

泵站进水池构筑物布置形式对水流的影响

颜红勤¹, 陈松山²

(1. 江苏省水利工程科技咨询有限公司, 江苏 南京 210029; 2. 扬州大学能源与动力工程学院, 江苏 扬州 225009)

摘要:为分析泵站进水池中构筑物布置对水流的影响, 采用 CFD 技术模拟计算了进水池中不同构筑物布置形式的水体流动状态。计算结果表明: 在进水管两侧设置水泵梁, 对进水池流态及喇叭口出口水力性能基本无影响; 进水侧水泵梁改为检修平台, 平台下方出现横轴漩涡, 喇叭口出口水力性能略有降低; 进水管后侧设置检修平台, 切断了进水池表面及两侧近壁区水体进入喇叭口的通道, 出口水力性能降低; 在池内设置检修胸墙, 改变了表面水体流动方式, 造成喇叭口单向进水, 出口水力性能下降明显; 同时设置检修胸墙及进水管后侧检修平台, 池内水流紊乱, 喇叭口单向进水, 出口水力性能最差。因此, 除水泵梁外, 进水池中应避免设置其他构筑物。

关键词: 泵站; 进水池; 构筑物; 流态; 水力性能; 数值模拟

中图分类号: TV131.4; TV675 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7647(2013)02-0055-04

Effect of structural patterns in sump of pumping stations on flows//YAN Hongqin¹, CHEN Songshan²(1. *Hydraulic Engineering Science and Technology Consultation Limited Company of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China*; 2. *School of Energy and Power Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China*)

Abstract: In order to analyze the effect of the structural layout in the sump of pumping stations, CFD technology was employed to simulate the flow regimes in the sump with different structural patterns. The simulated results show that the pump beams set at both sides of the inlet pipe basically have no effect on the flow regime in the sump and the hydraulic performance in the outlet of the trumpet mouth. When the pump beams at the side of the inlet pipe are changed to a maintenance platform, a horizontal vortex appears below the platform, and the hydraulic performance in the outlet of the trumpet mouth slightly decreases. When the maintenance platform is set behind the inlet pipe, the channel for the water at the sump surface and near-wall regions flowing into the trumpet mouth is cut off, and the hydraulic performance at the outlet decreases. When the maintenance breast wall is set in the sump, the flowing patterns of the surface water are changed, leading to one-way flows into the trumpet mouth, and the hydraulic performance at the outlet obviously decreases. When the maintenance breast wall in the sump and the maintenance platform behind the inlet pipe are simultaneously set, the flows in the sump are turbulent and result in one-way flows into the trumpet mouth, and the hydraulic performance at the outlet is worst. Therefore, except for the pump beams, other structures should not be set in the sump.

Key words: pumping station; sump; structure; flow regime; hydraulic performance; numerical simulation

开敞式进水池是中、小型立式轴(混)流泵站中最常见的进水池, 主要作用是调整水流, 为水泵提供良好的进水条件。陆林广等^[1]从理论上给出了进水池及喇叭管的最佳水力设计准则; 孙衣春等^[2]分析了不同形状进水池的水力性能; 刘超等^[3]提出了进水池设计的控制尺寸, 成立等^[4]指出采用 ω 形后壁体可使进水池流态、水力性能得到明显改善。开敞式进水池的宽度、长度、水泵吸水喇叭管的淹没水深、悬空高、后壁距等控制性尺寸在有关规范^[5]或技术书籍^[6-7]中均有明确表述, 且经实践证明也是合

适可行的。在具体工程设计中, 有时会在进水池中增加部分构筑物, 以便于安装和检修设备。这些构筑物设置后, 对进水池流态及水泵喇叭口出口(即叶轮室进口)水力性能的影响, 尚未见相关研究分析。采用 CFD(computational fluid dynamics)技术分析进水池、泵装置流态已成为普遍采用手段之一^[8-9], 为此, 本文针对实际工程中存在的不同构筑物布置形式, 利用 CFD 技术对开敞式进水池水流进行三维数值模拟计算, 分析不同构筑物布置形式对进水池流态及喇叭口出口水力性能的影响, 提出构

1 构筑物布置及计算方案

通常开敞式进水池平面形状为矩形,后壁多为ω形,以改善水泵进水条件。水泵和吸水管置于池中,水泵安装于钢筋混凝土水泵梁上,如图1(a)所示。实际工程中,为便于设备安装、检修,部分泵站将水泵梁加宽构筑成检修平台(图1(b)(c)),还有的在进水池进口处设置挡水胸墙(图1(d)(e)),以降低检修门高度。计算中将图1(a)~(e)分别定义为方案1~5,为便于比较,将进水池中仅有进水管的布置形式定义为方案0。

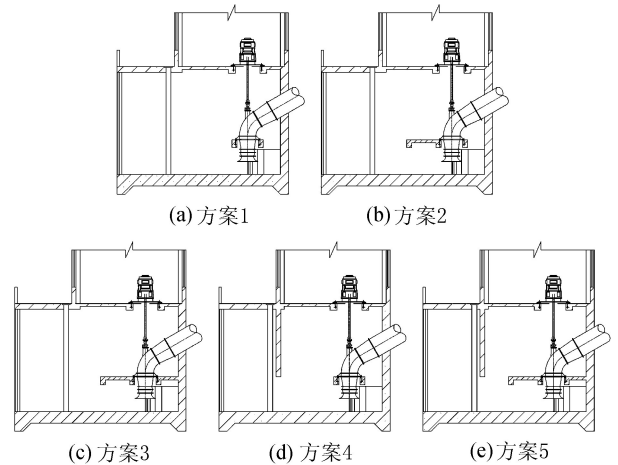


图1 进水池各种构筑物布置形式

2 数值模拟分析模型

2.1 控制方程与计算方法

开敞式进水池内水流处于复杂的三维紊流状态,本文采用基于不可压缩流体的连续性方程和定常时均雷诺方程(RANS方程),以及基于涡团黏性假设的标准k-ε紊流模型方程^[10],利用Fluent软件进行流场计算。控制方程采用控制体积法离散(其中扩散项采用中心差分,对流项采用二阶迎风格式),半隐式压力耦合算法(SIMPLE算法)求解。网格划分采用适应性较强的四面体网格,喇叭口部位网格局部加密,共划分为120万个网格单元。

2.2 计算物理区域

以某900ZLB型立式轴流泵站(图2)为研究对象,该站进水池宽3.0m,水深3.5m,水泵中心线距进水池进口8.0m,进水喇叭管悬空高0.8m,喇叭管进口内径1.25m,出口内径0.82m,后壁为ω形,高度与水面齐平,后壁距为1.25m。计算物理区域包括开敞式进水池(含ω形后壁)、水泵吸水喇叭管、进水管以及进水池内水泵梁、检修平台、胸墙等。为研究喇叭管出口,即水泵叶轮室进口的流态,将喇

叭管出口适当延长(不含水泵叶轮)。对图1所示的各方案分别进行三维实体造型,限于篇幅,本文仅给出方案1的三维实体造形,如图3所示。

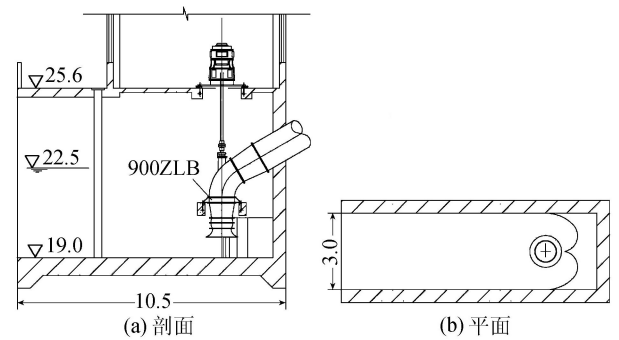


图2 典型泵站示意图(单位:m)

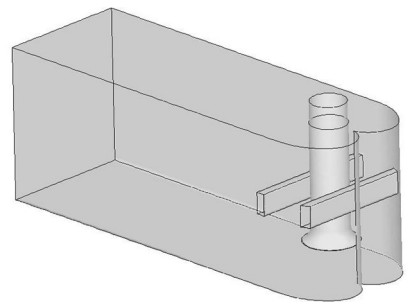


图3 方案1三维实体造形

2.3 边界条件

a. 进口条件。采用速度进口条件,计算进口设在进水池进口,来流均匀分布,各节点流速相等,结合该水泵的设计流量,计算中进口流速采用0.3m/s。进口紊动能k和紊动耗散率ε由式(1)^[11]给出:

k = 0.005v^2 ε = (k^1.5) / 0.01D (1)

式中:v为进口平均流速;D为进口当量直径。

b. 出口边界。流场出口设置在喇叭管出口延伸较远处,该断面为充分发展的湍流,满足二类边界条件,按出口断面外法线方向梯度为零的出流条件给定。

c. 固壁条件。进水池边壁、底部及水泵喇叭管采用固定壁面,近壁区域采用标准的壁面函数。

d. 自由水面。自由水面采用对称边界条件。

3 水力性能评价指标

进水池是安装水泵进水管的建筑物,一般要求进水池水力设计应满足两个条件^[1]:一是池内水流平顺,水力损失小,无有害漩涡产生,保证水泵机组不产生性能恶化和机械振动;二是水泵叶轮室进口断面速度分布均匀且垂直于该断面,保证水泵装置达到其最佳运行状况。为此除进水池内流态分布外,以进水池进口至喇叭管出口间水力损失Δh、喇叭管出口速度分布均匀度V_u和速度加权平均角度θ̄作为

各方案水力性能优劣的判断指标,计算公式为

$$\Delta h = E_1 - E_2 \quad (2)$$

$$V_u = \left[1 - \frac{1}{\bar{u}_a} \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (u_{ai} - \bar{u}_a)^2} \right] \times 100\% \quad (3)$$

$$\bar{\theta} = \frac{\sum_{i=1}^m u_{ai} \left(90^\circ - \arctan \frac{u_{ti}}{u_{ai}} \right)}{\sum_{i=1}^m u_{ai}} \quad (4)$$

式中: E_1 、 E_2 分别为进水池进口、喇叭管出口断面处总能量; $\bar{u}_a$ 为出口断面的平均轴向流速; u_{ai} 为断面各单元的轴向流速; u_{ti} 为断面各单元的横向流速; m 为喇叭口出口流场数值计算时所划分的单元个数。

4 数值模拟结果与分析

4.1 进水池流态

为直观显示各方案内部流场,图4给出了各方案进水池流态分布。图5和图6分别为从进水池后壁、底部所观察到的喇叭口附近流态。由图4~6可见:

a. 方案0中,进水池水流平顺,无不良流态,表面及进水池两侧近壁处水体绕过进水管从后半段进

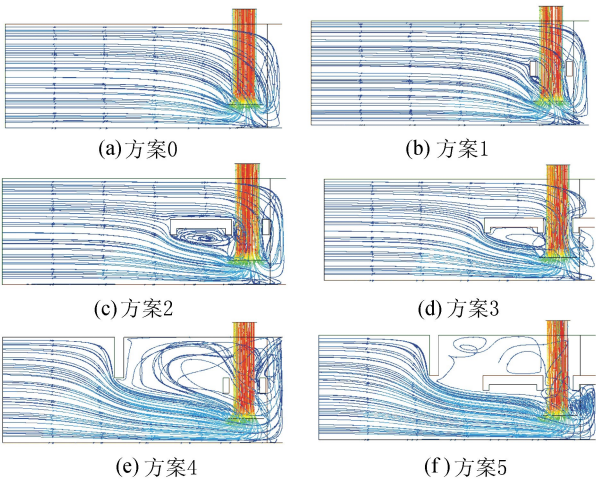


图4 各方案流场迹线(正视)

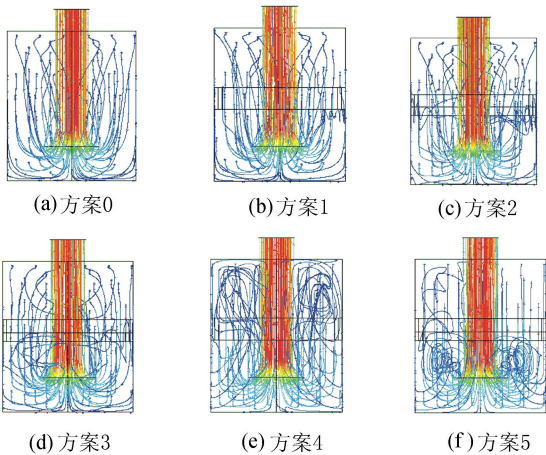


图5 各方案喇叭口流场迹线(左视)

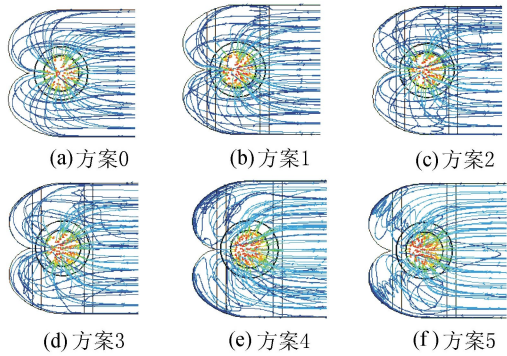


图6 各方案喇叭口流场迹线(仰视)

入管中,中下部水体从喇叭口前半段进入;从下方看,喇叭口呈四面进水状态, ω 形后壁与流线形状基本吻合。

b. 方案1增加水泵梁后,除水泵梁后局部出现较小的横轴漩涡外,进水池基本无其他不良流态,表面及进水池两侧近壁处水体绕过进水管从后半段进入管中,中下部水体基本从喇叭口前半段进入;从下方看,喇叭口呈四面进水状态, ω 形后壁与流线形状亦基本吻合。

c. 方案2将进水侧水泵梁加宽形成检修平台后,在平台下方及水泵梁后出现横轴漩涡,漩涡下部距喇叭口较近,有造成喇叭口进水不稳定的可能;表面及进水池两侧近壁处水体仍可绕过进水管从后半段进入管中;从下方看,喇叭口仍呈四面进水状态, ω 形后壁与流线形状基本吻合。

d. 方案3在方案2的基础上,在进水管后侧也设置了检修平台,除进水侧平台下出现横向漩涡外,表面及两侧近壁水体受后侧平台阻挡,从平台上方向沿 ω 形后壁、螺旋状从进水管两侧向下,进入平台下方 ω 形后壁体后再进入喇叭管,水流紊乱;而且从下方看,喇叭口以三向进水为主,后侧少量进水。

e. 方案4在方案1的基础上增设检修胸墙,受胸墙竖向挤压影响,表面中部水体只能与下层水体一道从进水管前半部进入喇叭口,表面两侧及近壁区水体绕至进水管后,从胸墙后回流进喇叭口,胸墙后形成较大尺度的回流区;从下方看,喇叭口呈单向进水状态。

f. 方案5在方案3的基础上设检修胸墙,受检修胸墙及平台的共同作用,胸墙后部、检修平台上方形形成较大的死水区,池内水体只能从进水管前半部进入喇叭口,表面及两侧近壁水体绕至进水管后侧平台下方,以螺旋状进入喇叭口,水流紊乱;从下方看,喇叭口呈单向进水状态。

通过上述流态比较分析不难发现,安装泵体的水泵梁,除梁后出现的少量横轴漩涡外,对进水池流态基本无影响。在进水管进水侧设置检修平台后,

在其下方形成的横轴漩涡有进入喇叭口的可能,对喇叭口进水方式有一定影响。进水管后侧设置的检修平台切断了进水池表面及两侧近壁区水体进入喇叭口的通道,设置竖向检修胸墙改变了表面水体流动方式,造成喇叭口单向进水,对泵装置稳定运行不利。

4.2 喇叭口出口水力性能

将各方案的 Δh 、 V_u 和 $\bar{\theta}$ 的计算结果列于表 1。对照方案 0,在进水池中布置水泵梁、检修平台、检修胸墙均会增加进水池水力损失,降低 V_u 和 $\bar{\theta}$,竖向构筑物较水平向构筑物影响更甚。

表 1 各方案喇叭口出口水力性能参数			
方案编号	$\Delta h/m$	$V_u/\%$	$\bar{\theta}/(^{\circ})$
0	0.182	98.01	87.70
1	0.182	97.85	87.45
2	0.183	97.68	87.37
3	0.197	97.42	87.27
4	0.219	97.07	86.86
5	0.221	96.91	86.62

从各参数的变化可以发现,方案 1 中的水泵梁或方案 2 的进水侧检修平台, Δh 基本不变, V_u 及 $\bar{\theta}$ 略有降低;方案 3 中进水管后侧检修平台的设置, Δh 增加明显, V_u 及 $\bar{\theta}$ 降低;方案 4 在进水侧设置检修胸墙,方案 5 同时设置检修平台及胸墙, Δh 继续增加, V_u 及 $\bar{\theta}$ 较方案 0 降低明显。

5 结 语

通过 5 种进水池构筑物布置形式的 CFD 模拟计算可知,在开敞式进水池中进水管两侧设置水泵梁,对进水池流态及喇叭口出口水力性能基本无影响;进水侧水泵梁延伸形成检修平台后,平台下方出现的横轴漩涡距喇叭口较近,有造成喇叭口进水不稳定的可能,喇叭口出口水力性能略有降低;进水管后侧设置检修平台,切断了进水池表面及两侧近壁区水体进入喇叭口的通道,喇叭口出口水力性能降低;在池内设置检修胸墙,改变了表面水体流动方式,造成喇叭口单向进水,喇叭口出口水力性能下降明显;同时设置检修胸墙及进水管后侧检修平台,池内水流紊乱,喇叭口单向进水,喇叭口出口水力性能最差。为此,开敞式进水池中除布置必要的水泵梁外,应尽量避免出现检修平台,特别是进水管后侧的检修平台和池首的检修胸墙,以确保机组稳定运行。

本研究成果主要以数值模拟分析为主,拟结合相关课题研究,进行水工物理模型试验,以进一步验证分析成果。

参考文献:

[1] 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(3):16-25. (LU Linguang, CAO Zhigao, ZHOU Jiren. The optimum hydraulic design of pump intakes[J]. Journal of Hydraulic, 1997, 3(3): 16-25. (in Chinese))

[2] 孙衣春,魏文礼,李超. 进水池平面形状对其水力性能影响的数值分析[J]. 黑龙江水利科技,2008,36(1):1-3. (SUN Yichun, WEI Wenli, LI Chao. Sump shape on its hydraulic performance numerical analysis[J]. Helongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2008, 36(1):1-3. (in Chinese))

[3] 刘超,成立,汤方平,等. 水泵站开敞进水池三维紊流数值模拟[J]. 农业机械学报,2002,33(6):53-55. (LIU Cao, CHENG Li, TANG Fangping, et al. Numerical simulation of three-dimensional turbulent flow for opening pump sump[J]. Journal of Agricultural Machinery, 2002, 33(6):53-55. (in Chinese))

[4] 成立,刘超. 基于 CFD 技术的泵站进水池水力性能研究[J]. 河海大学学报:自然科学版,2009,37(1):52-56. (CHENG Li, LIU Cao. Hydraulic performance of pump sumps based on CFD approach[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2009, 37(1):52-56. (in Chinese))

[5] GB 50265—2010 泵站设计规范[S].

[6] 严登丰. 泵站工程[M]. 北京:水利水电出版社,2005:85-91.

[7] 储训,刘革新. 中小型泵站设计与改造技术[M]. 南京:河海大学出版社,2001:118-135.

[8] 颜红勤,陈松山,葛强,等. 钟形进水流道试验及数值模拟[J]. 排灌机械,2007,25(5):55-60. (YAN Hongqin, CHEN Songshan, GE Qiang, et al. Hydraulic experiment and numerical simulation of campaniform inlet duct[J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2007, 25(5):55-60. (in Chinese))

[9] 李彦军,颜红勤,葛强,等. 大型低扬程泵装置优化设计与试验[J]. 农业工程学报,2010,26(9):144-148. (LI Yanjun, YAN Hongqin, GE Qiang, et al. Optimum hydraulic design and model test of large-scale low-lift pumd devices[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(9): 144-148. (in Chinese))

[10] 陆林广,张仁田. 泵站进水流道优化设计[M]. 北京:中国水利水电出版社,1997:20-21.

[11] 陶文铨. 数值传热学[M]. 2 版. 西安:西安交通大学出版社,2001:400-408.

(收稿日期:2012-06-08 编辑:熊水斌)