

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2017.05.004

泵站直边正向前池流态模拟与泥沙淤积预防措施

徐存东¹,刘璐瑶¹,王国霞¹,田子荀¹,刘丽霞²,程 慧¹

(1. 华北水利水电大学水资源高效利用与保障工程河南省协同创新中心,河南 郑州 450045;
2. 甘肃农业大学工学院,甘肃 兰州 730000)

摘要: 针对从高含沙河道取水的大型泵站直边正向前池泥沙淤积导致前池调节能力下降、泵站运行效率低下等问题,利用 ICEM-CFD 软件构建原型前池结构三维模型,采用 FLUENT 软件基于 Standard $k-\varepsilon$ 湍流模型对前池流态进行模拟分析,并针对不良水流流态提出增设导流墩与压水板 2 种优化措施。结果表明,数值模拟结果与实际调查情况相一致,前池水流流态紊乱,泥沙淤积较严重,八字形导流墩可在一定程度上削减主回流区范围,但对前池水流仅起到分配作用,流场分布无明显改善;45°压水板能有效改善前池主流效应,两侧回流区明显减弱,在改善前池泥沙淤积问题的同时保证了水泵有利的进水条件。
关键词: 泵站前池;泥沙淤积;流态模拟;流态改善;八字形导流墩;45°压水板
中图分类号:TV675 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1980(2017)05-0398-08

Flow simulation of front inflows in the straight-edge forebay of pumping station and preventive measures of sediment deposition

XU Cundong¹, LIU Luyao¹, WANG Guoxia¹, TIAN Zixun¹, LIU Lixia², CHENG Hui¹

(1. Collaborative Innovation Center of Water Resources Efficient Utilization and Protection Engineering, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450045, China;
2. Institute of Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Due to the sediment deposition occurring in front inflows of the straight-edge forebay of large pumping station, where its water is taken from the river with high content of sand, the adjustment ability of the forebay is usually reduced and the operation efficiency of the pumping station becomes low. To solve this problem, a prototype 3D model of the forebay structure is established using the ICEM CFD software, with its flow regime being modelled and analyzed by using Standard $k-\varepsilon$ turbulence model in the FLUENT software. Moreover, two optimization measures are proposed for the bad flow regime by incorporating diversion pier or water pressure plate. The findings show that the computed results are consistent with those from site survey, the flow regime in the forebay is in disorder and the sand sedimentation is quite serious. The eight-shaped diversion pier can reduce to some extent the scope of the main re-circulation region, but only serves as allocating of the forebay flow without obvious improvement in its flow filed distribution. On the contrast, the 45° water pressure plate can effectively improve the mainstream effect in the forebay, and the back-flow region on both sides is obviously reduced. The sand sedimentation problem in the forbay is thus solved with the favorable inflow conditions being ensured for the water pump.
Key words: the forebay of pumping station; sediment deposition; flow simulation; flow improvement; eight-shaped diversion pier; 45° water pressure plate

收稿日期: 2016-10-20
基金项目: 国家自然科学基金(51279102;51279064);河南省教育厅科技创新人才支持计划(14HASTIT047);河南省高校科技创新团队支持计划(14IRTSTHN028)
作者简介: 徐存东(1972—)男,甘肃景泰人,教授,博士,主要从事水工结构优化设计和耐久性研究。E-mail:xcundong@126.com
通信作者: 刘璐瑶,硕士研究生。E-mail:LiuLuyao8888@126.com

甘肃省景泰川电力提灌工程灌区(简称景电灌区)是位于我国西北干旱区的大型引黄灌区。该灌区内建有泵站 43 座,装机容量 25.97 万 kW,灌溉面积 6.51 万 hm^2 。由于泵站引水含沙量高,加之泵站设计不合理造成池内流态不良,而流态又是决定挟沙能力的重要因素,故目前灌区内泵站前池淤积问题严重,影响了泵站的正常运行,制约了灌区工程效益的充分发挥^[1]。因此,必须深入探索泵站前池泥沙淤积的流态成因并采取适当工程整流措施对前池的水力条件进行改善。

目前国内外学者针对泵站前池泥沙淤积防治措施开展了大量研究,取得了丰富的研究成果。Constantinescu 等^[2]利用 Standard $k-\varepsilon$ 方程模拟了泵站前池的漩涡情况,模拟获得的漩涡结构与模型试验结果相似,而湍流数学模型的选择和边界条件的处理方式会对漩涡出现的位置和强度造成影响。刘新阳等^[3]针对田山一级泵站采用雷诺时均 N-S 方程,结合 Standard $k-\varepsilon$ 湍流模型进行数值模拟,分析并选择了非连续底坎、非连续挑流坎与压水板 3 种整流措施相结合的整流工程措施。窦国仁^[4]基于潮流与波浪基本方程及其相似条件,并结合泥沙运动方面的多年研究成果,构建了针对悬沙和底沙模拟的物理模型相似理论。Nakato^[5]构建了 Chicot 湖取水泵站前池的 1:24 的室内试验模型,通过对比现场调查资料和模型试验结果,确定泥沙淤积分布和平均水深、平均流速及水流流态关系密切。但是,采用直边正向前池的结构形式开展池内流态模拟和泥沙淤积防治专项技术研究的还不多见。本文选取甘肃省景电灌区一期西干三泵站典型直边正向前池为模拟对象,采取不同整流方案分别进行研究分析,以期为同类泵站的前池流态改善的数值模拟提供参考依据。

1 泵站概况

1.1 泵站参数

景电灌区一期西干三泵站共布置 5 台套机组,1~3 号机组流量均为 $0.85\text{ m}^3/\text{s}$,吸水管直径为 800 mm,4 号机组流量为 $0.28\text{ m}^3/\text{s}$,吸水管直径为 500 mm,5 号机组流量为 $1.6\text{ m}^3/\text{s}$,吸水管直径为 1000 mm;泵站吸水管安装高程为 1656.40 m,前池设计水位为 1658.67 m,前池扩散角为 36° 。为了保证前池流态数值模拟的真实性,选取的计算区域除了前池部分(水平段和斜坡段),还包括泵站前池前的 10 m 引水渠、渐变段、闸室段和进水池以及吸水管道,构成较为完整的流场范围^[6],其结构形式如图 1 所示,图中,y1-1~y1-5、z1-1~z1-3 为观测断面。

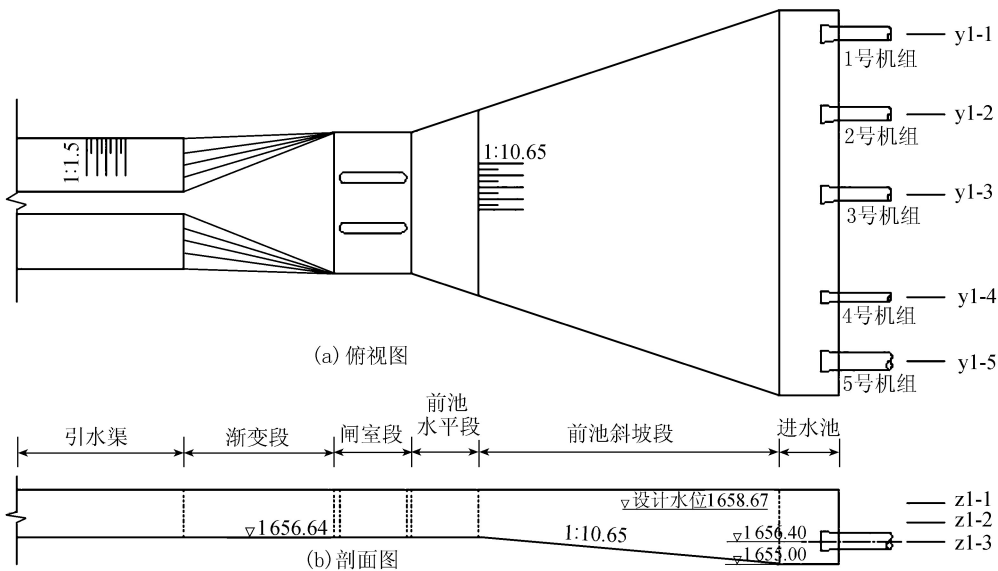


图 1 直边正向前池结构示意图(单位:m)

Fig. 1 Structural diagram of straight-edge front inflow forebay (units: m)

1.2 现场调查

现场淤积程度调查结果如图 2 所示,图中虚线范围内为泥沙淤积范围。由图 2 可知,正向泵站前池泥沙淤积形态近似轴对称分布,两侧泥沙淤积顶部范围大小和厚度接近,厚度约 2.6 m,淤积坡面平顺,形成了新的过水流道。淤积形态的尾部呈喇叭口形,两侧底脚泥沙淤积至进水池,影响泵站两侧水泵的取水。

2 水流挟沙理论与数学计算模型

2.1 水流挟沙能力结构公式

舒安平、费祥俊基于固液两相挟沙水流紊动能量方程得出水流挟沙能力的结构公式,证明了水流流态是决定挟沙能力的重要因素^[7],其公式为

$$S_* = q \left[\frac{f(\mu_r)}{\kappa^2} \left(\frac{f_m}{8} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{\rho_m g}{\rho_s g - \rho_m g} \frac{u^3}{g R \omega} \right]^N \tag{1}$$

式中: S_* ——挟沙能力; $f(\mu_r)$ ——待定函数; μ_r ——挟沙水流的相对黏度; κ ——水流流态卡门常数; f_m ——流动阻力; ρ_m ——挟沙水流密度; ρ_s ——泥沙密度; u ——流速; ω ——泥沙沉速; g ——重力加速度; q 、 N ——经验参数; R ——水利半径。

2.2 控制方程

泵站前池水流属于复杂的三维湍流运动,水流视为不可压缩流体(密度为常数),流体的热交换量较小,故模拟不考虑能量方程^[8]。因此,泵站前池的水流连续性方程、动量守恒方程分别为^[9]

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \tag{2}$$

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu_{\text{eff}} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + \rho g_i \tag{3}$$

式中: u_i 、 u_j ——流速矢量; ρ ——流体密度; t ——时间; p ——包含湍流动能的静压力; μ_{eff} ——流体运动的有效黏滞性系数; g_i —— i 方向的重力分量。

2.3 Standard $k-\varepsilon$ 模型

Standard $k-\varepsilon$ 模型是基于湍流动能耗散率的半经验公式,是针对湍流充分发展的高雷诺数流动建立的^[10],模型的稳定性和精确性在科学界得到了广泛验证^[11]。泵站前池水流流态属于高雷诺数湍流,因此采用 Standard $k-\varepsilon$ 模型进行计算。其湍动能方程、湍动能耗散率 ε 方程分别为^[9]

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left[\rho u_j k - \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] = \rho (P_k - \varepsilon) \tag{4}$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left[\rho u_j \varepsilon - \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] = \rho \frac{\varepsilon}{k} (C_{1\varepsilon} P_k - C_{2\varepsilon} \varepsilon) \tag{5}$$

其中
$$\mu_{\text{eff}} = \mu + \mu_t \quad \mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$

式中: μ 、 μ_t ——层流黏滞性系数和湍流黏滞性系数; P_k ——湍流能生成项; $C_{1\varepsilon}$ 、 $C_{2\varepsilon}$ 、 C_μ 、 σ_k 、 σ_ε ——经验常数,分别取值 1.44、1.92、0.09、1.0 和 1.3,即 FLUENT 中的默认设置。

2.4 边界条件及网格划分

根据泵站前池进口断面处的平均流速,选用速度进口边界条件。出口边界水流为完全发展流动,将出口边界条件设置为 outflow 边界条件^[12]。固体壁面边界处理选择 FLUENT 软件常用的壁面函数法。泵站前池自由表面受外界环境影响小,浮动变化不大,采用刚盖假定法模拟计算自由表面,即在 FLUENT 中自由表面条件设置为 symmetry^[13]。

泵站前池边界条件较为复杂,池内有吸水管及防淤设施等,因此采用非结构化网格进行模型网格划分^[14]。根据泵站前池的实际尺寸,利用 ICEM-CFD 软件对其进行三维几何模型构建和网格划分,局部位置进行了适当加密,调整网格数量进行试算,结果误差在 5% 以内,即满足网格无关性检验,采用的计算网格单元总数为 1074457。直边正向前池三维模型和网格划分结果如图 3 所示。

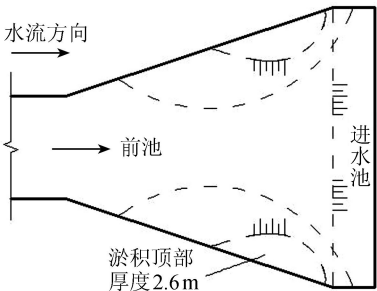


图2 直边正向前池淤积程度示意图
Fig.2 Diagram of sediment deposition in straight-edge front inflow forebay

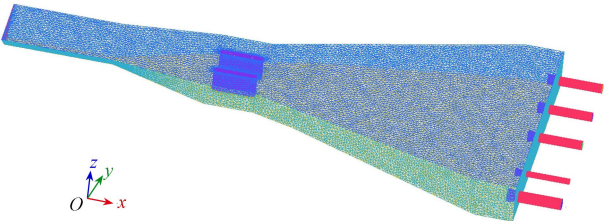


图3 直边正向前池计算区域网格划分
Fig.3 Meshing of computing area of straight-edge front inflow forebay

3 模拟分析

将 ICEM-CFD 软件生成的网格文件导入 FLUENT 软件进行模拟分析。模拟计算精度均取 10^{-4} , 计算过程中, 连续性收敛速度较慢, 但并非每项残差都收敛, 模拟过程才收敛, 对于定常流, 通过比较进、出口流量以及观察其他参数的残差波动性即可判断连续性是否收敛。当模型进、出口流量误差几乎为零, 其余参数残差达到精度要求且波动不大, 故认为模拟过程收敛^[15]。

确定观测断面, 观察各断面的流场情况, 观测断面位置如图 1 所示, 各断面具体参数见表 1。模拟 5 台机组全部以设计流量同时运行, 总设计流量 $4.43\text{ m}^3/\text{s}$ 时泵站前池各断面的流场分布, 结果如图 4、图 5 所示。

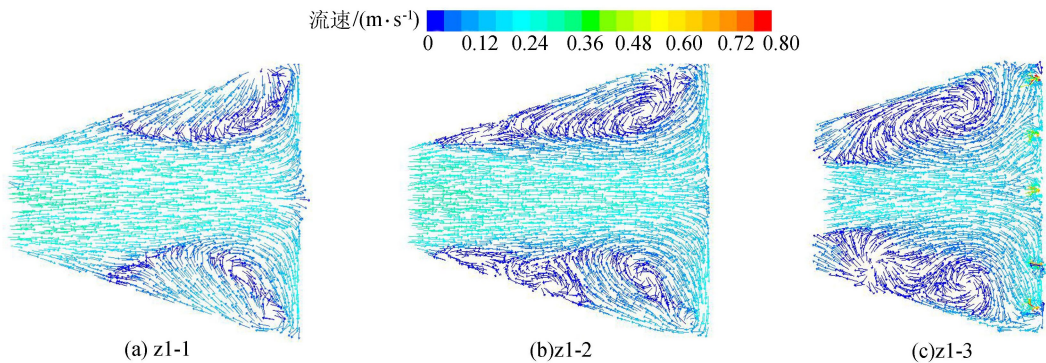


图 4 z1-1 ~ z1-3 断面前池流线
Fig. 4 Pathlines in forebay from section z1-1 to z1-3

由图 4 和图 5 可以看出, 水流进入直边正向前池后, 平面扩散和立面扩散效果很不理想, 由于平面扩散差, 使得主流限制在前池中间, 两侧形成的回流区进一步挤压主流; 由于立面扩散差, 下层水流流速减小, 回流现象更加突出。回流区水流流速较低, 尤其是前池下层水域, 当水流流速低于其挟沙最低流速时, 水流含带的泥沙便开始在回流区域内沉降、淤积, 该结论与现场调查结果吻合。

4 防淤措施模拟

根据 GB50265—2010《泵站设计规范》^[16] 及直边正向前池实际运行情况, 计算时选取以下 2 种方案分析结构优化措施对其防淤效果的改善:

方案 1: 采用八字形导流墩进行优化, 八字形导流墩设在前池斜坡段, 采用对称布置, 其主要控制参数有位置参数 (L_1 、 L_2 、 β) 和尺寸参数 (L_3)^[17], 如图 6 所示。设置导流墩长度为 1000 cm, 即 $L_3 = 1000\text{ cm}$, 其他各

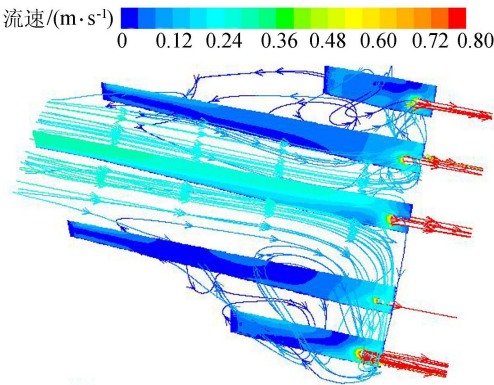


图 5 y1-1 ~ y1-5 断面流速分布云图及前池流线
Fig. 5 Velocity distribution contour from section y1-1 to y1-5 and pathlines in forebay

表 1 观测断面参数
Table 1 Parameters of observation sections

观测断面	y/m	观测断面	z/m
y1-1	10.10	y1-5	-9.470
y1-2	5.30	z1-1	-0.790
y1-3	0.50	z1-2	-1.915
y1-4	-5.62	z1-3	-3.050

注: y 是观测断面到渠道中心线的距离, 顺流向左为正, 右为负; z 是观测断面距水面线以下距离, 负号表示水面线以下。

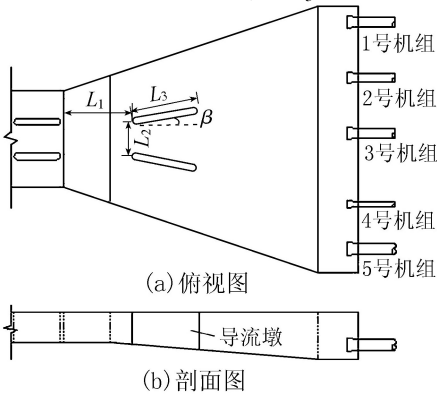


图 6 直边正向前池导流墩布置示意图
Fig. 6 Layout diagram of diversion pier in straight-edge front inflow forebay

参数通过模拟结果与单一变量最优取值选取,见表2。

通过数值模拟发现,八字形导流墩对泵站前池水流仅起到分流作用,引导部分主流流向前池两侧,对前池两侧的回流区有一定的削减作用,然而在导流墩的作用下,前池水流的平面扩散和立面扩散效果改善不佳,经导流墩分配的原主流变为3股主流,流场分布不均匀,水流挟沙能力不足,泥沙在前池淤积。

选取7种参数组合(表2),分别建立几何模型、划分网格,不同组合的网格单元数在146.4万~151.3万之间,前池下层水流的流速分布矢量图如图7所示。

不同参数组合的导流墩实施效果差异较大。当 $L_1>600\text{ cm}$ 时,导流墩距离前池入口过远,失去了对主流的控制作用,主流流道发生扭曲,如图7(d)所示。当 $L_1<600\text{ cm}$ 时,导流墩远离前池末端,不能有效改善前池末端回流区范围,如图7(e)所示。当 $L_2>300\text{ cm}$ 时,导流墩间距过大,主流区的回流面积增加。当 $\beta>12^\circ$ 时,在导流墩背水面极易出现漩涡,且范围较大,严重压缩导流墩内部主流,如图7(c)所示。当 $\beta<12^\circ$ 时,导

表2 导流墩位置参数

Table 2 Parameters of diversion Pier's location			
参数组合编号	L_1/cm	L_2/cm	$\beta/(\text{^\circ})$
a	600	400	10
b	600	400	12
c	600	400	15
d	800	400	12
e	500	400	12
f	600	300	12
g	600	500	12

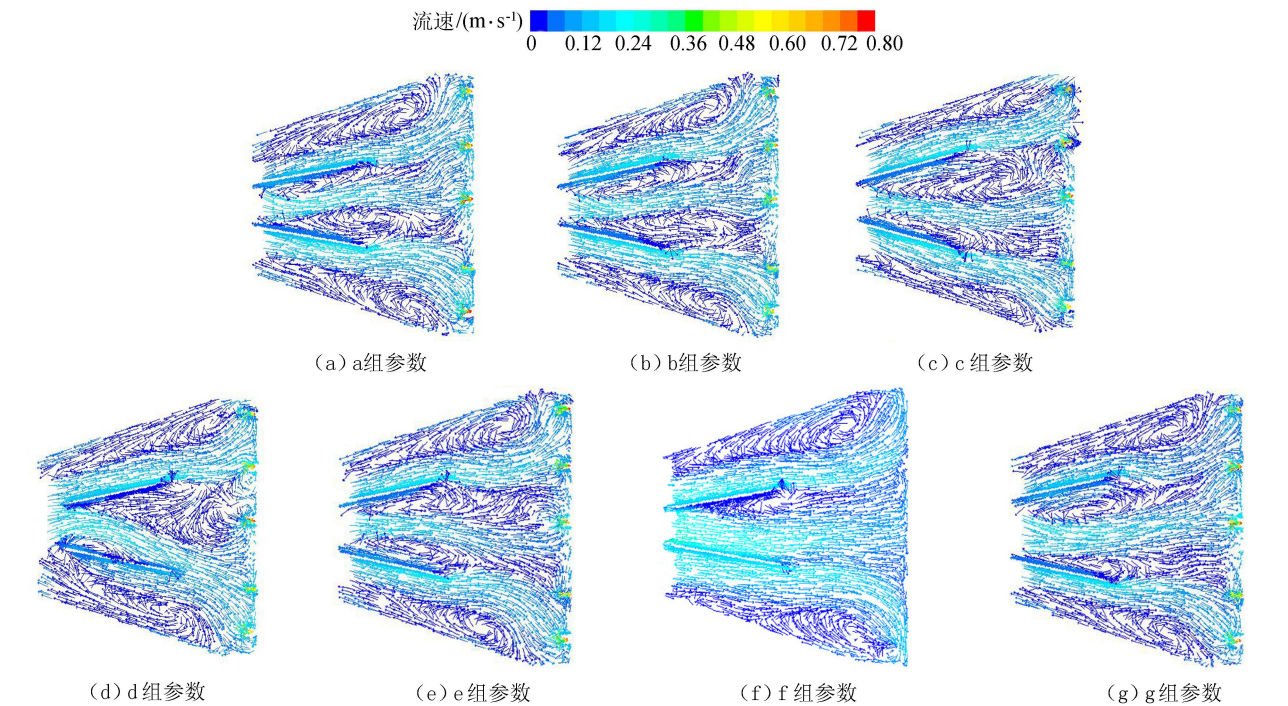


图7 方案1各组参数导流墩优化前池流线

Fig.7 Optimized streamline of the forebay by using different parameters for the diversion pier in solution 1

流墩不能有效削减两侧回流区,如图7(a)所示。综上,参数组合 $L_1=600\text{ cm}$ 、 $L_2=300\text{ cm}$ 、 $L_3=1\,000\text{ cm}$ 、 $\beta=12^\circ$ 的八字形导流墩对直边正向前池流态具有一定的改善作用,分配前池水流,导向前池两侧,挤压和削弱末端回流区,同时导流墩背水面的漩涡回流现象较弱。

方案2:采用 45° 压水板对直边正向前池进行优化改造,压水板主要控制参数有压水板下缘入水深度 H 和到前池入口的距离 L ,如图8所示。该方案压水板参数取值见表3。

选取9种参数组合,分别建立几何模型、划分网格,不同组合的网格单元数在117.0万~117.3万之间,各组合下的前池下层水流的流速分布矢量图如图9所示。

由图9可知,泵站前池内设置 45° 压水板能够显著改善直边正向前池水流的主流效应,有效增强前池水流的平面扩散和立

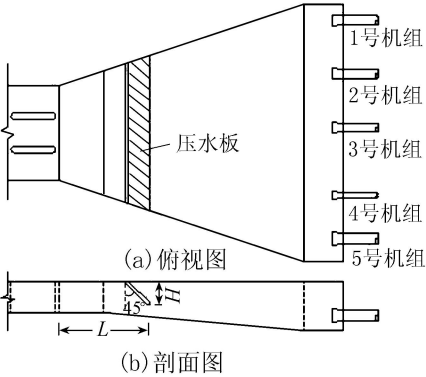


图8 直边正向前池 45° 压水板布置示意图

Fig.8 Layout diagram of 45° pressure plate in straight-edge front inflow forebay

面扩散效果,前池两侧回流区明显减弱,使前池内上、下层水流流速分布均匀,上层水流形成稳态扩散,改善前池泥沙淤积问题的同时保证了水泵有利的进水条件。下层水流流速明显增加,对前池底部泥沙具有一定的冲刷作用,同时水流的挟沙能力也得到大幅度提高,有利于减少前池泥沙淤积。

不同参数组合的压水板对前池水流的作用能力各不相同,通过对比模拟结果可以看出, H 和 L 分别取 60 cm 和 800 cm 时,对前池水流流态的改善效果最佳。取 $H<60$ cm 时,压水板对前池水流的作用不够,导致前池主流的平面扩散效果较差,在前池两侧出现带状低速回流区,容易造成泥沙淤积,同时端机组附近水流紊乱,水泵进水条件较差,如图9(a)(b)(c)所示。取 $H>60$ cm 时,压水板对前池水流的作用过强,影响深度过大,导致下层水流均匀流速区厚度过小,甚至低于水泵吸水管口,不利于水泵的取水,造成水泵工作性能下降,工作效率降低,如图 9(g)(h)(i)所示。取 $L<800$ cm 时,压水板的作用未能延伸至前池末端,在端机组前出现了 2 个小范围低速区,可能会出现一定的泥沙淤积,如图 9(a)(d)(g)所示。取 $L>800$ cm 时,压水板前空间过大,水流流速低,在板前出现了漩涡回流,不利于前池的防淤,如图 9(c)(f)(i)所示。

表 3 45°压水板位置参数

Table 3 Parameter of 45° pressure plate location					
编号	H/cm	L/cm	编号	H/cm	L/cm
a	40	600	f	60	1 000
b	40	800	g	100	600
c	40	1 000	h	100	800
d	60	600	i	100	1 000
e	60	800			

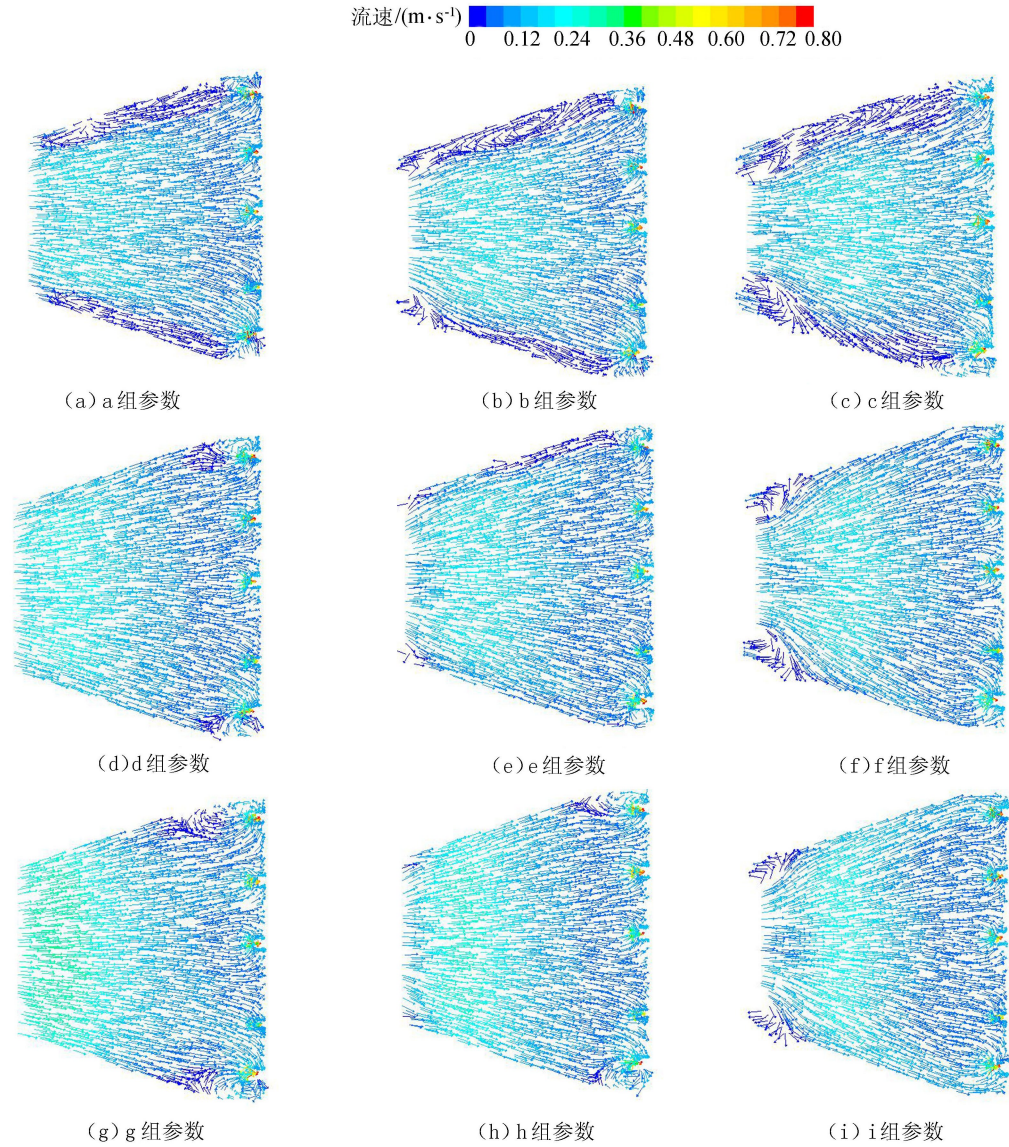


图 9 方案 2 各组参数压水板优化前池流线

Fig.9 Forebay optimized streamline by using different parameters for the water pressure plate in solution 2

5 改造效果分析

景电灌区一期西干三泵站于 2015 年 1—5 月运用八字形导流墩对前池进行改造,并进行现场测试与试验,后发现侧边壁与导流墩两侧依然淤积较多泥沙。故次年 2—6 月改用压水板对前池进行再次改造,现场测试与试验表明前池两侧淤积基本清除,并且水泵效率有了明显提高。表 4 给出了前池改造前后淤积程度与泵站的相关性能参数。

表 4 改造前后数据对比
Table 4 Data comparison between before and after improvement

改造方案	淤积地点	最大淤积 厚度/m	流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	总扬程/ m	功率/kW		管路 损失/m	效率/%			
					输入	轴功率		电动机	水泵	管路	装置
改造前	前池两侧	2.6	4.43	28.29	186	163.68	0.56	85.98	68.96	86.43	51.43
导流墩改造	前池两侧	1.9	4.48	27.96	173	152.24	0.60	85.98	70.13	85.30	51.43
	导流墩两侧	0.9	4.48	27.96	173	152.24	0.60	85.98	70.13	85.30	51.43
压水板改造	前池两侧	0.4	4.56	27.97	170	149.60	0.59	85.98	74.56	85.31	54.69

注:装置效率=电动机效率×水泵效率×管路效率。
通过现场测试发现压水板整流后前池内流态得到了较好改善,流量明显提高,泥沙基本消除。并且因水泵效率为(流量×扬程)/轴功率,故由表可见改导流墩与压水板造后水泵效率分别提高了 5.71% 与 8.68%。

6 结 论

- a. 利用 FLUENT 软件对直边泵站前池水流流态进行模拟可知,前池两侧中后部回流区流速较低,平面和立面扩散效果较差,易产生泥沙淤积,与现场调查情况相符,可见该数值模拟结果较为精确,可普遍适用于同类型泵站前池优化改造措施的模拟研究。
- b. 前池内设置八字形导流墩对前池水流有一定的分配和引导作用,但主流效应未得到明显改善,回流区范围和流速变化不大。通过设置 45°压水板能够显著改善直边正向前池的主流效应,提高前池底部水流流速,增强水流平面扩散,在改善前池泥沙淤积问题的同时保证了水泵有利的进水条件,且取 $H=60\text{ cm}$ 、 $L=800\text{ cm}$ 时,对前池水流流态的改善效果最佳,水流挟沙能力最强,淤积最轻。
- c. 泵站前池内设置参数合理的八字形导流墩可有效改善前池流场分布,但该措施实施后达不到预期效果,仅对前池水流起到分配作用,分配后原主流变为三股主流,未能得到相对较好的流态,且不同参数组合的导流墩实施效果差异较大。而 45°压水板对前池流态改善效果显著,泥沙淤积明显减少,但本次研究对压水板参数选择较少,且只模拟了导流墩和压水板的单独工作状态,对于其他形式防淤措施与组合防淤措施的研究还有待进一步深入研究。

参考文献:

[1] 徐存东. 高扬程梯级提水灌溉工程建设监理制的应用研究[D]. 咸阳:西北农林科技大学,2003.

[2] CONSTANTINESCU G S, PATE V C. Role of turbulence model in prediction of pump-bay vortices[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2000, 126(5): 387-391.

[3] 刘新阳,高传昌,石礼文,等. 泵站前池与进水池整流数值模拟[J]. 排灌机械工程学报, 2010, 28(3): 242-246. (LIU Xinyang, GAO Chuanchang, SHI Liwen, et al. Numerical simulation for fluid meliorating in both forebay and suction bay of pumping stations[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2010, 28(3): 242-246. (in Chinese))

[4] 窦国仁. 河口海岸全沙模型相似理论[J]. 水利水运工程学报. 2001, 1(1): 1-11. (DOU Guoren. Similarity theory of total sediment transport modeling for estuarine and coastal regions[J]. Hydro-Science Engineering, 2001, 1(1): 1-11. (in Chinese))

[5] NAKATO T. Application of suction scoops to improve pump-approach flow distributions in three-pump intake bays[C]//Anon. Critical Transitions in Water and Environmental Resources Management. Reston: ASCE, 2014: 1-10.

[6] 周大庆,米紫昊,茅媛婷. 基于欧拉固液两相流模型的泵站进水侧流场三维模拟[J]. 农业机械学报, 2013, 44(1): 48-52. (ZHOU Daqing, MI Zihao, MAO Yuanting. 3-D numerical simulation of inlet structure flow in pumping station based on Eulerian solid-liquid two-phase flow model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2013, 44(1): 48-52. (in Chinese))

[7] 秦毅,李子文,曹如轩,等. 高含沙水流的整体停滞淤积及其影响[J]. 水利学报,2011,42(11):1302-1307. (QIN Yi, LI Ziwen, CAO Ruxuan, et al. Whole stagnating boundary siltation of hyperconcentrated flow and its influences[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2011,42(11):1302-1307. (in Chinese))

[8] 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,2015,31(7):100-108. (in Chinese))

[9] 纪兵兵,陈金瓶. ANSYS ICEM CFD 网格划分技术实例详解[M]. 北京:中国水利水电出版社,2012.

[10] 成立,刘超,周济人,等. 泵站前池底坝整流数值模拟研究[J]. 河海大学学报(自然科学版),2001,29(3):42-45. (CHENG Li, LIU Chao, ZHOU Jiren, et al. Numerical simulation of sill flows in the forebay of pumping station[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences),2001,29(3):42-45. (in Chinese))

[11] 徐存东,杨柯,周琳博,等. 引黄泵站进水池几何形式的数值模拟[J]. 甘肃科学学报,2011,23(2):150-154. (XU Cundong, YANG Ke, ZHOU Linbo, et al. Numerical simulation on geometric form of pump sump in the Yellow River pump station[J]. Journal of Gansu Sciences,2011,23(2):150-154. (in Chinese))

[12] MAROVIC B, KOLAK D. Combination of CFD dimensions: Industry wide first universal-1D-/3D-computational fluid dynamics simulation software[J]. Mechatronik,2012,120(11):34-35.

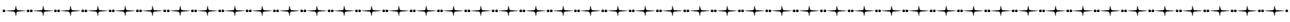
[13] 曾杭. 基于 CFD 数值模拟的泵站前池设计优化[D]. 长沙:湖南大学,2014.

[14] 唐学林,王武昌,王福军,等. 泵站前池水沙流的数值模拟[J]. 排灌机械工程学报,2011,29(5):411-417. (TANG Xuelin, WANG Wuchang, WANG Fujun, et al. Numerical simulation of slit-laden flows in pumping station forebay [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering,2011,29(5):411-417. (in Chinese))

[15] RAFIEE A, CUMMINS S, RUDMAN M. Comparative study on the accuracy and stability of SPH schemes in simulating energetic free-surface flows[J]. European Journal of Mechanics B-Fluids, 2012,36(10):1-16.

[16] 中华人民共和国水利部. 泵站设计规范:GB 50265—2010[S]. 北京:中国计划出版社,2011.

[17] 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, 2015,31(16):71-77. (ZI Dan, WANG Fujun, YAO Zhifeng, et al. 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, 2015, 31(16):71-77. (in Chinese))



· 简讯 ·

第七届中国湖泊论坛将在岳阳市召开

中国湖泊论坛自 2011 年启动以来,先后在江苏南京、湖南长沙、湖北武汉、安徽合肥、吉林长春及江西南昌成功举办过六届,对于提高我国湖泊科学研究水平,推动湖泊研究、保护和开发工作发挥了积极作用。由中国科学技术协会主办、湖南省科学技术协会、岳阳市人民政府承办的第七届中国湖泊论坛将于 2017 年 11 月 23—24 日在湖南省岳阳市召开。本届论坛主题为湖泊生态环境保护修复与绿色发展,专题包括:(a) 湖泊生态系统与生物多样性保护;(b) 山水林田湖系统治理与综合管理;(c) 湖泊流域生态经济与绿色发展转型;(d) 洞庭湖生态经济示范区建设与发展。

会议电子文件请浏览网站:www. meeting. edu. cn

(本刊编辑部供稿)