

大型泵站进水流场组合式导流墩整流效果分析

资 丹¹, 王福军^{1*}, 姚志峰¹, 侯亚康¹, 肖若富¹, 何成连², 阳恩宝³

(1. 中国农业大学北京市供水管网系统安全与节能工程技术研究中心, 北京 100083;

2. 中水北方勘测设计研究有限责任公司, 天津 300222; 3 深圳市东江水源工程管理处, 深圳 518036)

摘 要: 大型泵站前池和进水池经常存在表面旋涡和附壁涡, 从而影响水泵运行稳定性。而由于大型泵站的尺度大, 单一型式的导流墩很难改善这类泵站的进水流场。该文以广东省永湖泵站为研究对象, 采用数值计算和现场测试相结合的方法, 研究了组合式导流墩在改善大型泵站前池、进水池流态方面的效果, 构建了由八字型导流墩、川字型导流墩和十字型消涡板相结合的组合式导流墩。三维流体动力学计算发现, 组合式导流墩利用前端的八字型导流墩降低前池扩散角, 减弱前池大尺度表面旋涡, 借助后续的川字型导流墩调整流动均匀度, 将水流均匀导入进水池, 再通过水泵吸水喇叭管下部的十字型消涡板去除水泵吸水喇叭管周边的附底涡, 提高流速分布均匀度, 经计算喇叭管底面、水泵进口断面流速分布均匀度分别提高了 7.8%、10.6%。实际测试表明, 组合式导流墩将水泵最大压力脉动降低 17.1%, 将水泵振动由 D 区降低到 C 区, 达到水泵技术标准规定的振动要求, 保证了泵站的安全稳定运行。该研究对大型泵站建设提供了参考。

关键词: 泵; 数值分析; 模型; 泵站; 前池; 导流墩; 整流

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.16.011

中图分类号: TV675

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-16-0071-07

资 丹, 王福军, 姚志峰, 侯亚康, 肖若富, 何成连, 阳恩宝. 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, 31(16): 71—77. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.16.011 http://www.tcsae.org

Zi Dan, Wang Fujun, Yao Zhifeng, Hou Yakang, Xiao Ruofu, He Chenglian, Yang Enbao. Effects analysis on rectifying intake flow field for large scale pumping station with combined diversion piers[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(16): 71—77. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.16.011 http://www.tcsae.org

0 引 言

泵站前池、进水池是连接引渠和水泵进水管路的水工建筑物, 为水泵创造必要的进水条件^[1]。在缺乏优化的前提下, 前池、进水池的结构设计往往不能为水泵提供理想的水力条件, 反而产生大尺度的回流, 从而诱发水泵汽蚀, 引起机组和泵房振动, 降低泵站效率, 甚至无法工作^[2-3]。因此, 为探寻前池、进水池内的流动机理, 从其流动规律上发现影响水泵吸水的因素, 从而提出良好的前池及进水池结构, 对保证泵站稳定运行至关重要。

目前, 许多学者对于泵站进水流场进行了数值计算和模型试验。徐磊等^[4]和陈松山等^[5]对大型泵站装置进水流场进行了模型试验和数值计算, 分析了进水流场的流动特性。Kadam 等^[6]对进水流场同时做了模型试验和数值计算, 观测了前池和进水管的流动特征, 发现过大的前池扩散角和过小的淹没深度使得进水流态恶劣。王雷等^[7]

用模型试验观测了惠南庄泵站各工况进水池内外流态, 介绍了主副回流区、漩涡发生位置和水面波动情况。相关学者用不同的湍流模型并结合 PIV (particle image velocimetry, 粒子图像测速法) 试验, 对泵站进水流场的表面漩涡、内部涡做了详细的研究^[8-12]。基于这些流动规律, 为提高进水流场流动的均匀性, 多位学者对前池、进水池展开了整流优化研究, 在前池、进水池内采用了导流墩^[13-15]、底坎^[16]、压水板^[17]、导流锥^[18]和十字消涡板^[19]等不同的整流措施。导流墩因其在改善流态方面的优势而被广泛采用, 但对于导流墩的研究多集中在优化某种单一型式的导流墩布置参数方面, 未涉及组合式导流墩这种整流优化措施。在大型泵站中, 由于流量和空间尺度增大, 单一形式的导流墩不能达到好的整流效果, 却拥有足够空间来布置复杂的导流墩, 以提高导流效果。

本文以广东省永湖泵站为研究对象, 采用 CFD 技术与现场测试相结合的手段, 开展大型泵站进水流场组合式导流墩整流优化研究, 分析组合式导流墩在大型泵站进水流场改善流态的作用和效果, 以期同类泵站的设计和更新改造提供参考。

1 研究对象

1.1 泵站参数

广东省深圳市东部供水工程担负深圳市主要供水任务, 永湖泵站是该供水工程的中间加压泵站。泵站二期工程安装 RDL900-1050A1 型水平中开式双吸离心泵 5 台

收稿日期: 2015-05-08 修订日期: 2015-07-15

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51139007); 国家科技支撑计划项目 (2015BAD20B01)

作者简介: 资 丹, 女, 湖南人, 博士生, 主要从事水利工程研究。北京 中国农业大学北京市供水管网系统安全与节能工程技术研究中心, 100083。

Email: evangeline_13@126.com

*通信作者: 王福军, 男, 河北唐山人, 博士, 教授, 主要从事水动力学与水力机械研究。北京 中国农业大学北京市供水管网系统安全与节能工程技术研究中心, 100083。Email: wangfj@cau.edu.cn

套(4工1备)。单泵设计流量 $3.75 \text{ m}^3/\text{s}$, 扬程 53.2 m , 功率 $2\,600 \text{ kW}$, 泵站总装机功率 1.3 万 kW 。按照国家标准《泵站设计规范》^[20], 该泵站属于大型泵站。泵站前池长 38.38 m , 池底坡度为 0.049 , 前池扩散角为 39.02° , 进水池的长度为 15 m , 宽度为 39.2 m , 相邻两泵的泵中

心线相距 8.5 m 。前池由两根直径为 2.6 m 的钢管引水, 前池设计水位为 19.5 m 。喇叭管直径 D 为 2.6 m , 悬空高为 $1.05 \text{ m}(0.4D)$, 后壁距为 $0.2 \text{ m}(0.08D)$ 。泵站前池、进水池的平面和剖面布置图如图 1 所示, 水泵机组编号从上至下为 6#、7#、8#、9#和 10#。

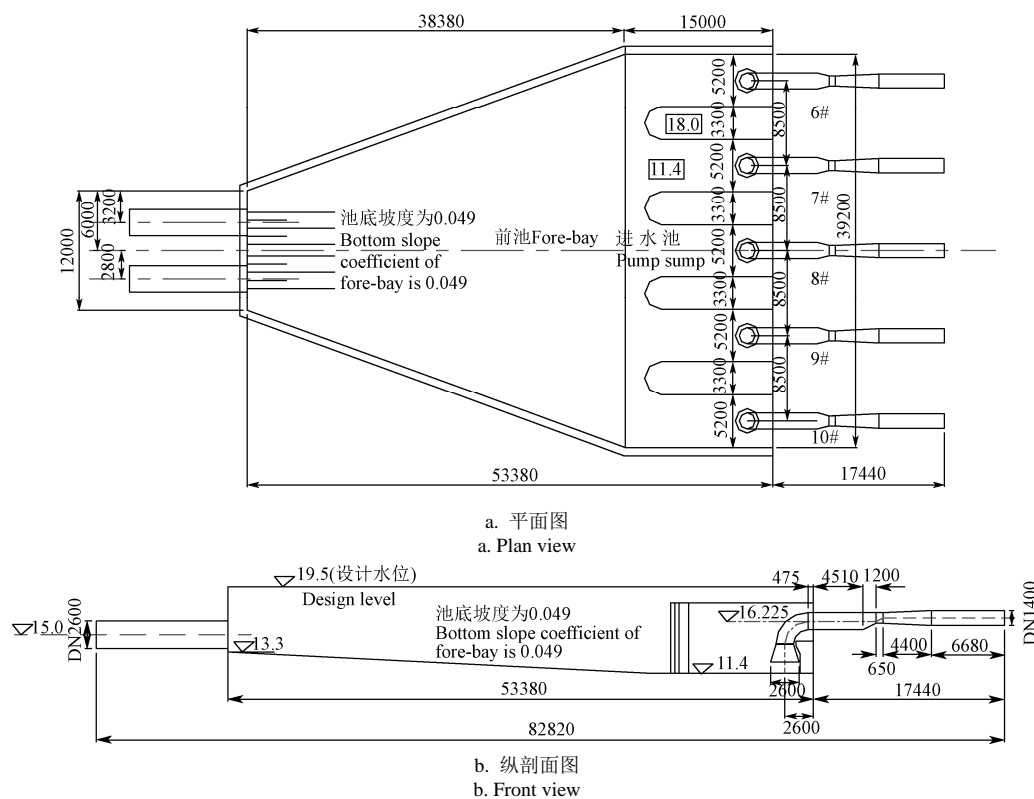


图 1 永湖泵站结构图

Fig.1 Schematic structure of Yonghu pumping station

1.2 泵站存在的问题

泵站于 2008 年 11 月建成, 在调试运行期间, 即出现了较为明显的振动现象, 噪声大, 口环磨损严重, 经过改造仍然不能解决问题。为明确泵站存在的问题, 中水北方勘测设计研究有限责任公司对泵站进行了现场测试, 发现

泵站存在的主要问题是^[21]: 前池、进水池存在数量较多、尺度较大的表面旋涡, 如图 2 所示; 水泵机组振动剧烈, 多个部位的振动处于国家标准《泵的振动测量与评价方法》^[22]规定的 D 区, 即进入了不允许正常运动的振动范围; 水泵压力脉动较大, 泵房楼板存在较强的共振现象。



a. 前池
a. Fore-bay



b. 进水池
b. Pump sump

图 2 泵站前池、进水池水面旋涡区

Fig.2 Surface scroll area inside fore-bay and sump of pumping station

2 数学计算模型

2.1 控制方程和湍流模型

泵站内的流动属于不可压缩湍流流动, 其湍流数值

计算方法采用雷诺时均 (reynolds averaged navier stokes equations, RANS) 法。在泵站主流区, 流动一般处于高雷诺数湍流状态, 且由于泵站尺度较大, 在前池, 进水池的流动变化较大, 前池、进水池往往会有较大尺度的

回流与边壁脱流，故采用两方程 $k-\varepsilon$ 模型中 RNG (renormalization group, 重整化群) $k-\varepsilon$ 求解^[23]。计算时离散格式对流项采用二阶迎风格式，扩散项和源项采用中心差分离散格式，数值求解方法采用 SIMPLEC 算法^[24]。

2.2 边界条件和网格划分

为避免由网格密度引起的误差，进口边界条件采用质量流量进口；流场出口采用静压出口；各固壁面均采用标准壁面函数法，壁面粗糙度设为 0.005 m；自由液面作对称平面处理^[24]。

该泵站结构较为复杂，采用对几何结构边界适应性良好的四面体非结构网格。网格划分软件为 Gambit，全局单元最大尺寸为 0.4 m，加密尺寸为 0.2 m，增长率 1.2。经过网格无关性检查，发现当网格单元总数为 173.2 万，网格节点总数为 31.6 万时，可以满足网格无关性检查的要求。泵站计算域与计算网格如图 3 所示。

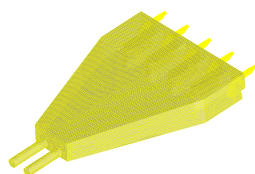


图 3 泵站计算域与计算网络

Fig.3 Calculation region and grid of pumping station

3 原设计存在问题分析

从图 2 中可以看出，前池、进水池存在较大尺度的漩涡，其工程方面的原因可以归纳为：1) 前池扩散角过大，虽未超过《泵站设计规范》^[20]规定正向进水前池扩散角应小于 40°的要求，但已达到设计规范中的临界值；2) 前池来水采用有压钢管，将会在前池和进水池内形成高速的中心水束，冲击进水池内的隔墩形成反向水流，使得进水池形成较大的压力梯度，大尺度的回流漩涡区；3) 进水池内的隔墩未超过设计水位，使得进水池水面产生很大横流，影响下方流态；4) 进水池内的悬空高、后壁距过小；5) 喇叭管下方未添加任何消涡装置。

为进一步分析泵站进水流场的流动细节，找出问题所在，对原设计方案进行流场数值计算。以 6[#]、7[#]、9[#]和 10[#]运行，8[#]不运行的工况（最大流量工况）为计算工况进行流场计算。计算得到的从前池进口至水泵进口的总水力损失为 0.324 m，图 4 为前池、进水池整体流态图，图 5 为前池、进水池水平切面流线图。

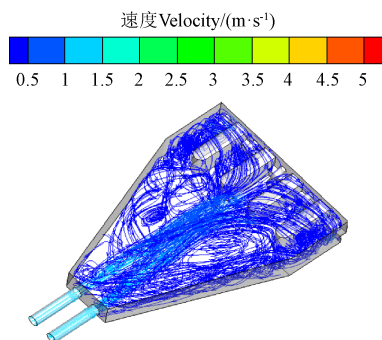


图 4 前池、进水池整体流态图

Fig.4 Flow pattern of fore-bay and pump sump

图 5a、5b、5c 3 个切面分别靠近前池和进水池的上部、中部、底部。从图 4 和图 5 可以看出，前池两侧存在大尺度回流，中后部存在漩涡，且随着位置下移漩涡波及范围扩大，甚至深入到进水池的隔墩处，进水池的两侧边壁有螺旋涡存在。

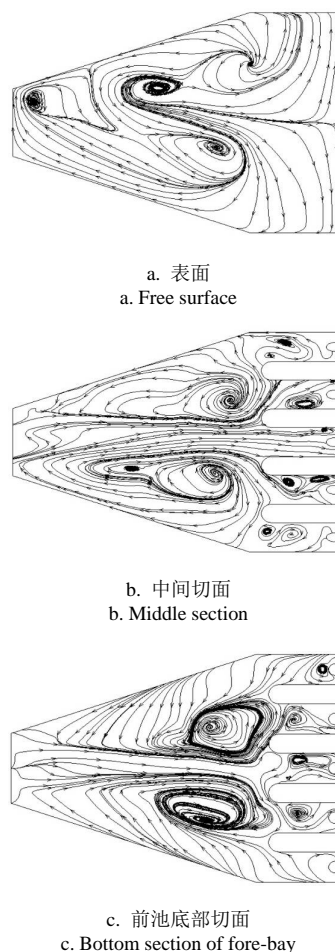


图 5 前池、进水池水平切面流线图

Fig.5 Streamlines of horizontal sections of fore-bay and pump sump

图 6a 为池底 Z 方向涡量分布情况。从图 6a 中可以看出，7[#]、10[#]机组喇叭管下方存在较强的附底涡。图 6b 显示出了 10[#]机组喇叭管下方 Z 方向涡量图，可明显看出附底涡的存在。

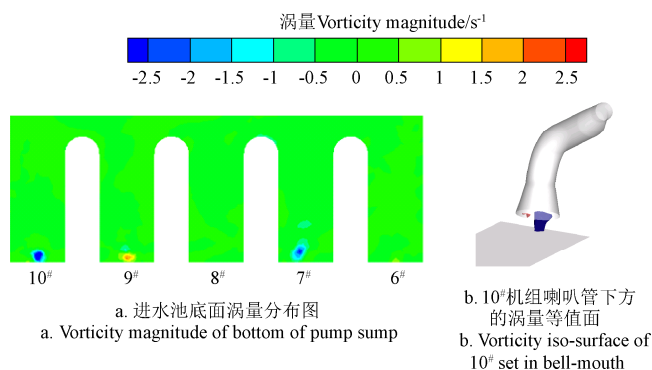


图 6 进水池中的涡量分布

Fig.6 Vorticity distribution of pump sump

4 组合式导流墩整流特性

4.1 组合式导流墩设计方案

为了不破坏泵站原有的钢筋混凝土结构, 进水池的悬空高和后壁距, 以及吸水喇叭管的结构和放置方式均保持不变。在此基础上, 采用 CFD 手段对多种前池和进水池的设计方案进行了流态分析。其中, 提出了一种“八字型导流墩+川字型导流墩+十字型消涡板”的组合式方案, 简称组合式导流墩, 其三维结构如图 7 所示。

在这种组合式导流墩中, 位于进水池前部的八字型导流墩深入前池大尺度回流的中心, 长 10 m, 宽 1 m, 高 5 m, 前端距离前池进口 18 m, 中心线与进水钢管中心和 7#、9#喇叭管中心连线重合, 前后两端圆弧连接。在距离八字形导流墩尾部 6.4 m 处加设形如“川”字型的 3 个长 3 m、宽 1 m, 高 3 m 小尺寸导流墩。为使得导流墩不影响进水池喇叭管吸水, 两侧的小导流墩中心线的角度为 17.58° , 中间的小导流墩中心线与前池中心

线重合。十字消涡板结构与参数如图 8a、8b 所示。根据此设计方案改造后的泵站前池及进水池组合式导流墩如图 8c。

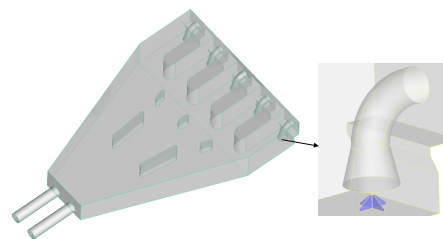
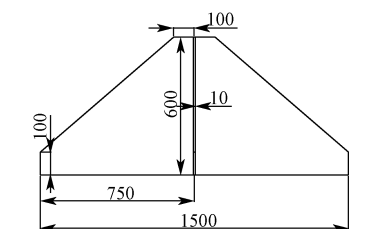


图 7 组合式导流墩结构图

Fig.7 Configurations of combined diversion piers

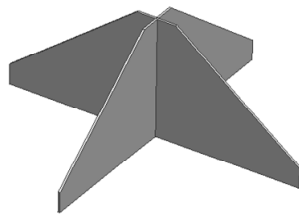
4.2 流态分析

对组合式导流墩设计方案进行 CFD 计算后发现, 前池进口至水泵进口的的水力损失为 0.274 m, 比原方案降低了 0.05 m, 前池、进水池及吸水喇叭管周边的流态如图 9 所示。



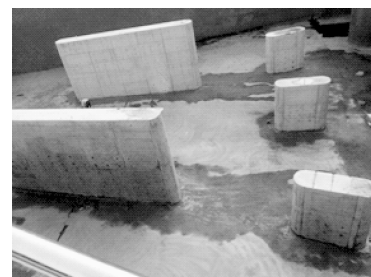
a. 十字消涡板结构参数示意图

a. Structure parameters of cross vortex baffle



b. 十字消涡板三维结构图

b. 3-D model effect graph of cross vortex baffle



c. 组合式导流墩实际结构

c. Real structure of combined diversion piers

图 8 十字消涡板结构和导流墩实物结构

Fig.8 Structure of cross vortex baffle and real structure of diversion piers

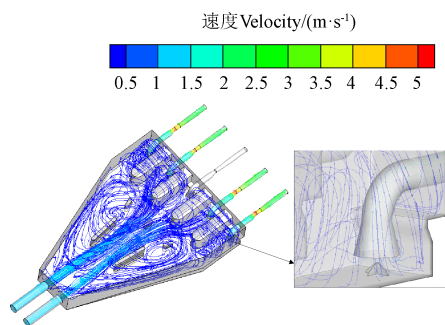


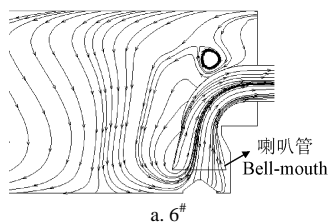
图 9 改造后的整体流态图

Fig.9 Flow pattern of optimized design

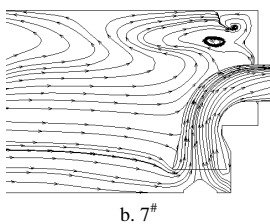
对比图 9 和图 4, 加设八字形导流墩和川字型导流墩后, 前池、进水池内的流态有明显改善: 两侧边机组

前方的螺旋涡大大减弱; 前池虽仍然存在回流, 但尺度和数量均有明显下降; 进水池上方虽仍有横流, 但喇叭管下方十字消涡板将下部横流和螺旋涡基本消除。从图 10 中可以看出, 经过组合式导流墩和十字消涡板的作用, 进入吸水管的水流较为平顺, 水泵吸入条件得到改善。

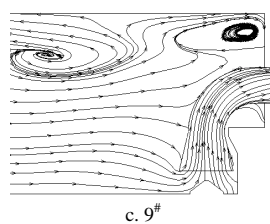
在原设计中, 吸水喇叭管悬空高为 1.05 m, 从图 6a 和图 6b 可以看到喇叭管下方形成了附底涡, 而在加设组合式导流墩后, 特别是加设十字型消涡板后, 从图 10 可以看出, 喇叭管周边的流线变得比较顺畅。图 11a 给出了进水池池底 Z 方向涡量图, 图 11b 给出了 10# 机组喇叭管下方涡量等值面图, 将这两图与图 6a 和图 6b 对比, 表明原来的附底涡基本被消除。



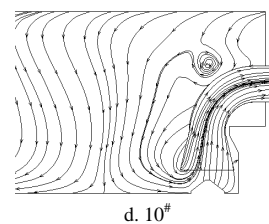
a. 6#



b. 7#



c. 9#



d. 10#

图 10 改造后机组中轴线切面流线图

Fig.10 Streamlines of sets' axial sections

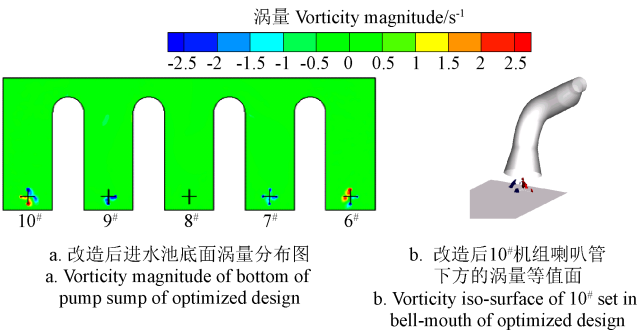


图 11 改造后进水池中的涡量分布

Fig.11 Vorticity distribution of pump sump of optimized design

4.3 流速均匀性分析

除了前池和进水池中的流态之外，水泵吸水喇叭管进口断面和水泵进口断面的流速均匀性是衡量前池和进水池设计质量的重要指标，为此，引入文献[25]中定义的流速分布均匀度 V_u 和速度加权平均角度 θ 的概念，对泵站改造效果进行评价。流速分布均匀度和速度加权平均角度均表征了所求断面的流动均匀程度，其计算表达式如下。

$$V_u = [1 - \frac{1}{u_a} \sqrt{\frac{\sum (u_{ai} - \overline{u_a})^2}{m}}] \times 100\%$$

$$\overline{\theta} = \sum u_{ai} (90^\circ - \arctg \frac{u_{ti}}{u_{ai}}) / \sum u_{ai}$$

式中： V_u 为流速分布均匀度； $\overline{\theta}$ 为速度加权分布平均角度，(°)； m 为 i 断面的单元个数； $\overline{u_a}$ 为水泵进口断面的平均轴向速度，m/s； u_{ai} 为 i 断面各单元的轴向速度，m/s； u_{ti} 为水泵进口断面各单元的横向速度，m/s。

经计算，改造前后的水泵吸水喇叭管进口断面和水泵进口断面的流速分布均匀度与速度加权平均角度如表 1 所示。从表 1 可以发现，改造后的水泵吸水喇叭管进口断面和水泵进口断面的流速均匀性均有了明显提高，吸水喇叭管进口的流速分布均匀度提高 7.8%，水泵进口的流速分布均匀度提高 10.6%。这说明优化方案能够有效改善前池、进水池和吸水喇叭口处不良流态。

表 1 吸水喇叭管进口断面及水泵进口断面流态

Table 1 Flow patterns on bell-mouth inlet and pump inlet sections

方案 Schemes	喇叭管进口 Bell-mouth inlet		水泵进口 Pump inlet section	
	流速分布 均匀度	速度加权 平均角度	流速分布 均匀度	速度加权 平均角度
	Uniformity of axial velocity distribution/%	Axial velocity angle/(°)	Uniformity of axial velocity distribution/%	Axial velocity angle/(°)
改造前 Original design	68.82	55.99	80.77	85.89
改造后 Optimized design	76.65	56.46	91.42	86.01

4.4 水泵压力脉动与振动测试结果分析

为了评估改造效果，中水北方勘测设计研究有限责任公司对泵站机组运行情况进行了第 2 次现场测试^[21]，现以 4 台机组同时运行工况（最大流量工况）为例，测试得到 6[#]机组压力脉动及振动指标如表 2 所示^[21]。

表 2 6[#]泵压力脉动峰值

Table 2 Peak-to-peak value of pressure fluctuation of pump 6[#]/m

方案 Schemes	水泵出口 Outlet of pump	泵壳顶部 Top of pump shell
改造前 Original design	4.59	8.07
改造后 Optimized design	2.72	6.69

从表 2 可以看出，改造后，无论水泵出口，还是蜗壳顶部，压力脉动均显著下降。其中，泵内压力脉动最大的部位，即蜗壳顶部的压力脉动由 8.07 m 下降到 6.69 m，下降 17.1%。从表 3 可以看出，改造前，水泵各部位（传动端和非传动端）的振动烈度均大于 2.8 mm/s，即处于国家标准^[22]规定的 D 区，而在改造后，所有部位的振动烈度均小于或等于 2.8 mm/s，处于国家标准^[22]规定的 C 区。经过改造后，永湖泵站已能正常运行。

表 3 6[#]泵振动速度均方根值

Table 3 Vibration velocity RMS values of pump 6[#]

方案 Schemes	传动端轴承座 Driving end of bearing housing			非传动端轴承座 Non-drive end of bearing housing		
	垂直 Vertical	水平 径向 Radial	水平 轴向 Axial	垂直 Vertical	水平 径向 Radial	水平 轴向 Axial
	mm·s ⁻¹	mm·s ⁻¹	mm·s ⁻¹	mm·s ⁻¹	mm·s ⁻¹	mm·s ⁻¹
改造前 Original design	2.40	5.10	2.35	3.12	5.96	2.73
改造后 Optimized design	1.84	2.13	2.80	1.38	2.05	2.47

5 结 论

针对大型泵站中导流设施结构单一、整流效果差的现状，采用 CFD 和现场测试相结合的手段，对广东省永湖泵站的前池和进水池流态进行了研究，提出了一种组合式导流墩。

1) 大型泵站如果不设导流墩，或者导流设施单一，前池可能存在较大尺度的表面旋涡，水泵吸水喇叭管附近可能存在强度较大的附底涡，从而严重影响水泵的安全稳定运行。

2) 在大型泵站的前池内设置“八字型导流墩+川字型导流墩+十字型消涡板”的组合式导流墩，可有效改善前池流态，消除前池大尺度旋涡及进水池吸水喇叭管进口附近的附底涡和附壁涡，吸水喇叭管进口的流速分布均匀度提高 7.8%，水泵进口断面的流速分布均匀度提高 10.6%。

3) 组合式导流墩在改善前池和进水池流态的同时，显著提高了水泵运行稳定性。测试表明，这种组合式导流墩可将水泵最大压力脉动降低 17.1%，将水泵振动由 D 区调整到 C 区，从而保证泵站正常运行。

【参 考 文 献】

[1] 王福军. 水泵与水泵站[M]. 北京：中国农业出版社，2005：229—239.

[2] Desmukh T S, Gahlot V K. Numerical study of flow behavior in a multiple intake pump sump[J]. International Journal of Advanced Engineering Technology, 2011, 2(2): 118—128.

- [3] 朱红耕. 进水池对水泵进水条件影响的数值模拟和试验[J]. 农业机械学报, 2005, 36(6): 57—60.
Zhu Honggeng. Numerical simulation and model test for the influence of pump intake design on pump flow conditions[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(6): 57—60. (in Chinese with English abstract)
- [4] 徐磊, 陆林广, 陈伟, 等. 南水北调工程邳州站竖井贯流泵装置进出水流态分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 50—56.
Xu Lei, Lu Linguang, Chen Wei, et al. Flow pattern analysis on inlet and outlet conduit of shaft tubular pump system of Pizhou pumping station in South-to-North water diversion project[J]. Transaction of the Chinese Society of Agriculture Engineering(Transactions of the CSAE), 2012, 28(6): 50—56. (in Chinese with English abstract)
- [5] 陈松山, 颜红勤, 周正富, 等. 泵站前置竖井进水流道三维湍流数值模拟与模型试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(2): 63—71.
Chen Songshan, Yan Hongqin, Zhou Zhengfu, et al. Three-dimensional turbulence numerical simulation and model test of front-shaft tubular inlet conduit of pumping station[J]. Transaction of the Chinese Society of Agriculture Engineering(Transactions of the CSAE), 2014, 30(2): 63—71. (in Chinese with English abstract)
- [6] Kadam P M, Chavan D S. CFD analysis of flow in pump sump to check suitability for better performance of pump[J]. International Journal on Mechanical Engineering and Robotics, 2013, 1(2): 56—65.
- [7] 王雷, 史文彪, 杨开林, 等. 南水北调中线惠南庄泵站进水前池布置方案的分析研究[J]. 南水北调与水利科技, 2008, 6(1): 185—193.
Wang Lei, Shi Wenbiao, Yang Kailin, et al. Analyses of the layout the fore-bay of Hui Nan Zhuang pump station[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2008, 6(1): 185—193. (in Chinese with English abstract)
- [8] Rajendran V P, Constantinescu S G, Patel V C. Experiment validation of numerical model of flow in pump-intake bays[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1999, 125(11): 1119—1125.
- [9] Rajendran V P, Patel V C. Measurement of vortices in model pump-intake bay by PIV[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2000, 126(5): 322—334.
- [10] Lucino C, Liscia S, Gonzalo D. Vortex detection in pump sump by means of CFD[C]//IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 12, 25th IAHR Symposium Hydraulic Machinery and Systems, Timisoara, Romania, 2010: 1—12.
- [11] Long N I, Shin B R, Doh D H. Study on surface vortices in pump sump[J]. Journal of Fluid Machinery, 2012, 15(5): 60—66.
- [12] 杨帆, 刘超, 汤方平, 等. 悬空高对泵装置流道内流特性的影响[J]. 农业机械学报, 2015, 46(2): 40—45.
Yang Fan, Liu Chao, Tang Fangping, et al. Effect of bottom clearance on flow characteristics of pumping system by CFD and PIV[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(2): 40—45. (in Chinese with English abstract)
- [13] 黄继宏, 王晓升, 张晓毅. 城市排水泵站前池导流墩整流措施的数值模拟[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(5): 360—362.
Huang Jihong, Wang Xiaosheng, Zhang Xiaoyi. Numerical simulation on diversion pier rectifying flow in fore-bay of urban drainage pumping station[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2013, 41(5): 360—362. (in Chinese with English abstract)
- [14] Tanweer S D, Gahlot V K. Simulation of flow through a pump sump and its validation[J]. International Journal of Recent Research in Applied Studies, 2010, 4(1): 7—17.
- [15] 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, 31(7): 100—108.
Luo Can, Qian Jun, Liu Chao, et al. Numerical simulation and test verification on diversion pier rectifying flow in forebay of pumping station for asymmetric combined sluice-pump station project[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(7): 100—108. (in Chinese with English abstract)
- [16] 罗灿, 成立, 刘超, 等. 泵站正厢进水前池底坎整流机理数值模拟[J]. 排灌机械工程学报, 2014, 32(5): 393—398.
Luo Can, Cheng Li, Liu Chao, et al. Numerical simulation of mechanism for sill rectifying flow in pumping station intake[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2014, 32(5): 393—398. (in Chinese with English abstract)
- [17] 高传昌, 刘新阳, 石礼文, 等. 泵站前池与进水池整流方案数值模拟[J]. 水力发电学报, 2011, 30(2): 54—59.
Gao Chuanchang, Liu Xinyang, Shi Wenli, et al. Numerical simulation of flow pattern modification schemes for the forebay and suction sump of pumping station[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2011, 30(2): 54—59. (in Chinese with English abstract)
- [18] 郭加宏, 陈红勋. 泵站进水池内防涡装置有效性的数值验证[J]. 工程热物理学报, 2006, 26(增刊 1): 85—88.
Guo Jiahong, Chen Hongxun. Verification of the validity of a kind of swirl-proof device in the sump of pump stations by numerical simulation[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2006, 26(Supp.1): 85—88. (in Chinese with English abstract)
- [19] Cong G H, Wang F J. Numerical investigation on the flow structure and vortex behavior at a large scale pump sump[C]//Proceedings of FEDSM2007, 5th Joint ASME/JSME Fluids Engineering Conference, 2007: 1—9.

- [20] GB 50265-2010, 泵站设计规范[S].
GB 50265-2010, Design Code for Pumping Station[S].
- [21] 何成连. 深圳市永湖泵站二期工程泵站现场测试报告[R].
天津: 中水北方勘测设计研究有限责任公司, 2015.
He Chenglian. Site Test Report of Yonghu Pumping Station Phase II Project of Shenzhen[R]. Tianjin: China Water Resources Beifang Investigation Design and Research Co. Ltd, 2015. (in Chinese with English abstract)
- [22] GB/T 29531-2013, 泵的振动测量与评价方法[S].
GB/T 29531-2013, Methods of Measuring and Evaluating Vibration of Pumps[S].
- [23] Chen Li, Liu Chao, Zhou Jiren, et al. The study on the flow fields and hydraulic performance in the pump sump[C]// Proceedings of FEDSM2007, 5th Joint ASME/JSME Fluids Engineering Conference, 2007: 1—9.
- [24] 王福军. 计算流体动力学分析—CFD 软件原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 144—156.
- [25] 陆林广, 曹志高, 周济人. 开敞式进水池优化水力计算[J]. 水利学报, 1997(3): 16—24.
Lu Linguang, Cao Zhigao, Zhou Jiren. The optimum hydraulic design of pump intakes[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1997(3): 16—24. (in Chinese with English abstract)

Effects analysis on rectifying intake flow field for large scale pumping station with combined diversion piers

Zi Dan¹, Wang Fujun^{1*}, Yao Zhifeng¹, Hou Yakang¹, Xiao Ruofu¹, He Chenglian², Yang Enbao³

(1. Beijing Engineering Research Center of Safety and Energy Saving Technology for Water Supply Network System in China Agricultural University, Beijing 100083, China; 2. China Water Resources Beifang Investigation Design and Research Co. Ltd, Tianjin 300222, China; 3. Shenzhen Dongjiang Water Resources Project Management Office, Shenzhen 518036, China)

Abstract: Surface vortex and submerged vortex originating from intake wall often exist in fore-bay and sump in a large-scale pumping station. These vortices may affect the stability of pump operation. Because of big dimension, single diversion pier cannot effectively improve the intake flow field in large-scale pumping station. The Yonghu pumping station, a large-scale pumping station, which was located in Guangdong Province, was taken as the research object. The numerical simulation and the site test were performed in order to investigate the effects of combined diversion piers on rectifying intake flow pattern in fore-bay and sump. A new type of combined diversion pier composed of double-I type, three-I type and cross vortex baffle were proposed. The flow pattern, the vorticity and the uniformity of axial velocity distribution were compared between the original design and the optimized design. The numerical simulation results showed that the new type of combined diversion pier could effectively improve the intake flow field of the pumping station. For the original design, 2 large-size circulations in the fore-bay and submerged vortices in the sump were observed. The size and strength of vortices increased with the increase of the water depth. Furthermore, spiral vortices existed in the 2 sides of the sump. However, for the optimized design, the double-I type diversion piers in front reduced divergent angle of the fore-bay, and decreased the size and strength of surface vortex. The three-I type piers adjusted the uniformity of flow field, and water flow was well introduced to the corresponding pump sump. Submerged vortices originating from bottom wall were almost completely eliminated by the cross vortex baffle. Flow pattern was uniform and smooth in the inlet of pumps, and the streamlines of axial section of pumps were good, without vortices. The uniformity of axial velocity distribution of pump inlet section was as high as 91.42%, and the axial velocity angle approached 86.01°. Compared to the original design, the uniformity of axial velocity distribution of bell-mouth inlet and pump inlet section for the optimized design was raised by 7.8% and 10.6% respectively. The results of site test showed that the size and the strength of circulations and vortices were decreased observably. The peak-to-peak value of pressure fluctuation at the top of pump volute casing fell from 8.07 to 6.69 m, with a decrease of 17.1%. The vibration velocity RMS (root mean square) values of pumps before optimization almost were completely greater than 2.8 mm/s, namely the vibration level was at level D which was specified in the national standard methods of measuring and evaluating vibration of pumps, and in that level pumps could not normally work. After the combined diversion piers were installed, the vibration velocity RMS values of pumps were less than or equal to 2.8 mm/s, in other words, the vibration level was at level C, and the pumping station could operate normally. By numerical simulation and site test, it can be concluded that the combined diversion piers have many positive effects in rectifying intake flow field of large-scale pumping station. The research results provide a beneficial reference for hydraulic design of this kind of large-scale pumping station.

Key words: pumps; numerical analysis; models; pumping station; fore-bay; division pier; flow rectification