*, 2021, 39(9): 929-936. DOI: [10.3969/j.issn.1674-8530.20.0323](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-8530.20.0323).
- [18] 徐存东,王荣荣,刘辉,等. 多泥沙河流侧向进水泵站开机组合对前池流态的影响研究[J]. *水利学报*, 2020, 51(1): 92-101. DOI: [10.13243/j.cnki.slxb.20190662](https://doi.org/10.13243/j.cnki.slxb.20190662).
- [19] 徐存东,李嘉明,王荣荣,等. 开机组合对泵站前池水沙流场特性的影响[J]. *河海大学学报(自然科学版)*, 2022, 50(2): 11-16,91. DOI: [10.3876/j.issn.1000-1980.2022.02.002](https://doi.org/10.3876/j.issn.1000-1980.2022.02.002).
- [20] 资丹,王本宏,王福军,等. 开机组合对泵站进水系统泥沙浓度分布的影响[J]. *农业工程学报*, 2022, 38(7): 59-68. DOI: [10.11975/j.issn.1002-6819.2022.07.007](https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2022.07.007).
- [21] 徐存东,王国霞,刘辉,等. 大型泵站正向前池防淤优化模拟研究[J]. *武汉大学学报(工学版)*, 2018, 51(7): 577-588. DOI: [10.14188/j.1671-8844.2018-07-003](https://doi.org/10.14188/j.1671-8844.2018-07-003).
- [22] 吕和品,陆伟刚,顾梦凡. 凤凰颈泵站工程前池流态优化试验研究[J]. *水电能源科学*, 2021, 39(5): 106-108,96.

- [23] 杨庆胜,顾靖超,窦元之,等. 高含沙水泵站侧向进水前池试验与分析[J]. *中国农村水利水电*, 2020(7): 136-143,148. DOI: [10.3969/j.issn.1007-2284.2020.07.027](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-2284.2020.07.027).
- [24] 施春蓉,余弘婧,杨若冰,等. 联合泵站前池水力性能优化试验研究[J]. *给水排水*, 2020, 56(S1): 21-24. DOI: [10.13789/j.cnki.wwe1964.2020.S1.004](https://doi.org/10.13789/j.cnki.wwe1964.2020.S1.004).
- [25] 窦元之,顾靖超,陆立国. 高含沙水泵站前池扩散角试验与分析[J]. *中国农村水利水电*, 2020(5): 114-119,127. DOI: [10.3969/j.issn.1007-2284.2020.05.023](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-2284.2020.05.023).
- [26] YANG F, LIN Z K, LI J D, et al. Analysis of the internal flow characteristics and structure optimization of vertical submersible axial flow pump device[J]. *Advances in Mechanical Engineering*, 2022, 14(5): 1-23. DOI: [10.1177/16878132221100641](https://doi.org/10.1177/16878132221100641).
- [27] 徐波,吕和平,谭超,等. 泵站正向大扩散角前池八字形导流墩整流研究[J]. *水电能源科学*, 2023, 41(4): 127-130. DOI: [10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20221266](https://doi.org/10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20221266).
- [28] 钱华港,蔡林涛,李娜,等. 大扩散角泵站前池楔形导流墩整流研究[J]. *中国农村水利水电*, 2022(4): 144-149,155. DOI: [10.3969/j.issn.1007-2284.2022.04.021](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-2284.2022.04.021).

Experimental analysis of forebay of Xihe pumping station under asymmetric operation

XU Pengfei^{1,2}, CHEN Yechao³, XU Guiying², ZHANG Lijuan¹, YANG Fan²

(1. Huai'an Water Conservancy Survey and Design, Huai'an 223005, China; 2. College of Hydraulic Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; 3. Zhongshan Embankment Management Center, Zhongshan 528400, China)

Abstract: The forebay is a structure connecting the suction sump (inlet passage) and the diversion channel (igniting river) of the pumping station, and its flow pattern has a direct impact on the safe and stable operation of the pumping station unit. The drainage flow and diversion flow of Xihe pumping station in Zhongshan City, Guangdong Province, are both very large, and the diversion condition is lateral inflow. Higher requirements are now set forward for the flow conditions of the forebay of the pumping station. If the incoming flow of the forebay is not uniform, there will be adverse flow patterns such as bias flow, deflected flow, backflow, and air-core vortex, which will adversely affect the safe operation of the Xihe pumping station and the operating efficiency of the unit.

In order to clarify the flow pattern characteristics of the forebay of Xihe pumping station during the operation of asymmetric units, taken the Xihe pumping station project as the research object, the physical model test method was used to carry out the overall physical model test of the forebay and inlet passage of the pumping station during different startup combinations. The computational fluid dynamic technology was used to numerically analyze the operation scheme of eight units fully open at the lowest water level.

It was found that, when the eight units of the Xihe pumping station are fully opened for drainage, the mainstream is centered in the inland river diversion section. The surface velocity in the mainstream zone is mostly in the range of 0.9 m/s to 1.2 m/s and the surface velocity in front of the inlet of the pumping station is in the range of 0 to 0.6 m/s. In the outlet sump and the outer river section of the pumping station, the surface velocity in the mainstream zone is mostly in the range of 0.9 m/s to 1.2 m/s, and the maximum velocity is 1.44 m/s. The flow pattern of the upstream and downstream diversion sections of the pumping station is relatively smooth. The water surface fluctuation at the inlet of the pumping station is small, and the water flow is relatively stable and smooth. Under the asymmetric unit operation scheme 2, the surface velocity in the mainstream zone of the inland river diversion section is mostly in the range of 0.6 m/s to 1.0 m/s and the surface velocity in front of the inlet of the pumping station is in the range of 0 to 0.4 m/s. In the outlet sump and the outer river section of the pumping station, the surface velocity in the mainstream zone is mostly in the range of 0.6 m/s to 1.0 m/s, and the maximum velocity is 1.32 m/s. Affected by the non-startup of the number 1 and number 8 units, the flow velocity at the middle bottom is greater than that on both sides, and a weak recirculation zone is formed at the inlet of the non-startup unit, but there is no harmful surface vortex. Under start-up scheme 3, the surface velocity in the mainstream zone of the inland river diversion section is mostly in the

range of 0.6 m/s to 1.0 m/s and the surface velocity in front of the inlet of the pumping station is in the range of 0 to 0.4 m/s. In the outlet sump and the outer river section of the pumping station, the surface velocity in the mainstream zone is mostly in the range of 0.6 m/s to 1.0 m/s, and the maximum velocity is 1.47 m/s. The bottom velocity distribution of the upstream section of the pumping station is more uniform along the section, and the bottom velocity distribution of the downstream section of the pumping station is also affected by the non-startup pump, with the bottom velocity in the range of 0.35 m/s to 0.81 m/s and 0.42 m/s to 0.61 m/s, respectively. Under start-up scheme 4, whose flow pattern of the forebay is stable and the uniformity of the bottom velocity distribution of the inlet section is 77.2%, the flow field distribution of the inlet and outlet surfaces of the pumping station is similar to that of start-up scheme 3. Under the conditions of full load drainage flow and the lowest water level, the difference in velocity distribution on both sides of the pier of the inlet passage of the side unit is more significant, and the difference in velocity distribution of the middle unit is smaller. There are some differences in the axial velocity distribution uniformity and velocity weighted average angle on both sides of the pier of the inlet passage of the intermediate unit and the side unit. Therefore, the safety and stability of the operation of the side unit should be paid attention to when the unit is fully opened.

The followings are the results: (1) When the eight units of Xihe pumping station are fully opened for full load drainage and the lowest water level, the surface velocity in front of the inlet of the pumping station is small. The water surface fluctuation at the inlet of the pumping station is small and the water surface fluctuation at the outlet of the pumping station is slightly larger. The average uniformity of the axial velocity distribution in the inlet passage of eight units is 74.31%, and the average value of the velocity weighted average angle is 81.18°. The hydraulic performance index of the inlet surface of the inlet passage of the units on both sides is the lowest, and the stability and energy consumption of the operation are the largest. (2) At 75% of drainage load, the startup schemes of three different units were analyzed by a physical model. Under start-up scheme 3, the inlet flow pattern of the pumping station was stable. There was no obvious swirling flow, and the uniformity of velocity distribution at the bottom of the inlet section was 78.2 %, which was higher than that of startup scheme 2 and startup scheme 4. Startup scheme 3 was recommended at 75% of the drainage load. The research results can provide a certain reference value for the actual operation and management of Xihe pumping station.

Key words: Xihe pumping station; forebay; flow pattern; operational scheme; model test