

开敞式双向泵装置出水锥管的优化设计

周伟¹, 陶玮¹, 周红兵², 唐秀成²

(1. 江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 江苏扬州 225127; 2. 盐城市水利勘测设计研究院, 江苏盐城 224002)

摘要: 为满足排涝和抽引双重功能, 节省土建投资, 并且考虑到两种工况下设计扬程和校核扬程相差较大, 新建的溧港泵站采用了开敞式双向流道泵装置结构型式, 在大多数引水工况下, 出水流道的顶板不被淹没, 流道内具有自由表面。在分析溧港泵站开敞式双向进出水流道设计特点的基础上, 运用计算流体力学方法, 对进水流道、叶轮、导叶、出水流道及门槽等进行了全流道内部流动数值仿真, 对出水锥管进行了水力设计优化和装置性能预测。通过多方案比较出水流道的水力损失和装置效率, 优化出水锥管设计参数。在设计工况下, 优化设计方案对应的装置效率达到了 66.05%, 优化设计效果明显, 有效地提高了溧港泵站的工程效益。

关键词: 开敞式双向泵装置; 出水锥管; 优化设计; 性能预测; 数值仿真

中图分类号: TV131.6; TV675 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2014)02-0164-03

Optimal Design of Outlet Conical Pipe for Open Dual-Directional Pumping System

ZHOU Wei¹, TAO Wei¹, ZHOU Hong-bing², TANG Xiucheng²

(1. Jiangsu Surveying and Design Institute of Water Resources Co., Ltd., Yangzhou 225127, China;
2. Yancheng Surveying and Design Institute of Water Resources, Yancheng 224002, China)

Abstract: In order to meet the double functions of irrigation and drainage and to save civil construction investment, dual-directional pumping system was adopted in the newly built Zaogang pumping station, considering the large difference between the design and check head under the irrigation and drainage conditions. Under most of the irrigation conditions, the crest slab will not be submerged with free water surface. Based on the analysis on the design features of dual-directional inlet and outlet passages of Zaogang pumping station, the method of computational fluid dynamics was applied to perform numerical simulations on the internal flow of full passages including inlet and outlet passages, impeller, guide vanes, and gate slots, and the optimal hydraulic design of outlet conical pipe and the prediction of pumping system performance were conducted. The hydraulic losses of outlet passage and system efficiency were compared for different schemes and the design parameters of outlet conical pipe were optimized. Under the design conditions, the pumping system efficiency of the optimal scheme has reached 66.05%, which can effectively improve the engineering benefits of Zaogang pumping station.

Key words: open dual-directional pumping system; outlet conical pipe; optimal design; performance prediction; numerical simulation

新建的溧港泵站是在原溧港抽水站基础上的扩容工程, 以排涝为主, 兼有抽引功能, 排涝设计扬程和校核扬程分别为 1.67 m 和 3.16 m, 引水设计扬程和校核扬程分别为 1.48 m 和 2.31 m。溧港泵站设计总流量 60 m³/s, 安装叶轮直径 2.5 m、转速 150 r/min 的立式轴流泵机组 3 台套。为了满足排涝和抽引双重功能, 溧港泵站采用了双向进水、双向出水的装置结构型式^[1-2]。

由于该泵站在引水和排涝工况下的设计扬程和校核扬

程相差较大, 在部分排涝和抽引工况下, 出水流道的顶板并不总是被淹没, 有时存在自由水面, 因而称之为开敞式双向泵站。

双向泵站由于结构型式特殊, 内部流态十分复杂^[3-5]。进水流道的盲端存在死水区, 直接影响水泵的进水条件, 进而影响水泵能量性能和空蚀性能的发挥, 使出水流道中的水流更加紊乱, 极易引起机组振动和噪音^[6-8], 而且导叶体出口出水锥管的型线对出水流道的水力损失和装置效率的影响

收稿日期: 2013-11-18 修回日期: 2014-02-11 网络出版时间: 2014-03-10
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2014.02.001.html>
基金项目: “十一五” 国家科技支撑计划项目(2006BAB04A03); 江苏省水利科技项目(2010062)
作者简介: 周伟(1970-), 女, 江苏靖江人, 高级工程师, 主要从事泵站工程设计与研究。E-mail: 103094388@qq.com

更加突出。在澡港泵站开敞式双向泵装置设计过程中,笔者运用计算流体力学方法,数值仿真水泵装置内部流动,重点对水泵出水锥管进行了水力设计优化,通过对出水水道水力损失和装置效率的比较,优选设计方案。

1 澡港泵站进出水水道设计特点

国内已建双向泵站主要采用箱涵式、肘形对接式和平面对称蜗壳式等几种双向进水水道结构型式。在分析上述各种进水水道型式优缺点的基础上,澡港泵站采用平面对称蜗壳式双向进水水道型式,进口直段采用直管方箱式,过流断面面积保持不变,以利施工;水道后段采用平面蜗壳式,在双向进水水道中设置隔板,在喇叭口下方设置导水锥,抑制漩涡或涡带的发生,为水泵提供良好的进水条件。

澡港泵站采用直管方箱出水水道,通过在水道顶部设置倒椭圆形导水锥,在导叶体出口设置曲线型出水锥管,控制水流的扩散和流向,以改善出水水道的流态,减少水力损失,提高水泵装置效率。澡港泵站抽排工况下的出水侧是长江,根据水文计算,5%概率下最高连续四日四潮平均潮位抽排设计水位为5.30 m,在满足水泵安装高程、出口断面平均流速和结构设计的基础上,双向出水水道的顶板高程设计为4.40 m,已保证淹没出流,但在内河侧的抽引设计水位为3.89 m下运行时,出水水道仍具有自由水面。图1所示为澡港泵站站身剖面图。

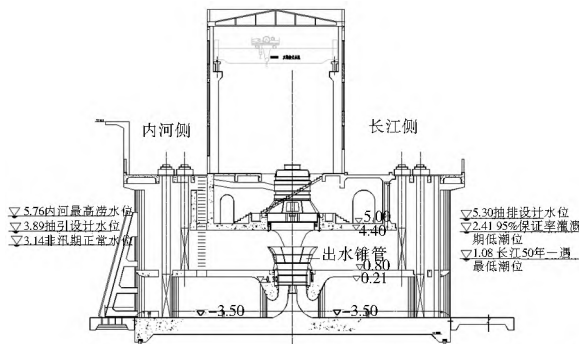


图1 澡港泵站站身剖面

Fig. 1 Sectional drawing of Zaogang pumping station

2 出水锥管优化设计

2.1 全流道数值计算方法

对于不带水泵而单独进行的进、出水水道数值计算方法,由于不考虑进出水水道与叶轮、导叶等水泵过流部件之间的相互影响,尤其是进水水道的出口和出水水道的进口边界条件是未知的,必须做出一系列的假定。许多研究表明,这种假设可能会影响到水泵装置能量特性计算结果的准确性,尤其是对水泵装置非设计工况下的性能预测结果影响更加明显。

本研究运用大型商业CFD软件FLUENT,选择适合澡港泵站特征扬程的水力模型,将水泵叶轮、导叶与进、出水水道及门槽等过流部件作为整体进行水泵装置全流道数值模拟,更加符合水泵装置内部流动特点,接近工程实际情况。根据质量守恒原理,采用RNG $k-\epsilon$ 紊流模型封闭三维时均不

可压Navier-Stokes动量方程组;采用多重参考坐标系(MRF),处理旋转叶轮和静止导叶之间的动静干涉问题^[10],实现进、出水水道的水力设计优化和装置性能预测。

2.2 水力设计优化方案

在进水水道优化设计方案确定的基础上,出水水道设计中需确定出水锥管的型线。在出水锥管出口直径保持不变时,锥管高度越长,水流扩散角就越小,越不容易出现脱流和旋涡。但是,在增加锥管高度的同时,也减小了锥管上缘到出水水道顶板的高度,可能影响锥管的出流,引起较大的水力损失。与此相反,若减小出水锥管的高度,则其达到相同的直径时,扩散角必然增大,容易引起脱流,但锥形管上缘到出水水道顶板的高度增加,使得出流扩散的空间较充分。理论上来说,出水锥管的型线优化设计也与出水水道的导水锥型线有关,应该随锥管的型线变化而变化,但由于导水锥上端直径受到水工结构布置的限制,下端直径受导叶体轮毂直径的约束,因而变化范围很小,所以出水水道优化设计的重点是水泵出水锥管。

保持进水水道和出水锥管出口直径不变,设计了5种出水锥管,其型线 and 设计参数分别见图2和表1^[11],其中方案1的出水锥管高度为初始设计高度。

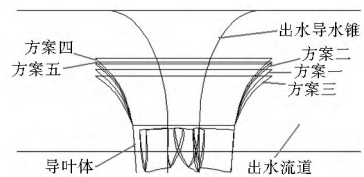


图2 5种出水锥管型线设计方案

Fig. 2 Five design schemes of outlet conical pipe

表1 5种模型出水锥管设计参数及水力性能

Table 1 Design parameters and hydraulic performances of five model outlet conical pipes

设计方案	方案1	方案2	方案3	方案4	方案5
锥管高度/mm	170	188	152	206	194
当量扩散角/(°)	34.01	31.34	36.99	29.07	30.55
出水水道水力损失/m	0.602	0.580	0.645	0.585	0.575
水泵装置效率/(%)	64.56	65.85	63.75	65.31	66.05

2.3 水力设计优化效果

根据澡港泵站开敞式双向水道模型泵装置数值仿真结果,可计算出不同设计方案下的出水水道水力损失和装置效率,见表1。在抽排设计流量下,当模型出水锥管高度为170 mm时(对应于方案1),模型泵装置效率为64.56%;把出水锥管高度增加到188 mm(对应于方案2),相当于把原型泵装置的出水锥管高度增加了150 mm,平均扩散角从34.01°减少到31.34°,模型泵装置效率提高到65.85%,提高了1.29%。当把模型出水锥管的高度从170 mm降低到152 mm(对应于方案3),相当于把原型泵装置的出水锥管高度在方案一的基础上降低了150 mm,平均扩散角从34.01°增加到36.99°,结果使得模型泵装置效率从64.56%降低到63.75%,降低了0.81%。方案4是在方案2的基础上,相当于把原型泵装置出水锥管的高度进一步提高150 mm,结果仅使得模型泵装置效率不但没有提高,反而下降了0.54%,

原因在于提高出水锥管的高度后,虽然有利于减小锥管的水流扩散角,但其出口水流受到出水流道上方顶板的限制,造成流道水力损失增加;方案 5 是在比较方案 2 和方案 4 设计成果的基础上提出的,相当于把原型出水锥管的高度在方案 2 的基础上再提高了 50 mm,泵装置效率达到了到 66.05%。

在 5 个方案中出水流道的水力损失方案 5 为最小、装置效率最高,最终确定为优选方案。因此,通过优化出水锥管型线,采用合理的出水锥管设计参数,可有效减少流道水力损失,改善内部流态,提高水泵装置效率。

3 结论

双向进出水流道泵装置能方便地实现自灌、自排、提灌和提排任务。在提灌和提排设计扬程和校核扬程相差较大的情况下,采用开敞式双向泵装置结构型式,可减少泵房底板开挖深度,有效节省土建投资。

出水锥管是影响双向出水流道水力损失和装置效率的关键因素,通过多方案比较出水流道的水力损失和装置效率,可实现出水锥管的优化设计。数值计算结果表明,在设计工况下,澡港泵站出水锥管优选方案对应的水泵装置效率达到了 66.05%,优化效果十分明显。澡港泵站的设计方案可为类似的泵站设计提供有益的参考。

参考文献(References):

- [1] 张仁田. 低扬程双向抽水站的研究与开发[J]. 河海科技进展, 1992, 12(3): 90-95. (ZHANG Ren-tian. Study and Development of Low-Head Dual Directional Pumping Stations [J]. Advances in Science and Technology of Hohai University, 1992, 12(3): 90-95. (in Chinese))
- [2] 张仁田. 低扬程双向排灌站的泵型与布置型式[J]. 水利水电技术, 1994, (3): 33-38. (ZHANG Ren-tian. Pump Type and Layout Pattern of Low-Lift Dual Way Pumping Station [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 1994, (3): 33-38. (in Chinese))
- [3] LU Lir-guang, ZHOU Jir-ren, ZHANG Ren-tian. Optimum Hydraulic Design of Two Way Inlet Conduit of Wangyuhe Pumping Station [C]. // E Cabrera et al. (eds.) Hydraulic Machinery and Cavitation. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1996: 504-513.
- [4] 陈松山, 葛强, 周正富, 等. 大型泵站双向进水流道三维紊流数值模拟[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2005, 26(2): 102

105. (CHENG Song-shan, GE Qiang-qiang, ZHOU Zheng-fu, et al. Numerical Simulation of Three Dimensional Turbulent Flow for Reversible Intake Passage in Large Pumping Stations [J]. 2005, 26(2): 102-105. (in Chinese))
- [5] 成立, 刘超, 周济人, 等. 基于 RNG 湍流模型的双向泵站出水流道流动计算[J]. 水科学进展, 2004, 15(1): 110-112. (CHENG Li, LIU Chao, ZHOU Jir-ren, et al. Numerical Simulation of Flow in the Outlet Passages of Reversible Pumping Station by RNG $k-\epsilon$ Turbulent Model with Wall Function Law [J]. Advances in Water Science, 2004, 15(1): 110-112. (in Chinese))
- [6] 朱劲木, 何忠人, 刘德祥, 等. 大型轴流泵站双向出水流道设计及模型试验验证[J]. 武汉大学学报(工学版), 2005, 38(4): 13-16. (ZHU Jir-mu, HE Zhong-ren, LIU De-xiang, et al. Design of Two Way Outflow Passage for Large Axial-flow Pump Station and Model Experimental Verification [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2005, 38(4): 13-16. (in Chinese))
- [7] 罗仕宏, 朱华明, 刘朝福, 等. 大型双向 X 型流道泵站机组减振技术研究[J]. 排灌机械, 2001, 19(4): 15-20. (LUO Shir-hong, ZHU Hua-ming, LIU Chao-fu, et al. Pumping Axis Amortization Study in Pumping Station with X Style Outlet [J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2001, 19(4): 15-20. (in Chinese))
- [8] 郝春明, 万继芳, 黄季艳. 常熟水利枢纽泵站水泵典型故障分析与改造[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(3): 44-47. (HAO Chun-ming, WAN Jir-fang, HUANG Jir-yan. Analysis of Typical Errors on Main Pumps and Renovation Scheme in Changshu Pumping Station [J]. South to North Water Diversion and Water Science & Technology, 2012, 10(3): 44-47. (in Chinese))
- [9] Yakhot V., Orszag S. A. Renormalization Group Analysis of Turbulence [J]. Journal of Scientific Computing, 1986, 1(1): 3-5.
- [10] 朱红耕, 张仁田, 邓东升, 等. 大型水泵装置全流道数值模拟与性能预测[J]. 排灌机械, 2008, 26(3): 46-50. (ZHU Hong-geng, ZHANG Ren-tian, DENG Dong-sheng, et al. Numerical Simulation and Performance Prediction for Large Pumping Systems [J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2008, 26(3): 46-50. (in Chinese))
- [11] 朱红耕. 澡港泵站扩容工程双向流道水泵装置 CFD 数值仿真研究[R]. 扬州大学, 2013. (ZHU Hong-geng. Numerical Simulation with CFD for Dual Directional Pumping System in Dilatancy Project of Zaogang Pumping Station [R]. Yangzhou University, 2013. (in Chinese))