

DOI: 10.16799/j.cnki.esdqyfh.260281

闸站结合的多功能泵站进水侧流态优化研究

李大亮¹, 李云位², 曹 洋¹, 付浩雁¹

(1. 南京市水利规划设计院股份有限公司, 江苏 南京 210000; 2. 扬州大学 水利科学与工程学院, 江苏 扬州 225000)

摘 要: 为了优化闸站结合的多功能泵站进水侧流态, 在排涝站进水侧90°转弯处中间设置了开孔弧形和线形直立导流墙, 在排洪站和自排闸之间进水侧墩墙前设置了斜降式城垛型开孔导流墙, 采取水工模型试验方法, 获取泵站进水侧流态的具体情况。研究结果表明, 开孔导流墙能有效缩小泵站进水侧导流墙旁的回流区, 较好地解决了偏流较大的问题; 排涝站进水侧流速均匀度由26.50%(74.3%)提高到55.6%(89.9%), 排洪站进水侧流速均匀度由89.20%(85.5%)提高到93.7%(89.5%)。泵站优化后的进水侧流态满足规范要求, 研究成果可为类似泵站进水侧流态改善提供参考。

关键词: 多功能泵站; 进水侧; 整流; 流态优化

中图分类号: S277.9; TV675

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)09-0076-04

Research on Flow Pattern Optimization on Inflow Side of Multifunctional Pumping Station Combined with Gate and Station

LI Daliang¹, LI Yunwei², CAO Yang¹, FU Haoyan¹

(1. Nanjing Water Planning and Designing Institute Co., Ltd., Nanjing 210000, China; 2. Yangzhou University College of Science and Engineering Hydraulic, Yangzhou 225000, China)

Abstract: In order to optimize the flow pattern on the inflow side of the multifunctional pumping station combined with the gate and station, at the 90° turning on the inflow side of the waterlogging drainage station, a perforated arc-shaped and linear vertical diversion wall is set in the middle, and a slanting park-type open-hole diversion wall is set up in front of the inflow side pier wall between the flood discharge station and the self-discharge gate. The specific conditions of the flow pattern on the inflow side of the pumping station are obtained by the hydraulic model test method. The research results show that the perforated diversion wall can effectively reduce the recirculation zone next to the diversion wall on the inflow side of the pumping station, effectively solving the problem of large deviation current. The uniformity of the flow velocity on the inflow side of the waterlogging drainage station increases from 26.50% (74.3%) to 55.6% (89.9%), and that of the flooding drainage station increases from 89.20% (85.5%) to 93.7% (89.5%). The flow pattern on the inflow side of the pumping station after optimization meets the requirements of the specifications, and the research results can provide a reference for improving the flow pattern on the inflow side of similar pumping stations.

Keywords: multifunctional pumping station; inflow side; rectification; optimization of flow pattern

圩区河道当外河水位较高时, 由于防洪的要求, 需要在河口处建设以外排为主的多功能泵站, 同时兼顾挡洪、排洪、自排、引水等功能^[1]。这种泵站具有功能集中、布置复杂、管理方便等特点, 但容易导致泵站进水侧流态复杂化^[2]。当泵站运行时, 来流容易偏向一侧, 出现明显的回流区, 诱发流道入口产生有害漩涡, 对机组运行带来不利影响^[3]。因此, 对多功能泵站进水侧的流态研究是十分必要的。

一些学者对闸站结合的泵站进水侧流态进行了研究, 主要集中在闸站中间隔墩及其优化对进水侧流态的改善^[4-5]以及单独或组合整流措施对进水侧流态的调整^[6-9]; 同时, 泵站侧向进水主要集中在前池前设置导流墩对流态的改善^[10-13]。但是, 对于多功能泵站进水侧流态整体优化研究较少, 尤其对引渠90°转弯处流态的优化。

本文结合安徽省某闸站结合的多功能泵站, 采用水工模型试验的方法, 对泵站进水侧流态进行了研究, 提出了在排洪站和自排闸之间进水侧墩墙前和排涝站进水侧90°转弯处中间设置导流墙, 同时优化了排涝站进水流道入口处挡水墙位置, 极大地改

收稿日期: 2026-03-18

收稿日期: 李大亮(1977—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事水利工程设计工作。

善了多功能泵站进水侧流态,可为类似泵站流态改善提供参考。

1 泵站基本情况

泵站距离外河约 700 m,主要功能为挡洪、排涝、排洪和自排等。泵站城区治涝标准为 20 年一遇最大 24 h 降雨地面不积水,农村圩区为 10 年一遇最大 3 d 降雨 3 d 排至耐淹水深。

工程规模为中型,工程等别为Ⅲ等,主要建筑物级别为 3 级,次要建筑物级别为 4 级。泵站按进出流

方向依次布置连接段、清污机桥、前池、泵(闸)室、交通桥及消力池等。在左岸赔建涵闸一座,连通圩内渠道。站身采用块基型闸站组合结构,左侧为排涝站,右侧为自排闸,中间为排洪站。

泵站设计排洪流量为 12.00 m³/s,设计排涝流量为 5.30 m³/s,总装机容量为 1 080 kW。排洪机组选用 2 台套 1400ZLBK-125 型立式轴流泵机组,排涝机组选用 2 台套 1000ZLB-125 型立式轴流泵机组。水闸自排流量 39.24 m³/s,单孔,闸孔净宽为 6.0 m。工程主要特征参数如表 1 所示,平面图如图 1 所示。

表 1 工程主要特征参数表

单位: m

类别	运行工况	内河侧	外河侧	净扬程	备注	
泵站	排涝工况	设计运行水位	4.80	7.40	2.60	工况 1,外河设计水位-内河设计水位
		最高运行水位	5.70	7.60	3.30	工况 2,外河最高水位-内河最低水位
		最低运行水位	4.30	5.30	0.00	工况 3,外河最低水位-内河最高水位
	排洪工况	设计运行水位	5.60	7.40	1.80	工况 4,外河设计水位-内河设计水位
		最高运行水位	7.00	7.60	3.40	工况 5,外河最高水位-内河最低水位
		最低运行水位	4.20	5.30	0.00	工况 6,外河最低水位-内河最高水位

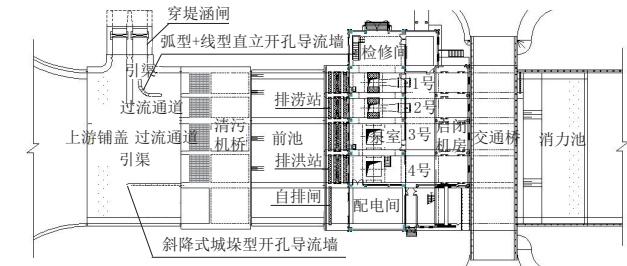


图 1 泵站总平面布置图

2 泵站进水侧原方案试验研究

2.1 试验装置及方法

结合原型图纸和试验目的,绘制模型总体布置如图 2 所示,流速测点位置如图 3 所示。

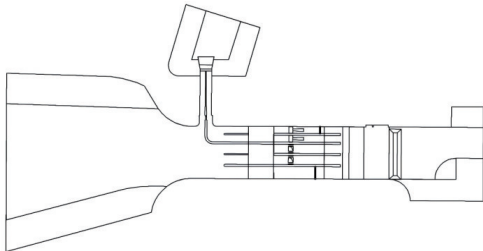


图 2 模型总体布置图

按照试验规程^[14-15],试验采用定床正态模型,满足几何相似、水流运动相似和动力相似准则,模型几何比尺为 20,流量比尺为 1 788.85,糙率比尺为 1.65,流速比尺为 4.47。

根据糙率比尺,模型中进出水等钢筋混凝土部位采用有机玻璃板制作,河道等部位采用 PVC 板制作。模拟范围包括进水渠、引渠、前池、进出水流道

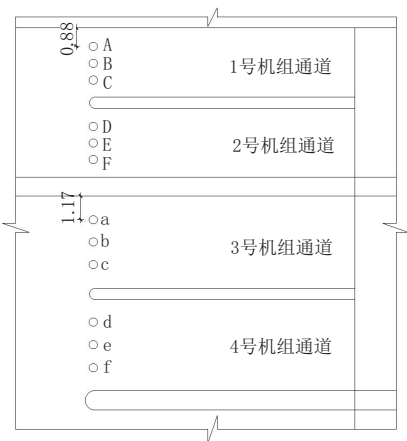


图 3 流速测点布置图

及出口段等。

试验装置采用循环系统,供水由 2 台潜水泵完成。流量量测采用 LDY 一体型电磁流量计,水位量测采用 WYG-Ⅲ 型无线测控智能水位仪,面层流场采用 DPTV 测量系统,底部流场通过化学示踪液展示流动轨迹。

试验时启动供水泵,通过进水箱内的叠梁式水位调节板,使上、下游水位达到试验工况水位(见表 1);待水流稳定后,通过相关仪器采集试验数据并进行分析。每个工况数据采集 2 次以上,确保数据可信度。对后期处理过程中有疑问的数据,均进行二次试验,重新采集数据。

2.2 原方案试验研究

通过对以上 6 种工况的原方案试验研究,泵站进

水侧流态情况主要如下:

(1)排涝机组在工况1下,2台机组同时开启时,1、2号机组前池会产生大范围回流,1号机组引渠入口处会产生小范围回流,回流区域在转弯终端至前池隔墩前;同时,水流流向偏向2号机组,面层最大流速约0.50 m/s。流场面层流态矢量如图4所示。

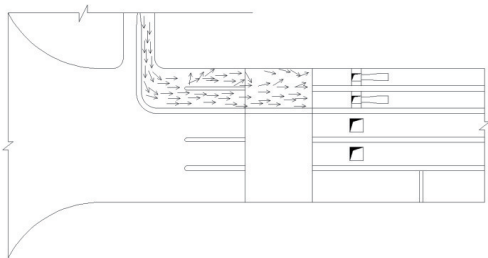


图4 工况1面层流态矢量图(原方案)

(2)排洪机组在工况4下,2台机组同时开启时,水流流向偏向3号机组,水流偏转角约 43° ,面层最大流速约0.30 m/s。流场面层流态矢量如图5所示。

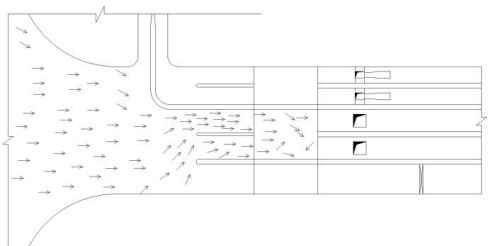


图5 工况4面层流态矢量图(原方案)

(3)排涝机组在3种工况下,进水流道入口前均出现吸气涡。通过观察,1号机组进水流道入口前水面下陷较深,且间断地吸入空气进入流道;2号机组进水流道入口前水面下陷,且形成漏斗状漩涡水柱进入流道。结合相关规范^[16]对各类吸气涡的定义,判断1、2号机组进水流道入口处分别发生5类吸气涡和3类吸气涡,均对机组运行产生不利的影响。

2.3 原方案规范要求

根据相关规范^[17]要求,引渠渠线如需设弯道时,石渠及衬砌渠道弯道半径不宜小于渠道水面宽的3倍;弯道终点与前池进口之间宜有直线段,长度不宜小于渠道水面宽的8倍。当受地形条件限制,不能完全满足上述要求时,大中型泵站可通过数学模型分析,必要时通过水工模型试验论证渠线布置的合理性。泵站前池布置应满足水流顺畅、流速均匀、池内不得产生涡流的要求,宜采用正向进水方式。

原方案由于受到地形条件和平面布置的限制,引渠的平均弯道半径为渠道水面宽的1倍,前池内进水流道入口前存在涡流。因此,不满足规范相关规定的要求。

3 泵站进水侧优化试验研究

3.1 进水侧布置优化方案

3.1.1 排涝泵站进水侧优化措施

经比选,在排涝站进水侧 90° 转弯处中间布置弧形直立导流墙(内侧圆弧半径1.75 m),在中隔墩方向连接长度为0.5 m和1.5 m的线型直立导流墙,同时为了防止弧形导流墙后侧的漩涡掏蚀对底板冲刷,在弧形墙上开设5个直径0.5 m的孔洞,并且使优化后的左右侧过流通道前端进流面积相近,具体如图6所示。通过观察流态,能有效防止水流向右侧通道分流,使水流较平顺的进入左、右过流通道。

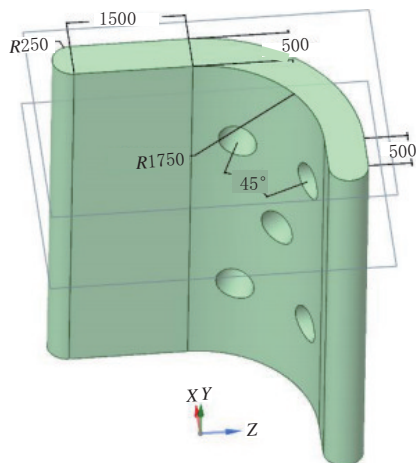


图6 排涝泵站前池优化布置图(单位:mm)

3.1.2 排洪泵站前池优化措施

经比选,在排洪站和自排闸中间隔墩前采用长度为9.0 m的斜降式城垛型开孔导流墙,具体如图7所示。通过观察水流流态,水流能平顺均匀的进入3、4号过流通道,通道内不存在偏流。

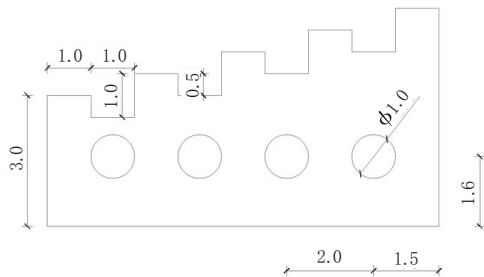


图7 排洪泵站前池优化布置图(单位:m)

3.1.3 排涝泵站进水流道入口上方挡水墙位置优化措施

对排涝泵站进水流道入口上方挡水墙进行前移后,通过观察水流流态,进水流道入口前吸气涡消失。

3.2 优化方案试验研究

在设计工况下,排涝(洪)机组优化方案面层流态矢量如图8、图9所示,其他工况从略。

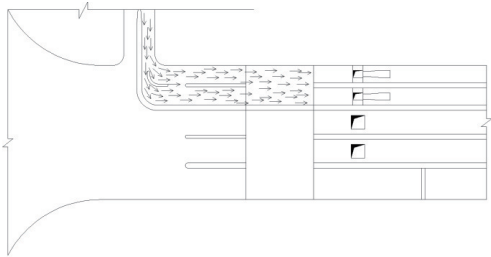


图8 工况1面层流态矢量图(优化方案)

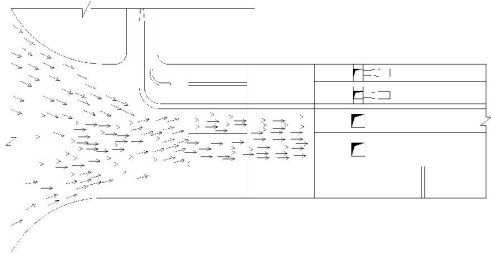


图9 工况4面层流态矢量图(优化方案)

3.2.1 排涝机组

从图9可看出,通过优化的整流措施,排涝机组设计工况下,基本消除引渠入口处偏流与左侧过流通道处回流,前池内回流基本消除,引渠与前池流态大为改善,水流能均匀顺直地进入1、2号机组进水流道。此时,引渠与前池面层流速为0.40~0.30 m/s。

3.2.2 排洪机组

从图10可以看出,通过优化的整流措施,排洪机组设计工况下引渠入口处偏流基本消除,水流能均匀顺直的进入前池和3、4号机组过流通道。此时,前池前进入3号机组过流通道水流偏转角约16°,引渠与前池面层流速约在0.20~0.30 m/s。

3.3 优化前后进水过流通道流速均匀度分析

为了评价分析优化措施的效果,采用无线光电流速仪同步采集测线上3/5水深处测点的流速,进行流速均匀度计算和分析。流速均匀度计算公式(1):

$$V_{\text{un}} = \left[1 - \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{\left(\frac{V_{\text{ai}}}{V_{\text{a}}} - 1 \right)^2}{n}} \right] \times 100\% \quad (1)$$

式中, V_{un} 为轴向速度分布均匀度; V_{ai} 为各流速特征点轴向速度, m/s; N 为节点的数目; V_{a} 为各断面单元平均轴向速度, m/s。

优化前后过流通道的速度均匀度对比如表2所示。由表中可以看出优化后各过流通道速度均匀度均有提高,说明优化措施可行。

4 结 论

本文采用水工模型试验的方法,对某典型多功

表2 优化前后过流通道速度均匀度对比一览表

名称	机组通道			
	1号	2号	3号	4号
优化前	26.5%	74.3%	89.2%	85.5%
优化后	55.6%	89.9%	93.7%	89.5%

能泵站进水侧流态进行优化研究。研究结果表明:

(1)整体优化后的泵站进水侧流态能够满足规范中“水流顺畅、流速均匀、池内无涡流”的要求。

(2)针对泵站进水侧布置的情况,提出了在排涝泵站 90°转弯处设置弧型+线型直立开孔导流墙、在排洪泵站与自排闸隔墩前设置斜降式城垛型开孔导流墙以及前移排涝泵站进水流道入口上方挡水墙等整流措施。

(3)由于条件有限,未对基于流态优化情况下开孔导流墙形状和主要尺寸开展进一步研究。

(4)后续有条件时,可以对开孔导流墙形状和主要尺寸进行优化,也可以研究导流墩开孔对流态改善的影响。

参考文献:

[1] 梁昌梅,王敬,张翔,等.基于水文水动力模型的平原河网地区排涝模拟应用研究[J].中国农村水利水电,2025(5):17-23.

[2] 奚斌,陈志刚,陈叶欣,等.复杂进流条件下泵站进水侧流态优化试验[J].扬州大学学报(自然科学版),2023,26(6):73-78.

[3] 刘超.水泵及水泵站[M].北京:中国水利水电出版社,2009.

[4] 施伟,倪春,于贤磊,等.闸站并列布置工程泵站前池流态改善[J].南水北调与水利科技(中英文),2023(4):810-820.

[5] 张鸿伟.基于CFD数值模拟的闸站合建进水池设计研究[J].水利规划与设计,2022,(10):120-124.

[6] 周虹均,任红蕾.非对称式泵站前池流态及整流措施研究[J].水利规划与设计,2023(8):122-126.

[7] 吴燕武,罗明,高琛.某泵站前池流态模型试验研究[J].江西水利科技,2021(1):21-25.

[8] 张雄伟,奚斌,奚望,等.Y形导流墩对侧向进水泵站进水前池流态影响[J].水电能源科学,2024(10):144-148.

[9] 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.

[10] 韩峰,梁金栋.单侧向泵站进水前池流态数值模拟与改善[J].中国农村水利水电,2018(8):190-193.

[11] 江文,于建忠,傅宗甫,等.弯道河段下游泵站进水前池流态及整流措施[J].人民黄河,2019(4):83-87.

[12] 赵苗苗.导流墩对侧向进水前池流态改善规律研究[D].扬州:扬州大学,2019.

[13] 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.

[14] SL 155—2012 水工(常规)模型试验规程[S].

[15] SL 99—2012 河工模型试验规程[S].

[16] DL/T5489—2014 火力发电厂循环水泵房进水流道设计规范[S].

[17] GB50265—2022 泵站设计标准[S].