

某泵站前池流态模型试验研究

吴燕武, 罗 明, 高 琛

(江西省水利规划设计研究院, 江西 南昌 330029)

摘 要: 某闸站结合式泵站结构形式复杂, 前池易存在严重的不良流态。该文以某泵站为例, 采用物理模型试验对其前池的流态进行预测, 在设计水位抽排工况下, 6 台泵全开、自排孔关闭时进行模型试验, 为某闸站结合式泵站前池流态分析提供参考。试验结果表明: 原设计方案下, 前池内出现逆时针方向的回旋流动且回旋流动的范围主要位于导流墙的周围, 从而容易在水泵中产生汽蚀。针对原设计方案存在的不足, 对其进行改进, 得到了一种较优的设计方案, 即延长导流墙并开三孔且在前池增加消力墩的方式, 该方案能够有效地改善泵站进水条件。

关键词: 闸站结合式泵站; 前池流态; 导流墙; 模型试验

中图分类号: TV663

文献标识码: A

文章编号: 1004-4701 (2021) 01-0021-05

0 引 言

受当地实际地形及工程投资等其他客观因素的限制, 平原地区常见闸站结合的布置形式, 其主要分为对称布置和非对称布置形式。泵站在运行的情况下, 进水池的宽度比引渠底宽大, 因此需在引渠和进水池之间设置前池。前池设计不当易导致不良流态, 前池内的不良流态将严重影响进水池内的流态, 导致水泵性能和汽蚀性能下降, 因此前池的水力设计要求保证水流顺畅、扩散平缓等^[1]。而闸站结合式泵站由于导流墙的存在, 容易出现前池发生复杂的流动, 使得前池流态紊乱, 造成泵站汽蚀, 对泵站的安全运行造成威胁^[2]。罗灿等^[3]以某非对称闸站结合工程为例, 采用 CFD 研究该工程的水力特性, 通过在前池加设隔墩能有效缩小回流区的范围, 提高进水流道流速分布均匀度; 资丹等^[4]为消除大型泵站前池和进水池的漩涡和附壁涡, 采用三维流体力学计算发现, 由八字型导流墩、川字型导流墩和十字型消涡板构成的组合式导流墩能有效消除该大

型泵站前池的漩涡, 提高流速分布均匀度。

为了获得平顺的进水流态, 保证泵站的安全运行, 有必要对闸站结合式泵站前池的水力特性进行研究。本文对某对称式闸站结合式泵站在设计水位抽排工况下进行模型试验研究, 得出了一种较优的改进方案, 该方案可以有效地改善泵站进水条件。

1 相似准则

1.1 相似比尺

模型中的水力现象要能正确反映实际工程的水力现象, 是水工模型试验的基本要求。要保证模型与原型的流动相似, 就必须使两者的边界条件及受力状况均相似, 即必须在模型试验中遵循一定的相似条件和相似准则^[5-6]。模型试验中的水流是以重力为流动的主导力, 即模型按重力相似的 Fr 准则设计, 要求原型和模型流动的 Froude 数 (Fr) 相等。

根据重力相似定律^[7-8], 结合泵站工程尺寸和平面布置以及试验大厅场地条件, 确定模型几何比尺 $\lambda_r =$

$l_p/l_m=30$ 。

式中, λ_r 为模型几何比尺; l_p 为原型长度; l_m 为模型长度。

1.2 模型雷诺数

根据试验研究的目的, 通过流量与水位关系的确定, 选取对下游流态最不利的过流最大流量 $412\text{m}^3/\text{s}$ 及相应的下游模型水深 0.1m , 计算模型雷诺数计算断面选取在下游海漫段, 其湿周为 3.62m 。则模型的流量为:

$$Q_m = Q_{\text{最大}} / \lambda_r^{2.5} = 0.083 \text{ m}^3/\text{s} \quad (1)$$

模型过流断面的面积为: $A_m = 0.863\text{m}^2$

模型过流断面的水力半径为:

$$R_m = A_m / \chi_m = 0.238\text{m} \quad (2)$$

模型过流断面的流速为:

$$v_m = Q_m / A_m = 0.096 \text{ m/s} \quad (3)$$

由文献^[9], 当水温为 20°C 时模型水流的运动粘度系数 ν 为: $\nu = 0.010 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, 则:

$$(\text{Re})_m = \frac{V_m R_m}{\nu} = 22\ 833 > 1\ 000 \quad (4)$$

根据《水工模型试验规程》^[10]该模型水流已达到紊流, 即水流紊动程度已满足试验要求。

再分析一下 90% 最大试验流量下, 模型水流的雷诺数。模型过流断面的流速为:

$$v_m = Q_m \times 0.9 / A_m = 0.087 \text{ m/s} \quad (5)$$

此时模型水流的雷诺数为:

$$(\text{Re})_m = \frac{V_m R_m}{\nu} = 20\ 501 > 1\ 000 \quad (6)$$

根据《水工(常规)模型试验规程》该模型水流已达到紊流, 即水流紊动程度已满足试验要求, 同样其它断面也能满足要求^[10]。

2 试验设计

2.1 模型制作

根据模型糙率相似准则的要求, 模型流动边界的粗糙度必须与原型相似, 按几何比尺 $\lambda_r = 30$, 从阻力相似条件考虑模型材料^[11], 即糙率相似, 有糙率系数比尺为:

$$\lambda_n = \lambda_r^{1/6} = 1.763 \quad (7)$$

原型采用钢筋混凝土, 其糙率 $n_p = 0.011 \sim 0.020$, 则模型相应糙率系数范围应为:

$$n_m = \frac{n_p}{\lambda_n} = 0.006\ 23 \sim 0.011\ 34 \quad (8)$$

据上述数据, 采用优质 PVC 灰板(其糙率系数 $n_p = 0.007 \sim 0.010$)制作模型, 能够满足试验要求。为方便观测泵室段及汇水箱中的水流流态, 该段采用透明有机玻璃制作, 其糙率为 0.01 左右, 满足试验要求。

2.2 模型系统

整个模型包含进口引水段、拦污检修闸、前池、泵室、消力池及防冲槽、桥墩、自排闸等。泵站的总体布置情况示于图 1。

3 测量仪器与测试方法

3.1 流量的量测

模型流量使用 LDY 型智能电磁流量计测定, 超声波流量计校核。利用闸阀、管道泵控制流量大小。电磁流量计上游、下游应有足够的直管段, 一般上游长度不少于 10 倍管道公称通径, 下游长度有 3 倍管道通径。

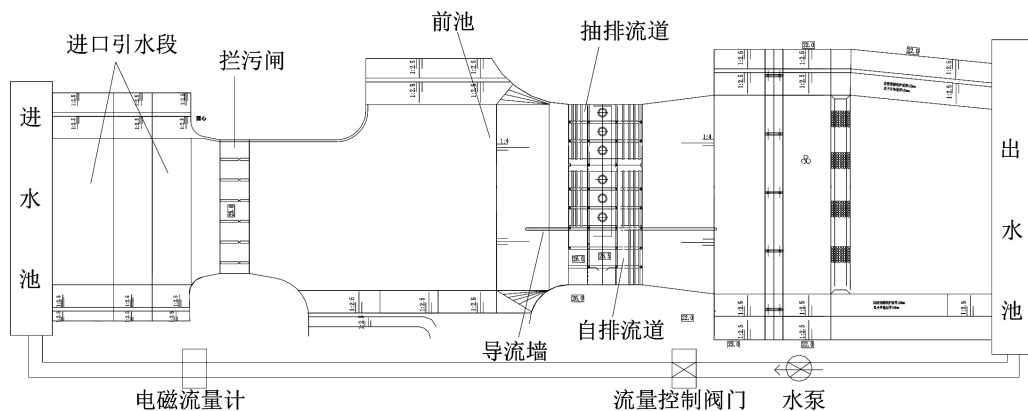


图 1 模型平面布置图

如果上游侧有两个弯头或非全开式阀门(如调节阀)等形式的阻流管件,上游直管段需要更长。如果现场条件不能满足,则在上游侧安装整流器,改善流体场无漩涡。本试验按测流规范在泵站安装 6 台电磁流量计分别计量各泵流量,总循环管安装 1 台电磁流量计计量总循环流量。

3.2 流态及水位量测

面层流态测量时根据试验要求先调节好上下游水位及流量,待水流稳定后在水面均匀洒专用塑料悬浮粒子观察面层流态,同时采用延时曝光的方式利用相机记录面层流场情况。底层流态采用化学示踪法显示其流场,这种方法能清楚地展示出水体的回流和旋流等流态^[12]。水位采用测针测量水位,测量误差在 1mm 之内。

4 试验结果及分析

4.1 原设计方案试验情况

设计水位抽排工况下,由图 2 可以看出,水流由拦污闸方向正向进入泵站前池,在抽排工况下,由于自排流道与泵站流道中间有导流墙的存在,导流墙的长度为 40cm,导致前池内出现逆时针方向的回旋流动且回旋流动的范围主要位于导流墙的周围,从而容易在水泵中产生汽蚀,引起水泵的振动,进而威胁水泵的稳定运行。

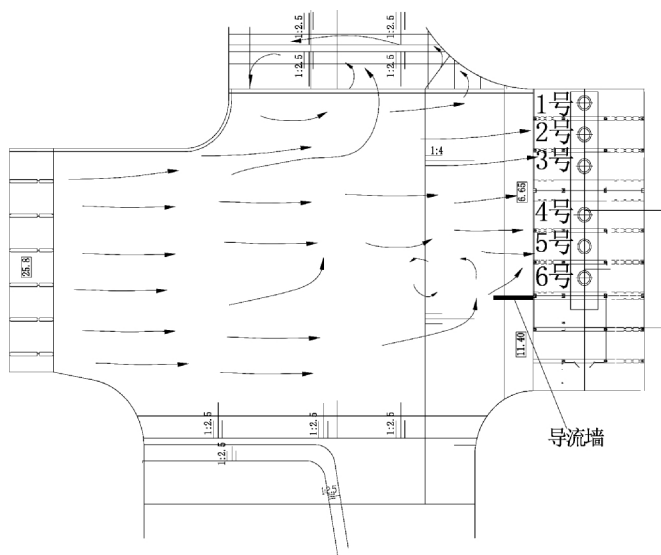
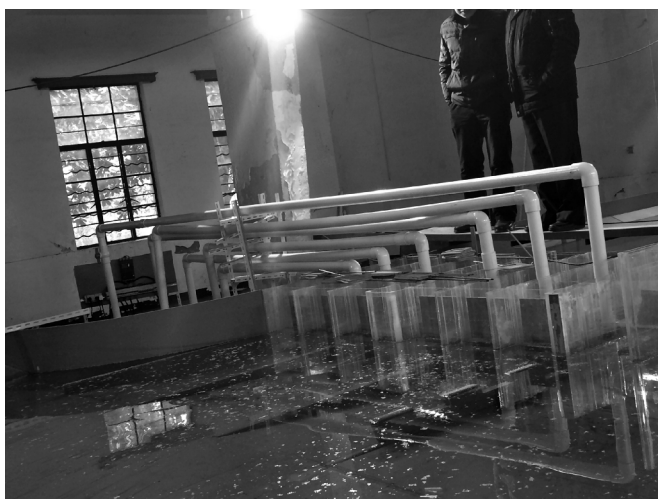


图 2 前池面层流态(原设计方案)

4.2 改进方案布置情况

原设计方案试验中发现的问题为:由于自排闸与泵站间之间存在导流墙,引起了泵站前池内的回旋流动,这可能会成为诱发泵站产生汽蚀的主要原因。针对这一问题本文给出了在设计水位抽排工况下的改进方案,即将导流墙长度延长为 80cm 并开三孔且在前池增加两个消力墩。改进方案对应的模型试验中的具体布置情况如照片 1 所示。



照片 1 改进方案前池布置情况

改进方案在设计水位抽排工况下,当 6 台泵全开、自排孔关闭时对应的面层流态见图 3。

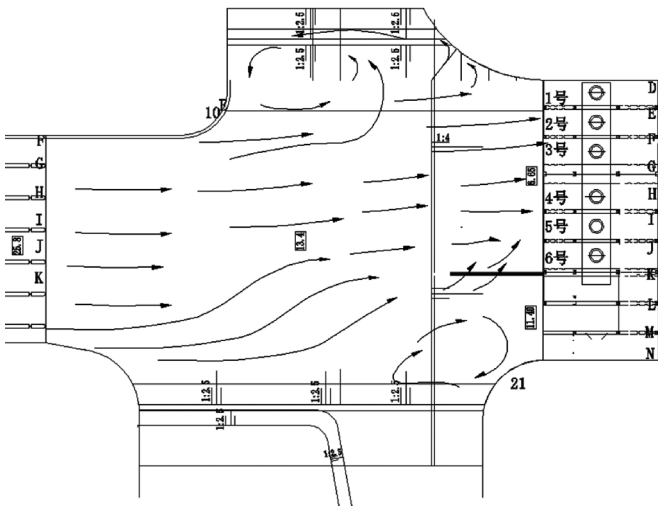


图 3 改进方案前池流态

改进方案把导流墙的长度延长为 80cm 且开三孔并加消力墩,前池和导流墙周围流态都明显改善。

4.3 特征断面流速分析

在模型中布置了 1 个位于进水流道前 5cm 的流速测试断面,在进水流道中部布置 6 条测线,每个测线上布置 7 个测点,顶层测点在水面下方 2cm,底层测点位于底板上方 2cm,其余测点均匀分布。用来计算轴向流速分布均匀度,值越大,越符合水泵的进水设计条件,η 的计算公式如下^[13]:

$$\eta = \left[1 - \frac{1}{\bar{V}_a} \sqrt{\sum_{i=1}^n (V_{ai} - \bar{V}_a)^2 / n} \right] \times 100\% \tag{10}$$

式中:η 为轴向流速分布均匀度,%; $\bar{V}_a$ 为流道进口断面平均轴向流速,m/s; V_{ai} 为流道进口断面计算单元的轴向流速,m/s;n 为进口断面计算单元数。

原设计方案和改进方案各进水流道平均流速分布及流速分布均匀度见表 1 和表 2,改进方案相比于原设计方案前池内流态得到很好的改善,进水流道进口流速分布更均匀,回旋区进一步减小,其中 5# 和 6# 流道进口断面流速分布均匀度得到了大幅提高。

5 结 论

本文对某泵站进行了水工模型试验研究,分析了泵站的进水流态情况,在此基础上,针对原设计方案存在的不足,采用模型试验对修改方案的优越性进行了验证,得到如下结论:

(1) 闸站结合式泵站由于导流墙的存在,容易出

表 1 原设计方案和改进方案各进水流道前平均流速分布表

方案	不同流道前平均流速分布表						m/s
	1#	2#	3#	4#	5#	6#	
原设计方案	0.18	0.17	0.09	0.13	0.16	0.14	
改进方案	0.16	0.15	0.14	0.16	0.17	0.14	

表 2 原设计方案和改进方案各进水流道流速分布均匀度

方案	不同流道前平均流速分布表						%
	1#	2#	3#	4#	5#	6#	
原设计方案	74.24	77.12	71.51	72.56	68.99	69.54	
改进方案	74.78	75.65	74.54	76.58	76.37	76.59	

现前池发生复杂的流动,该旋流动会诱发水泵汽蚀的产生。

(2) 改进方案将自排闸与泵站间导流墙的长度延长为 80cm,并开三孔,且在前池布置消力墩,减少水流回旋,进水流道前特征断面上流速分布更加均匀,流态得到改善。

(3) 本文的研究仅在物理模型试验的基础上进行,对改进方案中导流墙的长度及型式的研究尚不够完善,尤其是最优的改进方案还有待于借助数值模拟的方法进一步优选。

参考文献:

[1] 刘超. 水泵与水泵站[M]. 中国水利水电出版社,2009.
[2] 严忠民,周春天,阎文立,等. 平原水闸泵站枢纽布置与整流措施研究[J]. 河海大学学报(自然科学版),2000(2):50~53.
[3] 罗灿,钱均,刘超,等. 非对称式闸站结合式泵站前池导流墩整流模拟及试验验证 [J]. 农业工程学报,2015 (07):100~108.
[4] 资丹,王福军,姚志峰,等. 大型泵站进水流场组合式导流墩整流效果分析[J]. 农业工程学报,2015(16):71~77.
[5] 韩春玲,王贵贤,时述凤. 水工模型试验中的相似性定律[J].

- 中国水运:学术版,2006(10):67~70.
- [6] Zhan Jiemin, Wang Bencheng, YU Linghui, et al. Numerical investigation of flow patterns in different pump intake systems[J]. Journal of Hydrodynamics, 2012, 24(6): 873~882.
- [7] 朱红耕, 奚斌. 水泵进水池模型试验新方法研究[J]. 农业机械学报, 2003(5): 72~75.
- [8] 黄伦超, 许光祥. 河工与水工模型 [M]. 黄河水利出版社, 2008.
- [9] 吴持恭. 水力学[M]. 高等教育出版社, 2007.
- [10] 中华人民共和国水利部. SL155-95 水工(常规)模型试验规程[S]. 中国水利水电出版社, 1995.
- [11] 奚斌, 周济人, 成立, 等. 王庄闸加固工程断面模型试验研究[J]. 扬州大学学报(自然科学版), 2003(2): 70~74.
- [12] LI Shi-rong, CHENG Wen, WANG Meng, et al. The flow patterns of bubble plume in an MBBR [J]. Journal of Hydrodynamics, 2011, 23(4): 510~515.
- [13] 陆林广, 曹志高, 周济人, 等. 开敞式进水池优化水力设计[J]. 排灌机械, 1997(4): 15~19.

编辑: 张绍付

Study on the model test of the flow pattern in the forebay of a pumping station

WU Yanwu, LUO Ming, GAO Chen

(Jiangxi Water Resources Planning and Design Research Institute Co., Ltd., Nanchang 330029, China)

Abstract: The structure of a gate station with a combined pumping station tends to be complicated, where instable flow regime is likely to exist in the forebay. This article takes a pump station for example and uses physical model tests to make a prediction for its flow regime of front pool. Under the condition of designed water level of pumping station, the model test is performed when 6 pumps are fully-open and the self-draining holes are closed, providing reference for the analysis of flow regime of front pool of station-integrated pumping station. The test results show that under the original design scheme, there is a counterclockwise swirling flow in the forebay, and the scope of the swirling flow is mainly around the diversion wall, which is easy to produce cavitation in the pump. Aimed at the shortcomings of the original design, it was improved and a better design was obtained, that is, the method of extending the diversion wall, opening three holes and adding a stilling pier in the front pool, which can effectively improve the pump Station water conditions.

Key words: Gate station combined pumping station; Flow Condition Model in forebay; Guide wall; Model test

翻译: 吴燕武