

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.08.039

基于 BIM 技术的闸后流态优化水工模型试验

曹恒亮

(上海市堤防泵闸建设运行中心, 上海市 200080)

摘 要: 航塘港泵闸坐落于航塘港与杭州湾交汇处,工程重点保障浦东片防洪除涝,同时兼具水生态环境改善、水资源调度等功能。为了保障航塘港泵闸的安稳运行,基于 BIM 三维模型技术,采用水工模型试验研究工程闸后水流流态,并研究流态优化方案。试验表明,BIM 技术可以有效指导物理模型制作,工程采用的优化方案整流效果较好,可减小局部高流速,减轻外河防护强度。

关键词: 航塘港泵闸;BIM 技术;闸后流态优化;水工模型试验

中图分类号: TV5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)08-0156-05

0 引 言

航塘港南延伸整治工程主要包括排涝泵闸、河道、桥梁等工程内容,本工程的主要功能是防潮、除涝、规划内河航运兼顾水资源调度^[1,2]。航塘港泵闸位于现状金汇海塘上的新开航塘港入杭州湾河口处,工程规模为 24 m 水闸 +60 m³/s 排涝泵站,工程布置采用泵闸不对称平面布置的设计方案,见图 1。

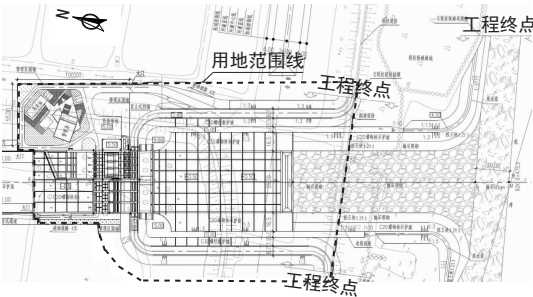


图 1 工程总体平面布置图

闸孔总净宽 24 m,单孔 8.0 m,共 3 孔,为整体式 C35 钢筋混凝土坞式结构。综合考虑结构布置,闸室底板顺水流方向长度与泵房长度相同,取 33.0 m,闸底采用折线型低堰形式^[4]。闸门门型为潜孔式平面定轮直升钢闸门,共 3 扇。闸门采用双向止水,门体尺寸 8.12 m × 5.2 m。水闸纵断面见图 2。

随着工程信息化技术的发展,BIM 等新兴三维设计手段逐渐被采用到泵闸工程的设计当中,从而实现设计精度和效率的提高。航塘港泵闸的设计全过程采用 BIM 技术,本文基于三维 BIM 模型指导泵闸物理模型的制作,最终实现对闸后流态的优化。

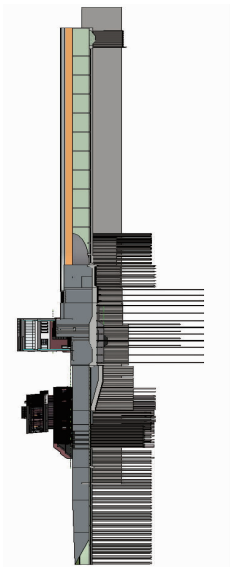


图 2 水闸纵断面图

1 总体技术路线

BIM 模型具有直观、经济、方便修改等特点,物理模型具有概念清晰、应用广泛、认可度高等特点,如果能够充分利用 BIM 技术的这些优势,从而科学指导物理模型的制作和优化,可以提高物理模型的试验效率。

基于 BIM 技术的结构模型优化技术路线见图 3。首先根据初步设计方案搭建 BIM 模型,如泵闸模型、护岸模型、河道模型等;BIM 模型搭建完成以后,分别参照各个子模型,进行物理模型的搭建;基于物理模型试验结果,判断结构是否达到最优;如果没有达到最优,则需要对结构进行优化,对 BIM 模型和物理模型进行迭代优化,直至模型达到最优;如果模型达到最优方案,对最终方案进行确认,输出最终优化后的模型。

收稿日期: 2023-03-06

作者简介: 曹恒亮(1982—),男,本科,工程师,从事堤防技术管理工作。

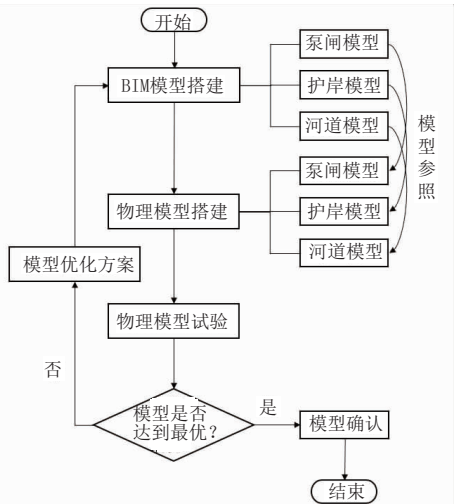


图 3 基于 BIM 技术的结构模型优化技术路线

2 BIM 模型和物理模型搭建

2.1 BIM 模型搭建

航塘港泵闸项目 BIM 设计工作以二次建模为主,正向设计为辅。在方案阶段已确定的主要结构基本尺度和位置的基础上,采用二次建模可较快速的完成主要构件的模型搭建。在此基础上完成其它构件及细部结构深化设计。模型完成后进行相应模型应用(见图 4、图 5)。

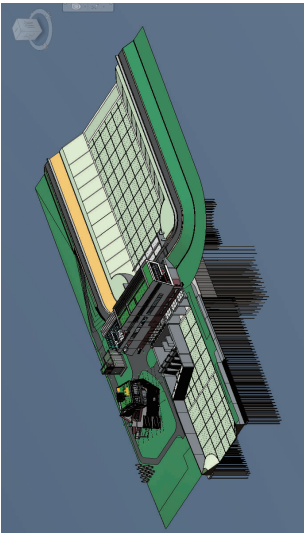


图 4 BIM 整体模型

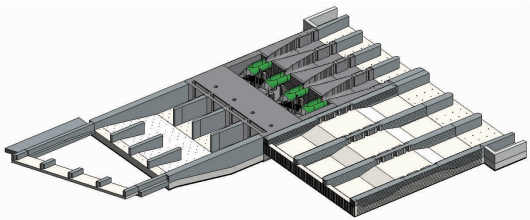


图 5 出水流道层模型

模型构建过程中,泵室、进出水池及海漫段主体结构的建造属于水工结构专业,水泵的选型、安装及维护属水机专业,工作闸门、检修闸门以及闸门启闭

属于金结专业,泵站的供配电需要电气专业等。各专业 BIM 模型在统一中心的文件基础上,能够定期进行整合、碰撞检查,及时修改冲突内容,避免了传统设计工作中不断进行的专业交接、冲突修改、再交接等过程,极大提高了设计效率。

2.2 物理模型搭建

参照前期搭建的 BIM 模型搭建物理模型,物理模型采用几何正态模型。为保证模拟段的相似性,需要对内河(团结河河口范围)及外河(杭州湾)作适当模拟。根据搭建完成的三维 BIM 模型,物理模型的制作可以实时对照和修改,从而保障物理模型的精度和准确性。

综合考虑试验内容和试验条件,选取模型线性比尺 $\lambda_l=25$,泵闸物理模型见图 6。模型中,内河边界按均匀入流边界处理,对航塘港、团结河两侧河道三个方向供水。水泵装置只对进出水流道和水泵流量的部分进行模拟。航塘港泵闸外河出口水流受杭州湾潮流影响,可能存在不同偏角,试验中通过调整模型边界出流位置,近似模拟航塘港外河出流方向,见图 7。

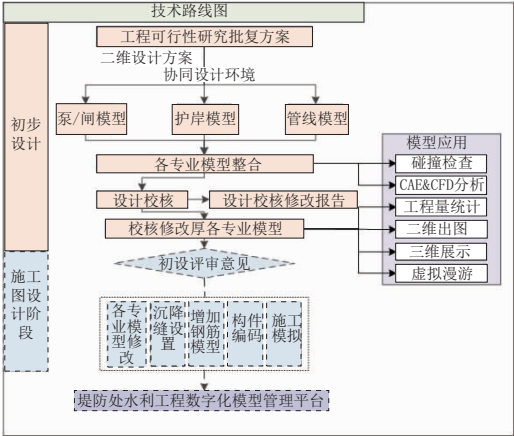


图 6 BIM 模型技术应用路线



图 7 航塘港泵闸整体水工模型

河道及地形用水泥砂浆制作;杭州湾近岸海床采用水泥砂浆拉毛技术,适当加大糙率;枢纽建筑物用有机玻璃制作。

3 原方案试验

3.1 消能试验

本节主要观测水闸在消能试验主要观测不利工

况下消力池能否形成稳定水跃、出水池水流衔接形态及海漫段流态。主要试验工况列于表 1。

表 1 消能试验主要工况

工况	内河水位 /m	外河水位 /m	闸门开启高度 /m
1	3.75	0.04	1.75
2	3.75	0.04	1.0
3	3.75	-1.45	0.5

工况 1,内河来流均匀平顺。过闸流态为自由孔流,消力池能形成稳定水跃。通过试验可以说明,设计方案的消力池长度深度均能满足要求。

工况 2,总体情况和工况 1 相似。当外河水位上升至 1.35 m 时,池后跌落消除,池中水跃前移至消力池坡面中下端,水跃平稳,出水水流向外河右侧偏出,泵站侧(左侧)形成较大的回流区。

工况 3,总体情况和工况 1 相似。当外河水位上升到 0.9 m 时,池后跌落消失,泵站侧(左侧)形成较大的回流区,出水水流偏于外河右侧。

根据试验结果,在各种工况下,消力池能形成稳定的水跃。池后水面跌落,在闸下形成了较大的跌落区,出水水流立面衔接不佳,海漫段水面波动显著。随着外河水位升高,池后水面跌落减小,出水水流立面衔接形态会逐渐改善。主流偏于外河右侧,在泵站侧(左侧)形成较大的回流区。

内河流态见图 8。消能工况下闸室流态见图 9。外河流态见图 10。



图 8 内河流态照片



图 9 消能工况下闸室流态

3.2 内外河流态

本节主要观测水闸在内外河水位差较低时,闸



图 10 外河流态照片

门全开排涝运行的内外河流态。闸门全开排涝试验主要工况列于表 2。

表 2 闸门全开排涝试验主要工况

工况	内河水位 /m	外河水位 /m	排涝流量 /($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
1	2.80	2.50	180
2	3.75	3.65	150

工况 1,过闸水流为淹没堰流,出闸水流比较均匀,见图 11。出闸水流通过泵闸隔墙后向左侧突变扩张,形成明显的回流区,主流偏向于外河右侧,外河过流宽度接近海漫末断面 3/4 河宽,水流向外河出口扩散,接近全宽河道。外河出口断面流速具有左慢右快的特点。外河出口后,主流方向大致沿河槽方向,两侧(海滩)出现较大的回流区。

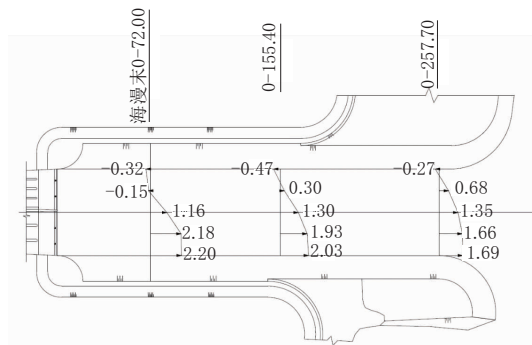


图 11 排涝工况 1 外河垂线平均流速分布(原方案)

工况 2,总体流态与工况 1 相近,但流量减小,内外河流速明显降低,见图 12。

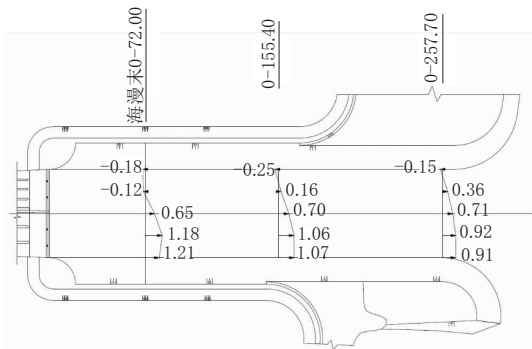


图 12 排涝工况 2 外河垂线平均流速分布(原方案)

试验表明,在内外河水位差不大,闸门全开运行时,内河水流均匀平顺,外河水流偏于右侧,泵站侧

(左侧)形成较大回流区。外河局部流速相对较大,可能引起无护砌部位局部冲刷。增设适当的闸下整流措施,可增加外河过流宽度,减少局部最大流速,减轻可能的局部冲刷。

4 整流方案对比试验

进行整流方案对比试验的主要目的是找到比较理想的优化方案,从而调整优化闸下水流,缓解外河侧河道的防护压力。闸下整流方案比较试验主要工况见表 3。

表 3 闸门全开排涝试验主要工况

工况	内河水位 /m	外河水位 /m	排涝流量 /(m ³ ·s ⁻¹)	闸门状态
1	3.75	0.04	50	局开
2	3.75	-1.45	50	局开
3	3.75	0.50	100	局开
4	3.75	1.50	200	局开
5	3.75	2.00	200	局开

4.1 潜坝方案

潜坝方案(见图 13)主要原理是通过壅高河道水位来减小水流流速,同时使水流得到均化,最终减轻水流对外河道防护结构的冲刷(尤其是低水位运行工况下)。试验中,在外河直线段末设置了一条抛石坝,高度 2.0 m,顶宽 3.0 m,断面选用梯形截面,上下游边坡坡比约为 1:1.5。抛石坝选用粒径 0.03 m 左右的石子堆筑而成。



图 13 潜坝方案

试验中观测到,各试验工况下,潜坝以上的外河水流整体比较平稳,泵站侧(左侧)的回流区明显缩小,外河流态被明显改善。但是,由于坝后存在较大的水流跌落区,会形成大范围的高流速区,水面波动显著增大,各工况潜坝坝顶及下游面发生明显破坏(见图 14),石子从坝体上滚落并向下游运动。因此不建议采用潜坝方案。

4.2 底坎方案

在消力池出口及海漫首段增设底坎,从而利用水流越坎的扩散作用,可在一定程度上均化水流,最终降低局部水流的流速。如果适当缩短外河隔



图 14 潜坝被破坏

墙长度,可以明显扩散池内水流,但隔墙过短可能影响消力池水跃稳定。

4.2.1 方案一

方案一,外河泵闸隔墙长度缩短 6 m,顶高程降至 2.0 m。消力池尾坎上增设底坎,长度为 0.75 m,见图 15。根据方案一试验情况,闸后水流扩散明显加强,左侧回流区明显缩小,防冲槽后各工况外河基本全宽过流。由于消力池尾坎升高,坎后跌落区仍然是比较大的。



图 15 底坎方案一

4.2.2 方案二

方案二,取消外河侧泵闸隔墙,在消力池中部(距尾坎 6 m)设置一道高 1.0 m,厚 0.75 m 的底坎,见图 16。各工况消力池后水面跌落区有所减小,但由于坎顶高程降低,水流向左侧扩散明显减弱。



图 16 底坎方案二

4.2.3 方案三

方案三,在方案一基础上,在消力池尾坎后分布布置高 0.75 m、0.75 m、0.5 m 底坎各一道,合计 3 道底坎,每道底坎间隔 6 m,见图 17。其作用一是减小左侧回流区;二是分割压缩跌落区。

消力池后海漫首段布置的三道底坎,在增加扩散均化水流的同时,将原有的跌落区分割、压缩,在各坎之间分级跌落,形成弱水跃。最后一道底坎后水



图 17 底坎方案三

面跌落区长度 3~4 m。底坎区以下外河水流平顺。试验中还观测到,随着外河水位升高,出闸水流向左侧扩散渐渐减小,流速“左降右升”,但过流宽度仍明显大于原方案宽度。相较原方案,外河水流均匀性得到了增强。底坎方案三不同排涝工况外河垂线平均流速分布见图 18、图 19。



图 18 排涝工况 1 外河垂线平均流速分布(底坎方案三)



图 19 排涝工况 2 外河垂线平均流速分布(底坎方案三)

4.3 BIM 模型反馈

根据物理模型对比方案的试验结果,对 BIM 模型相关构筑物的消能措施进行反馈修改,提高三维模型的准确性,从而继续指导后期的设计、施工和运行管理,见图 20。

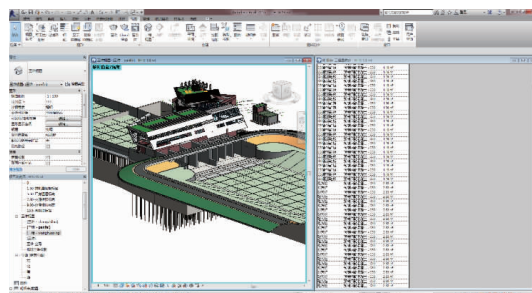


图 20 BIM 模型优化修改

5 结 语

(1)通过 BIM 三维模型设计,对物理模型的制作进行对照和指导,可以提高物理模型制作的精度,提高模型试验的准确性;物理模型的试验结果可以对 BIM 模型的优化进行反馈,提高 BIM 模型的合理性,方便后期的设计、施工和运行管理。

(2)水闸运行,外河低水位时主流偏左,随水位升高,主流逐步右移。外河水位 2.0 m 左右时,主流基本居中,高水位时主流明显偏右。在海漫首段设置分段底坎,能有效扩散出池水流,分割压缩原有水面跌落区,均化外河水流,减小局部高流速,整流效果较好,可明显减轻外河防护强度,本工程建议采用该方案。考虑到底坎区域附近波动跌落的流态,建议在海漫首段 20 m 区域适当增加护坦结构强度。最低运行水位下外河出口近区水面跌落流速较大,外河出口附近区域采用抛石、石笼、沉排等能够适应变形的防护措施。除此之外,工程还需要进行控制运行试验,深入优化控制运行方案。

参考文献:

- [1] 徐祖信,卢士强.平原感潮河网水动力模型研究[J].水动力学研究与进展,2003(3):176-181.
- [2] 丁明华,张马泵站水利枢纽总体布置研究[J].城市道桥与防洪,2018(7):168-169.
- [3] 潘源,沈小立.航塘港泵闸水利枢纽总体布置研究[J].城市道桥与防洪,2019(12):79-82.
- [4] 周颖.航塘港泵站泵装置选型及优化[D].扬州:扬州大学,2021.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smcdi.com