

# 泥沙影响下泵站进水池优化分析

刘 跃<sup>1</sup>,王瑞芳<sup>1</sup>,黄子政<sup>2</sup>,梁金栋<sup>2</sup>

(1. 宿迁市宿豫区水利局,江苏 宿迁 223801; 2. 扬州大学 水利科学与工程学院,江苏 扬州 225009)

**摘要:**以平山堂取水泵站为例,在分析原始方案进水池流态的基础之上,提出了改善进水池内水流流态紊乱、泥沙淤积的整流措施。采用Fluent流体软件,以两相流理论为基础,选取Realizable k- $\epsilon$ 湍流模型及DPM泥沙流模型,对泵站整流前后进水池内的流态进行了数值模拟。结果表明,采用抬升进水箱涵底板高度和压水板组合优化方式后,相关区域内水流流态明显好转,且泥沙淤积现象得到了缓解,平均含泥量下降75%,进水池内泥沙淤积基本消除。研究结果可为类似工程进水池流态改善提供参考价值。

**关键词:**进水池; 淤积; 夹沙水流; 数值模拟

中图分类号:TV675

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2023)08-0006-0006

## Analysis on the optimization of suction sump of Pumping Station under the influence of sediment

LIU Yue<sup>1</sup>, WANG Ruifang<sup>1</sup>, HUANG Zizheng<sup>2</sup>, LIANG Jindong<sup>2</sup>

(1. Suyu District Water Conservancy Bureau, Suqian 223801, China;

2. College of Hydraulic Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

**Abstract:** Taking Pingshantang Pumping Station as an example, measures for fluid meliorating and sediment deposition controlling were put forward based on the analysis of the original flow regime in the pump sump. The numerical simulation of the pumping station before and after rectification is carried out with the application of FLUENT software. The results are based on the two-phase flow theory, and the standard k- $\epsilon$  turbulence model along with DPM sediment flow model were used during the simulating process. The result shows that the flow regime in relevant areas has been improved significantly after taking the combined optimization method of lifting the bottom plate height as well as adopting a water pressure board. The problem of sediment deposition has been alleviated, and the average sediment content decreases by 75%. The sediment accumulation almost disappears in pump sump. The research results could provide certain reference value for the improvement of the flow regime of similar pump sumps.

**Key words:** suction sump; sediment accumulation; sediment-laden flow; numerical simulation

进水池作用是改善水流流态,为水泵进口提供良好的水流条件。进水池内流态的好坏直接影响水泵的进水流态,进而影响泵装置的效率。我国属

多泥沙河流国家,夹沙水流的存在进一步加大了进水池内水流整流的难度:一方面,泥沙容易在进水池漩涡处、大尺度回旋区淤积,从而减少过水断面

收稿日期:2023-01-28

作者简介:刘跃(1996—),男,硕士,主要研究方向为水利水电工程。E-mail:516019550@qq.com

面积,恶化水流流态;另一方面,夹沙水流进入泵装置,泥沙颗粒冲击叶轮、泵轴,极易造成相关构件的磨损,引发机组震动,无形提高泵站运行维护成本,最终影响整个泵站的安全稳定运行<sup>[1]</sup>。因此,针对部分泵站进站水流含沙的问题,科学合理地研究其进水池内流态,提出切实可行的整流、减淤措施方案具有重要的理论意义和实用价值。

本文以平山堂泵站工程为例,采用数值模拟方式,分析其流场流态,并提出相应的整流减淤措施,力求寻找到适用的解决方案。

## 1 数值模拟模型

平山堂取水泵站位于扬州市扬子江路与农科院之间,泵站设计流量  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ,站身处进水侧设计水位  $4.062 \text{ m}$ ,进水池水深  $3.462 \text{ m}$ 。该工程配有4台900ZLB-85型轴流泵,单机流量为  $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 。利用该站的有关参数,利用Fluent流体计算软件,进行含泥沙水流泵站进水池优化的研究。

### 1.1 计算水流控制方程

该工程进水池内水流控制方程应包含连续性方程和动量守恒方程<sup>[2]</sup>,且因进水池水流含沙,流动形式属于不同成分混合,水流、泥沙之间有相互作用,故还需要补充组分守恒方程<sup>[3]</sup>。

### 1.2 模型及算法

平山堂泵站低含沙工况含沙量为  $440 \text{ g}/\text{m}^3$ ,高含沙工况含沙量为  $650 \text{ g}/\text{m}^3$ ,属含泥量小于10%的颗粒流,泥沙流模型选择离散相模型或者分散颗粒群轨迹模型(Discrete Phase Model, DPM)<sup>[4-5]</sup>。

利用Fluent软件在计算DPM模型时,先计算分析相应的连续相流场,在此基础上,再引入离散相粒子(泥沙)进行模拟。故本文需按序先分析其进水池的无泥沙清水工况,后分析含泥工况。

采用Fluent流体计算软件分析,选取Realizable k- $\epsilon$ 湍流模型。压力速度耦合条件选择SIMPLEC算法,速度、湍流动能等方程均选择一阶迎风格式、标准压力模型<sup>[6]</sup>。

### 1.3 边界条件

#### 1.3.1 清水状态

进口边界:根据工程实际,取进水管井口为进口边界,选用质量流进口控制,质量流率取  $10\,000 \text{ kg}/\text{s}$ ,湍流强度。出口边界:平山堂泵站共有4台水泵机组,故设置4个自由流出出口。壁面边界:除自由水面和进、出口水面外,其余与水接触的壁面均可以视为固体壁面,采用标准壁面模型,无滑移,粗糙度

系数取  $0.5^{[7]}$ 。

#### 1.3.2 含泥沙状态

补充注入粒子假定:采用rosin-rammler控制<sup>[8]</sup>,粒子沿进口边界断面法线方向注入,DPM粒子注入浓度取为  $6.5 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

### 1.4 几何建模及网格划分

采用UG NX10.0软件建立平山堂泵站进水构件三维模型,利用ANSYS Mesh软件划分网格。划分时,在结构复杂处进行加密处理,并选择进、出口断面间水流水力损失作为网格无关性要求的控制参数。经计算得出网格数大于300万时,进、出水断面间水力损失趋于稳定。本文实际控制网格数为300万。计算网格划分见图1。

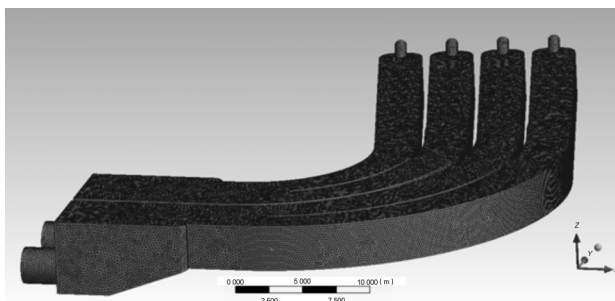


图1 计算网格划分

## 2 计算结果及分析

### 2.1 清水工况

清水工况下分析无整流措施设计水位工况。取进水顶管工作井底板为XOY平面,分析共选取5个断面(图2):面层特征断面( $Z=3.40 \text{ m}$ )、中层特征断面( $Z=2.0 \text{ m}$ )、喇叭口进水层特征断面( $Z=0.9 \text{ m}$ ),同时针对进水管井内流态复杂的问题,考虑纵向补充两个特征断面,进水顶管井左右纵剖面( $Y=2.3 \text{ m}$ ,  $Y=4.6 \text{ m}$ )。

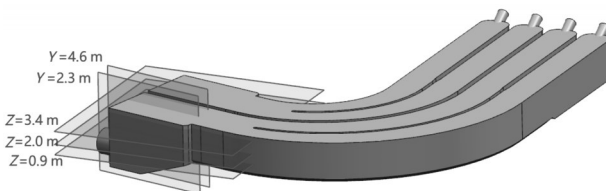


图2 特征断面

#### 2.1.1 水平剖面流态及分析

图3为清水设计工况下,各特征水平断面的流场流线图、速度云图。

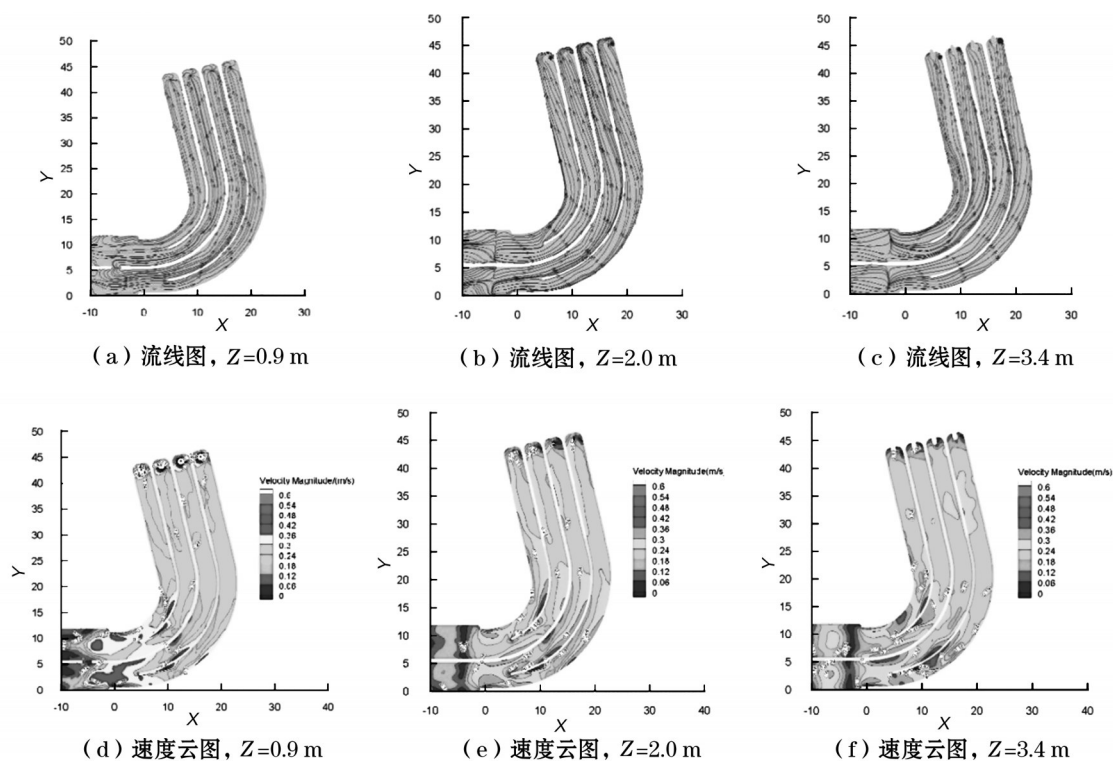


图3 清水工况流场流线与速度云图

由图3可见,进水顶管工作井内水流流态复杂,底层和中层存在大面的低速回流区。经过弧形进水箱涵的调整,水流趋于平稳,紊流基本消失,但在进水池后壁侧形成面层、中层漩涡。水泵进水条件较好。

### 2.1.2 纵剖面流态及分析

纵剖面流线图见图4,由图4可知:水流在进入进水顶管工作井后,流态发生恶化。主流沿中心线偏上方向进入进水箱涵,存在部分水流脱流的现象。水流在到达斜向壁面后,向上回旋返回,在壁面上部形成大尺度的立面回旋。

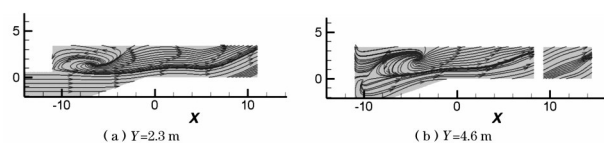


图4 清水工况纵剖面流线图

综合分析水平、纵剖面流线图及速度云图可知,进水顶管井内水流流速较低,且存在大尺度回流区;进水箱涵前缺少合适的过度连接段,导致该处底层流速激增,流态恶化;圆弧型的进水箱涵结构形式使水流运动受到离心力作用,主流被甩在凸侧。这些都导致了平山堂泵站泥沙在问题区域淤积,因此,必须采取措施合理整流。

## 2.2 含泥沙工况

根据现场资料,结合工程实际,平山堂泵站机组长时间在高含沙工况下运行(含沙量为 $650 \text{ g/m}^3$ )。该工况下,泥沙颗粒平均粒径较大,更易造成机组的磨损,对减淤清淤提出了更高的要求,本研究着重研究该工况下的整流减淤措施。

### 2.2.1 原始方案计算结果及分析

泥沙颗粒在水体中的运动、分布、沉积等等与时间相关,因此选用Fluent瞬态求解。启用Fluent离散相模型,颗粒粒径按正态分布。选取 $Z=0.1 \text{ m}$ 、 $Z=0.2 \text{ m}$ 、 $Z=0.3 \text{ m}$  3个水平特征断面分析该工况下的泥沙分布及颗粒浓度情况。从 $t=0 \text{ s}$ 开始,模拟至 $t=3600 \text{ s}$ ,其中以一周 $T=1200 \text{ s}$ 观察泥沙演变过程。经计算后粒子分布示意图见图5。

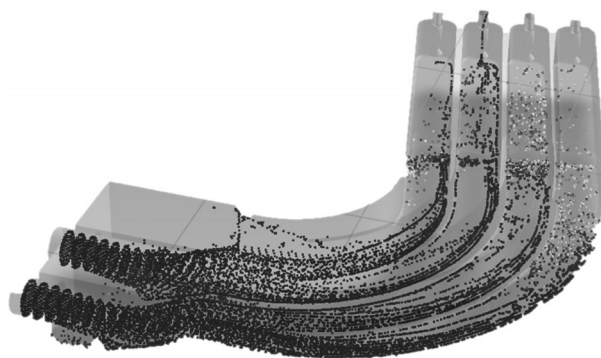
图5 泥沙粒子分布示意( $t=3600 \text{ s}$ )



图6为进水区域泥沙浓度云图。综合分布图及浓度云图可知,未采用整流措施前,泥沙按清水工况下的分析发展,主要集中在弧形进水箱涵外侧、进水池检修门槽、进水池末端等复杂结构处。当历时经过1 200 s后,最外侧1号弧形箱涵淤积最严重,其直线段底部基本已经被泥沙颗粒覆盖,严重恶化水流进入进水池的条件。同时进水池结构范围内,也出现了大范围淤积现象。这导致水流进入进水池后,黏度大大增加,流速大幅削减,流态进一步恶化。当历时超过2 400 s后,泥沙在问题区间的淤积趋势有所放缓:堆积厚度、颗粒浓度、增加面积等相关指标均有所下降。但1至4号弧形箱涵末端均出现了严重淤积,大大降低了进水箱涵平稳水流的作用。进水池内淤积进一步恶化,超过半数区域泥沙颗粒浓度已经超过 $240\text{ kg/m}^3$ ,小部分区域甚至超过

了 $960\text{ kg/m}^3$ 。对整流减淤措施提出了较高的要求。

## 2.2.2 优化方案的确立

针对主流在箱涵内偏向凸侧的问题,拟采用抬高该段外侧底板的方式抵消部分离心力,减缓泥沙淤积的现象,同时针对进水池检修门槽底部淤积严重的问题拟采用压水板构造<sup>[9-10]</sup>。

论文研究发现,箱涵段底板抬升角度较小时,抬升角度与淤积程度负相关;而当抬升角度超过 $10^\circ$ 后,抬升角度开始与淤积程度正相关,抬升角度越大,越容易造成该段泥沙淤积;同时,基于徐存东等<sup>[11]</sup>研究发现,压水板位于进水池前特定位置整流效果更明显。综合考虑,采取将箱涵段外侧底板抬升 $7.5^\circ$ ,同时在进水池前3 m处加设 $45^\circ$ <sup>[12]</sup>压水板(下缘入水深度1.6 m)组合优化。优化措施布置示意图见图7。

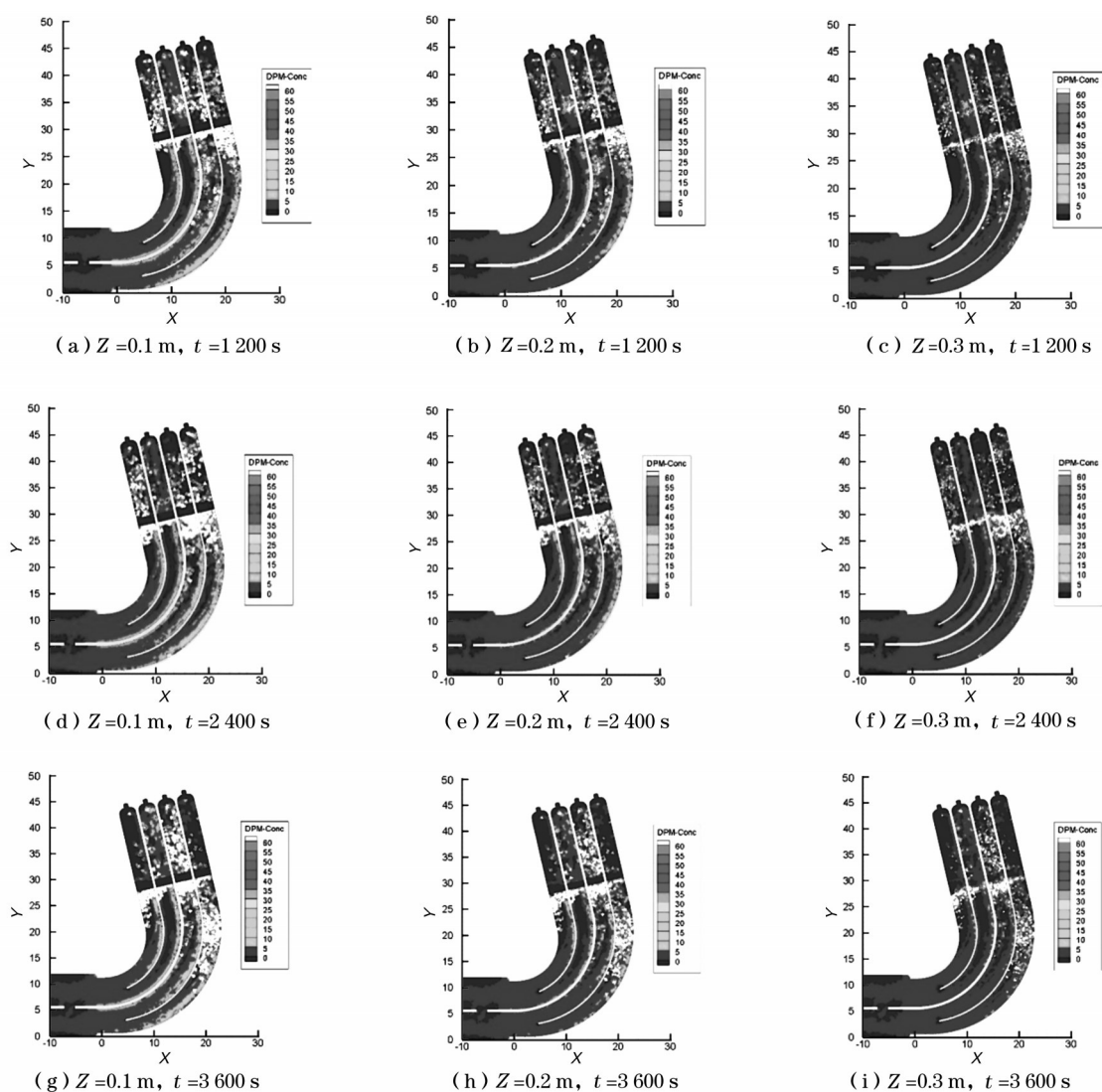


图6 泥沙浓度云图

### 2.2.3 优化方案计算结果及分析

图8为采用综合整流措施后泥沙分布云图。分析图8可知,布置综合整流措施后减淤效果显著。采用抬高外侧底板结构布置形式后,一方面大大抵消了过箱涵水流的离心力,减少泥沙淤积的可能;另一方面,一定程度上削减了过涵水流的过水断面面积,提升了整体流速,从而有效

缓解箱涵段内淤积现象。可见,抬高箱涵段底板高度后,为水流平顺地进入进水池创造了条件。同时采用压水板结构后,增大了进水池检修门槽底层水流流速,该处淤积现象得到了明显的控制。在历时3 600 s后,绝大部分区域颗粒浓度低于 $60 \text{ kg/m}^3$ ,不足减淤前各进水段平均泥沙浓度的 $1/4$ 。

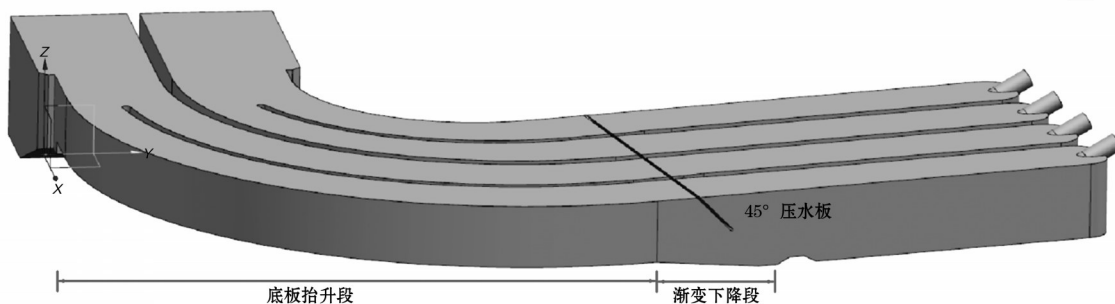


图7 组合优化措施

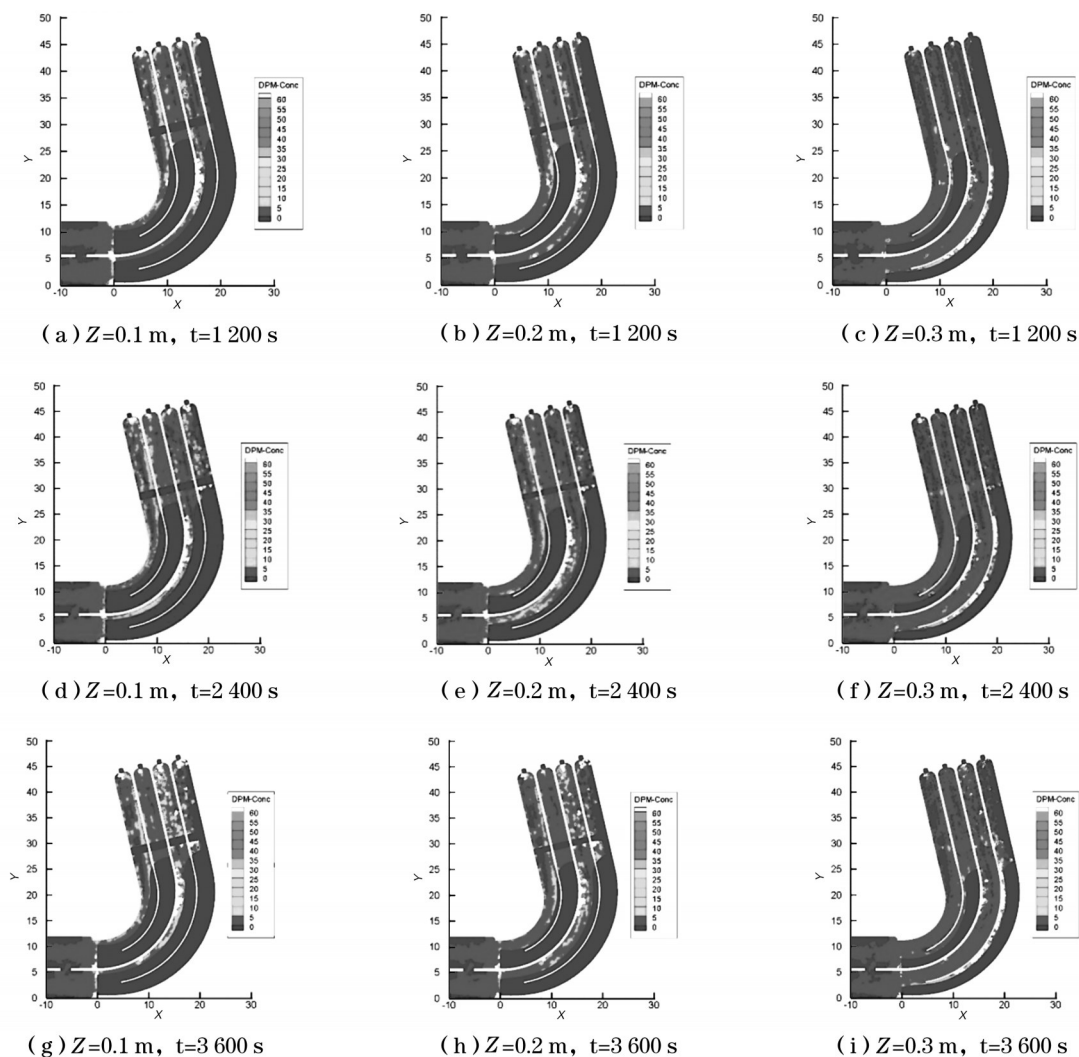


图8 优化后泥沙分布云图

为了更加直观地反映采用综合整流后的减淤效果,分别距箱涵末端0.5 m和水泵进口前1 m两处取两垂直水流方向的特征断面,并使用tecplot软件后期处理分析得到这两处特征断面的泥沙浓度,如图9所示。

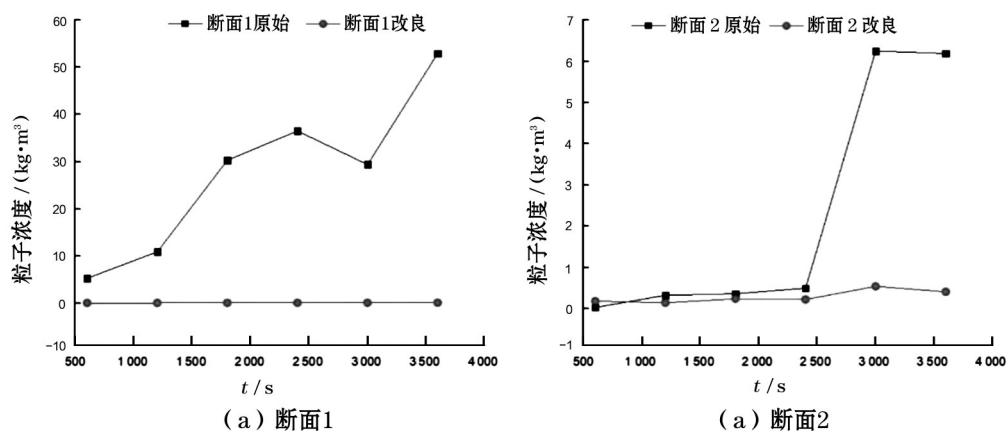


图9 断面平均泥沙浓度对比

### 3 结 语

通过数值模拟的方式,针对平山堂泵站进水箱涵及进水池泥沙淤积的问题,提出了较为合理的整流减淤措施,经过分析论证后,得出以下结论:

(1)采用适当抬升底板高度的形式(抬升角度不宜超过 $10^\circ$ ),可以有效缓解泥沙在弧形区域的淤积;

(2)采用压水板结构,可以针对性地提升关键区域的底层流速,减轻问题部位的泥沙淤积现象。

研究结果将为今后含沙河流泵站的治理优化提供一定的参考价值。

#### 参考文献:

- [1] 徐存东,李嘉明,王荣荣,等. 开机组对泵站前池水沙流场特性的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2022,50(2):11-16.
- [2] 梁金栋,陆林广,刘荣华,等. 中隔墩对大型泵站出水管道水力性能的影响[J]. 排灌机械工程学报,2011,29(1):77-81.
- [3] 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.
- [4] 黄思,邹文朗,周锦驹,等. 基于DPM模型的离心泵非

图9所示。由图9可知,在采用综合整流措施后,整个计算区间内,泥沙颗粒浓度随时间变化平稳,并始终维持在较低水平,泵前泥沙浓度不足改进前的1/10,减淤效果较为明显。

- 定常固液两相流及磨损计算[J]. 中国农村水利水电, 2016(7):103-106.
- [5] Magesh Thiruvengadam, Yi Zheng, Hai Lan, et al. A diesel particulate matter dispersion study inside a single dead end entry using dynamic mesh model[J]. Int. J. of Mining and Mineral Engineering, 2016, 7(3).
- [6] 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.
- [7] 李效旭,郑源,茅媛婷,等. 大型泵站侧向进水前池模拟及水力优化[J]. 水电能源科学, 2011, 29(7):132-135, 145.
- [8] Rondang Tambun, Katsuhiko Furukawa, Masayuki Hirayama, et al. Measurement and estimation of the particle sizedistribution by the Buoyancy Weighing- Bar Method and the Rosin-Rammler Equation[J]. Journal of chemical engineering of Japan, 2018, 49(2):
- [9] 徐存东,刘璐瑶,王国霞,等. 泵站直边正向前池流态模拟与泥沙淤积预防措施[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2017, 45(5):398-405.
- [10] 张世发. 基于ANSYS-FLUENT模拟计算下泵站池流场特性分析研究[J]. 广东水利水电, 2020(7):78-82, 86.
- [11] 徐存东,王国霞,刘辉,等. 大型泵站正向前池防淤优化模拟研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2018, 51(7):577-588.
- [12] 洪磊,周春天,王晓升,等. 城市排水泵站前池压水板的整流效果[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(5):357-360.