

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2026.20242066

不同导叶高度旋流器下游周向流速分析

张 林, 李永业, 陶思远, 卫 松, 刘盈含

(太原理工大学水利科学与工程学院, 山西 太原 030024)

摘要: 为探究导叶片式旋流器中导叶高度对旋流器下游螺旋流的影响,综合运用数值模拟与物理试验相结合的方法,设计了导叶高度梯度变化的五组旋流器模型,重点分析了周向流速分布特征、平均周向流速沿程变化规律以及螺旋流衰减特性。研究结果表明,旋流器下游周向流速呈逆时针旋转分布。随着导叶高度增加,周向流速及动量矩分布区域显著增大,螺旋流强度提升。平均周向流速沿程呈指数衰减,但导叶高度对周向流速衰减速率影响较小。不同导叶高度旋流器在下游同一断面处的平均周向流速,随导叶高度的增大而增大,且增长幅度随导叶高度的增大而减小,当导叶高度大于 35 mm 时,导叶高度增加对断面平均周向流速增长变得不明显,进而认为导叶高度为 35 mm 时,旋流器的起旋效果最佳。研究结果为进一步优化导叶片式旋流器的结构提供了一定的理论依据。

关键词: 螺旋流; 旋流器; 周向流速; 导叶高度

中图分类号: TV134.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2026)01-0073-05

Analysis of Circumferential Velocity Downstream of Swirl Generators with Different Guide Vane Heights

ZHANG Lin, LI Yong-ye, TAO Si-yuan, WEI Song, LIU Ying-han

(College of Hydro Science and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: To investigate the influence of guide vane height on downstream helical flow in a guide-vane swirl generator, numerical simulations and physical experiments were combined. Five swirl generator models with varying guide vane heights were designed to systematically analyze circumferential velocity distribution, streamwise evolution of mean circumferential velocity, and helical flow attenuation characteristics. Results indicate that the downstream circumferential velocity follows a counterclockwise rotational distribution. With increasing guide vane height, the distribution regions of circumferential velocity and angular momentum were observed to expand significantly, resulting in enhanced helical flow intensity. The mean circumferential velocity was found to decay exponentially along the streamwise direction, though its attenuation rate showed minimal dependence on guide vane height. At a fixed downstream cross-section, the mean circumferential velocity increased with guide vane height, but this growth rate decreased progressively. When the height exceeded 35 mm, further increases had negligible effects on velocity enhancement, suggesting optimal swirl generation at 35 mm. These findings provide a theoretical foundation for the structural optimization of guide-vane swirl generators.

Key words: spiral flow; cyclone; circumferential flow velocity; guide vane height

1 引言

我国许多水库面临严重泥沙淤积问题^[1],导致有效库容减少并影响经济效益。为解决这一问题,圆管旋流输送作为一种高效排沙设备,因其能

实现高浓度、低流速的固粒输送而被广泛应用^[2]。目前,为进一步提升输送效率,相关研究正聚焦于螺旋流及其产生装置的优化。1930 年代,PARSHALL R L^[3]提出在渠道底部设置排沙涡管以产生螺旋流,提高排沙效率;王树立等^[4]总结了螺旋流流速分布等方面的研究现状,认为研究

收稿日期: 2024-11-04, **修回日期:** 2025-03-28, **接受日期:** 2025-04-10

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(51179116);山西省自然科学基金项目(202303021211141)

作者简介: 张林(1999-),男,硕士研究生,研究方向为水力学及河流动力学, E-mail: zhanglin6662024@163.com

通讯作者: 李永业(1976-),男,博士、副教授,研究方向为流体力学及流体机械, E-mail: liyongye@tyut.edu.cn

流速分布是了解螺旋流的重要手段。在螺旋流衰减研究方面,饶永超等^[5]通过数值模拟发现,雷诺数越大,螺旋流强度越高且衰减越慢。在螺旋流产生装置研究中,李永业等^[6]发现导叶后缘附近的螺旋流衰减速率随包角增大而加快,并系统研究了三向流速的分布特性。导叶参数是影响旋流器输沙效率的关键因素,其中导叶高度直接决定了周向流速的分布特性。为此,本文重点研究导叶高度对下游断面周向流速分布规律及衰减特性的影响,旨在为优化螺旋流输送提供理论支撑。

2 研究方案及模型构建

2.1 旋流器参数选择

采用导叶片式旋流器,重点考察导叶高度(H)对下游周向流速的影响。试验设置 5 组不同 H 值(20~40 mm,梯度 5 mm),保持其他参数一致:3 片导叶,厚度 5 mm,总长 400 mm(直段 100 mm+曲段 300 mm),包角 15°(曲段每 20 mm 旋转 1°),安放角 45.5°。旋流器总长度为 500 mm,具体结构参数见图 1。该试验设计通过单一变量控制,确保导叶高度影响分析的有效性。

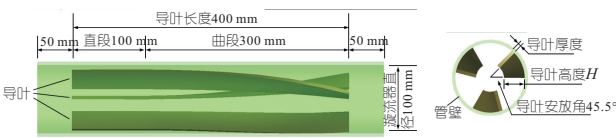


图 1 导叶片式旋流器结构布置图

Fig. 1 Structural arrangement of the guide-vane swirl generator

2.2 几何模型构建

采用 CAD 软件建立了包含旋流器本体(管壁+导叶)及上下游管道的数值模型,其中上游稳定段 1 m,下游观测段 7 m(图 2)。



图 2 几何模型整体布置图

Fig. 2 Overall layout of the geometric model

2.3 特征断面设置

为避开出口干扰,准确分析旋流器下游流场特性,选取距入口 1 500~7 500 mm 区段设置 10 个观测断面,具体位置见图 3、表 1。

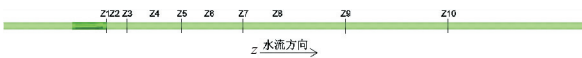


图 3 特征断面布置图

Fig. 3 Layout of characteristic cross-sections

2.4 计算域网格划分

为确保计算精度与效率的平衡,进行网格无关性验证。选用 30 mm 导叶高度旋流器对比了

表 1 各个断面距离模型入口的距离

Tab. 1 Distance from each cross-section to the model inlet

编号	距离模型 入口距离/mm	编号	距离模型 入口距离/mm
Z1	1 500	Z6	3 000
Z2	1 600	Z7	3 500
Z3	1 800	Z8	4 000
Z4	2 200	Z9	5 000
Z5	2 600	Z10	6 500

4 种全局最大网格尺寸的模型。通过分析网格数量及断面平均周向流速(表 2)和相对误差(表 3),确定最优网格尺寸。

表 2 不同网格尺寸下网格的数量及平均周向流速的对比

Tab. 2 Comparison of mesh quantities and average circumferential velocities under different grid sizes

网格尺寸/mm	网格数/个	不同断面平均周向流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)			
		Z1 断面	Z2 断面	Z3 断面	Z4 断面
2	2 414 116	0.165 13	0.155 08	0.140 11	0.132 87
3	11 154 136	0.164 59	0.154 80	0.139 63	0.132 44
4	4 023 657	0.164 83	0.155 04	0.139 96	0.132 65
5	2 548 853	0.164 28	0.153 77	0.137 80	0.130 07

表 3 不同网格尺寸下平均周向流速的相对误差

Tab. 3 Relative errors of average circumferential velocity under different grid sizes

断面位置	2 mm 网格与 3 mm 网格 相对误差/%	3 mm 网格与 4 mm 网格相对 误差/%	4 mm 网格与 5 mm 网格 相对误差/%
Z1	0.327	0.146	0.334
Z2	0.181	0.155	0.819
Z3	0.343	0.636	1.543
Z4	0.173	0.456	1.945

由表 3 可知,当全局最大网格尺寸 ≤ 3 mm 时,旋流器下游断面的平均周向流速计算结果的偏差很小,小于 0.5%,网格的大小几乎不影响计算结果。由此可见,最大尺寸为 3 mm 的网格便已能够得到较为精确的模拟计算结果,故本次模拟将全局最大网格尺寸设置为 3 mm。

采用混合网格划分策略,旋流器内部采用非结构化网格,上下游直管采用结构化网格,尺寸为 3 mm。图 4 为网格划分的示意图。生成网格后,经检验发现网格的质量良好。

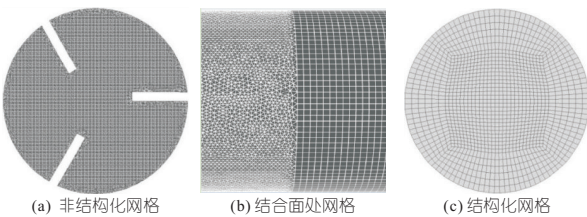


图 4 网格划分图

Fig. 4 Schematic diagram of mesh generation

2.5 计算模型及边界条件

采用 Fluent 软件进行数值模拟,选用 RNG

κ - ϵ 湍流模型^[7]。该模型通过引入涡流修正项,在保证计算效率的同时,能够准确模拟旋流等中等复杂流动。模型控制方程如下。

连续性方程为:

$$\partial \rho / \partial t + \nabla \cdot (\rho U) = 0 \quad (1)$$

动量方程为:

$$\frac{\partial \rho U}{\partial t} + \nabla (\rho U U) - \nabla \cdot (\mu_{\text{eff}} \nabla U) = -\nabla p' + \nabla (\mu_{\text{eff}} \nabla U) T + B \quad (2)$$

湍流脉动动能方程为:

$$\frac{\partial (\rho \kappa)}{\partial t} + \nabla (\rho U \kappa) = \nabla [(\mu + \mu_t / \sigma_\kappa) \nabla \kappa] + P_\kappa - \rho \epsilon \quad (3)$$

湍流耗散率方程为:

$$\frac{\partial (\rho \epsilon)}{\partial t} + \nabla (\rho U \epsilon) = \nabla \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \nabla \epsilon \right] + (C_{\epsilon 1} P_\kappa - C_{\epsilon 2} \rho \epsilon) \epsilon / \kappa \quad (4)$$

其中, 涡黏系数 μ_t 为:

$$\mu_t = \rho C_\mu \kappa^2 / \epsilon$$

$C_{\epsilon 1}, C_{\epsilon 2}, C_\mu, \sigma_\kappa, \sigma_\epsilon$ 均为模型常数, 且 $C_{\epsilon 1} = 1.42 - \frac{\eta(1 - \eta/\eta_0)}{1 + \beta\eta^3}$; $C_{\epsilon 2} = 1.68$; $C_\mu = 0.0845$; $\sigma_\kappa = 0.7179$; $\sigma_\epsilon = 0.7179$; $\eta_0 = 4.377$; $\beta = 0.012$ 。其中, $\eta = \frac{S\kappa}{\epsilon}$, $S = (2D_{ij}D_{ij})^{1/2}$ 。

对边界条件进行设置, 主要设置入口边界的速度与出口边界的压力。入口边界处的速度由试验设计的流量来计算, 试验中设计的流量为 $40 \text{ m}^3/\text{h}$, 即入口速度为 1.415 m/s 。出口边界为自由出流, 压力可选择大气压强 $101\,000 \text{ Pa}$ 作为出口压力。

3 模拟结果试验验证

为验证数值模拟的可靠性, 搭建了 PIV 试验系统, 见图 5。该系统采用闭合循环管路, 通过离心泵供水, 阀门和电磁流量计精确控制 $40 \text{ m}^3/\text{h}$ 的试验流量。PIV 测速系统由激光发射器、高速摄像机和同步控制器组成, 测试段配备矩形水槽以减小激光折射误差, 可精确获取断面流速矢量场, 用于与数值模拟结果对比验证。

取 20、30、40 mm 三种导叶高度的旋流器, 在 $40 \text{ m}^3/\text{h}$ 流量工况下进行试验验证。通过对比 $Z=1\,600 \text{ mm}$ 断面水平直径上的周向流速分布, 发现模拟值与 PIV 实测值吻合良好: 最大绝对误差 0.05 m/s , 平均绝对误差 0.022 m/s 。结果表明数值模拟方法具有可靠性, 可用于后续研究。

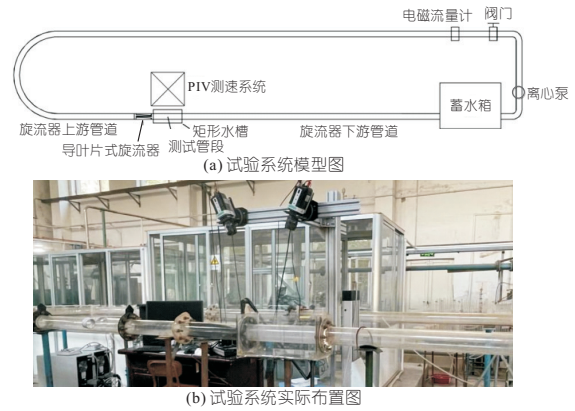


图 5 试验系统的布置

Fig. 5 Layout of the experimental system

4 模拟结果与分析

4.1 旋流器下游周向流速云图分析

为探究导叶高度对下游周向流速分布的影响, 对不同旋流器下游的周向流速场进行云图对比分析, 见图 6。由图 6 可知: ①旋流器导叶高度显著影响螺旋流特性。所有测试导叶高度均能产生有效螺旋流, 其中管壁附近形成三个特征性高速区。当导叶高度增至 30 mm 时, 高速区面积显著扩大, 螺旋流强度达到最优, 此时导叶对水流的导流作用明显, 生成的螺旋流强度相对其他导叶高度要更高。②管道中心区域存在三个弱顺时针旋转区(负周向流速), 其强度显著低于外围逆时针主流。这是由于导叶迎背水面压差导致的水流二次流动所致。随着导叶高度增加, 这些反向流动区域逐渐向轴心收缩, 当导叶高度达到 40 mm 时, 三个区域合并为一个且流速进一步减弱。③下游流场演变分析表明, 周向流速整体保持逆时针旋转, 其分布形态沿程由初始扇形逐渐发展为长条状并最终趋于环状, 反映出导叶约束作用随距离逐渐减弱。同时, 中心区反向流速随下游距离增加持续衰减, 至 $Z=3\,000 \text{ mm}$ 断面时完全消失。④在远下游区域, 周向流速均为正, 其分布趋向于环状分布, 靠近管壁区域水流的周向流速较大, 靠近管道轴心区域水流的周向流速较小, 水流呈现一种以断面中心为圆心, 以相同角速度运动的旋转运动。

4.2 旋流器下游周向动量矩沿直径变化

为表征流体旋转强度, 推导得出单位时间内通过断面的动量矩 L 计算公式 $L = \int_A \rho v_t v_z r dA$, 其中, A 为断面面积; ρ 为流体密度; v_t 为周向流速; v_z 为轴向流速; r 为质点到圆心的距离。图 7 为不同导叶高度旋流器下游断面周向动量矩沿直

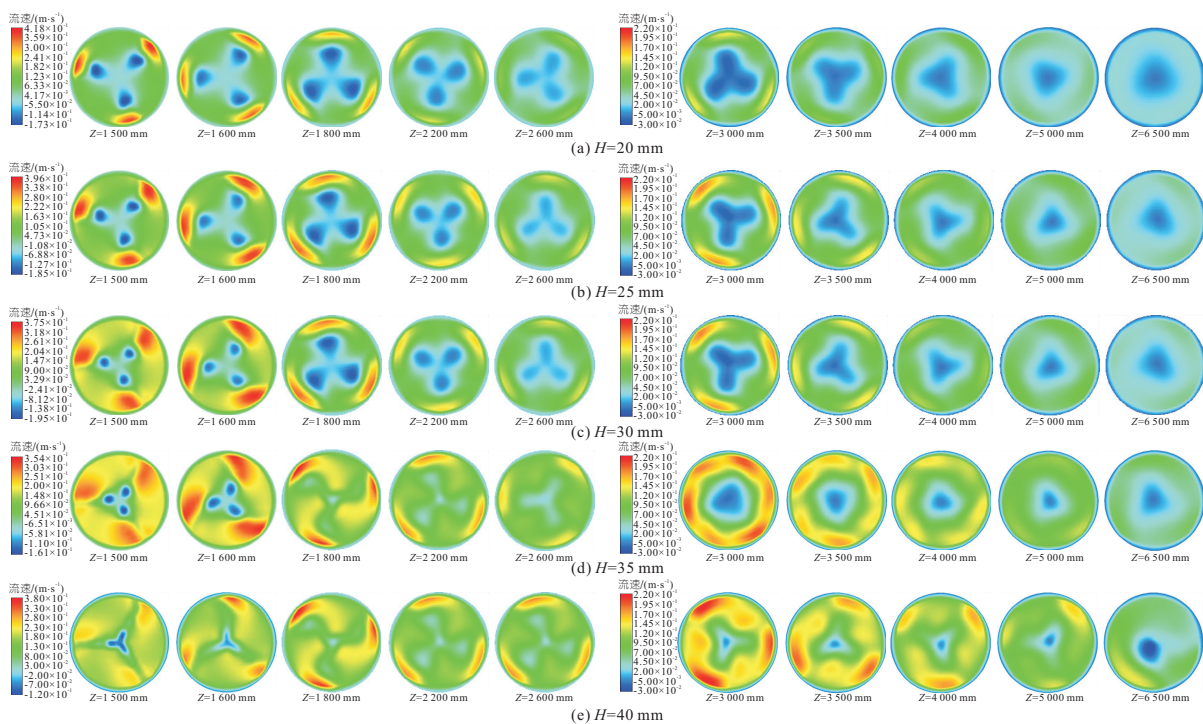


图 6 不同导叶高度旋流器下游周向流速分布的云图对比

Fig. 6 Contours of circumferential velocity downstream of swirl generators with different guide vane heights

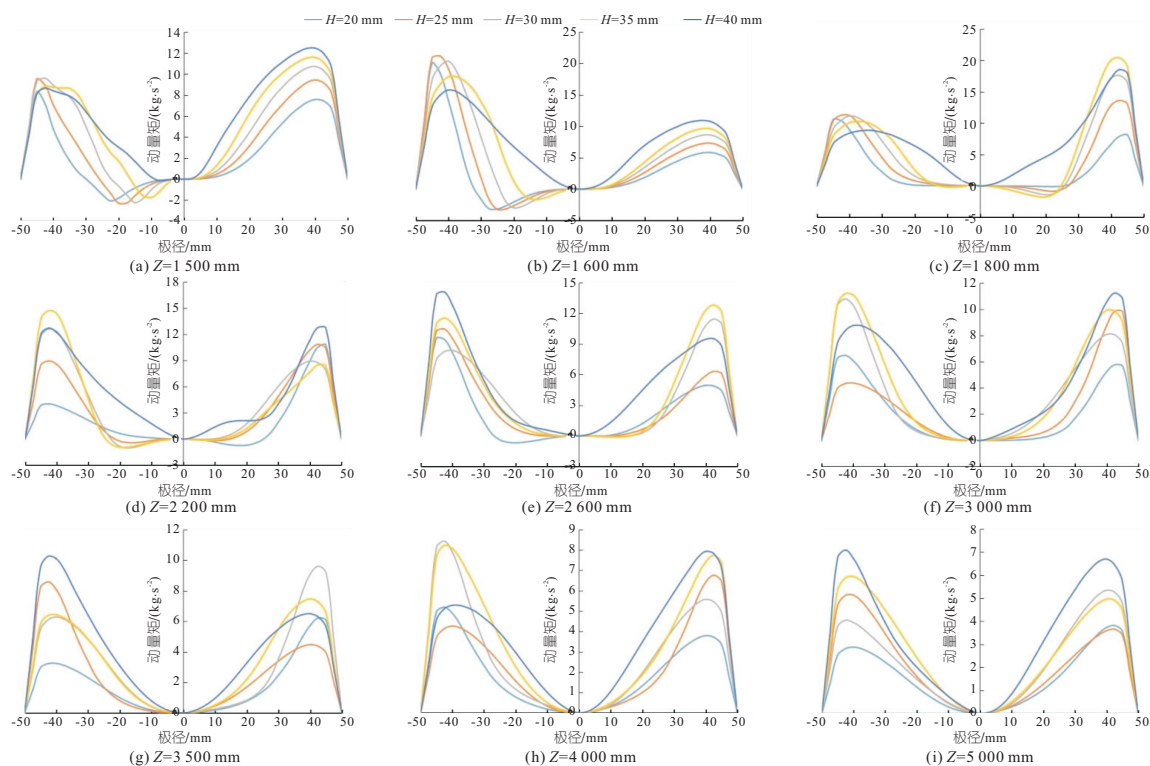


图 7 不同导叶高度旋流器下游断面周向动量矩沿直径分布曲线

Fig. 7 Distribution of circumferential angular momentum along the diameter at downstream cross-sections of swirl generators with different guide vane heights

径的分布曲线。由图 7 可知:①旋流器下游断面周向动量矩呈环形分布特征。在管壁和轴线附近区域较小,在半径约 40 mm 处达到峰值。这种分布规律源于螺旋流的旋转特性——轴线附近线速度最小,随半径增加而增大,但在近壁区($r > 40$

mm)因壁面摩擦而急剧减小。值得注意的是,近旋流器断面轴线附近存在小范围负动量矩区,这是由内部绕流运动所致。②导叶高度与周向动量矩分布呈正相关关系。导叶高度增加时,下游断面高动量矩区域显著扩大,表明螺旋流强度随之

增强。这一特性直接提升了旋流器的排沙效率,证实增大导叶高度可有效改善排沙效果。③对比不同断面周向动量矩沿直径的分布,螺旋流强度在近旋流器区域($Z=1\ 500\sim 1\ 600\text{ mm}$)呈现短暂无增强特征,所有导叶高度工况下 $Z=1\ 600\text{ mm}$ 断面的动量矩均高于上游 $Z=1\ 500\text{ mm}$ 断面。随后自 $Z=1\ 800\text{ mm}$ 断面起,动量矩开始沿程衰减。随着流动发展,动量矩分布逐渐形成以圆心为对称轴的环状特征,反映出流场结构趋于稳定。

4.3 旋流器下游周向流速沿程变化

为研究导叶高度对周向流速衰减的影响,对不同导叶高度旋流器下游的平均周向流速沿程变化进行分析,并通过计算下游断面与出口断面平均周向流速比,分析其沿程变化规律。图 8 为不同导叶高度旋流器下游周向流速沿程变化曲线。由图 8 可知:①旋流器下游平均周向流速呈现两阶段衰减特征,在近场区域(距出口 500 mm 内),流速快速衰减至初始值的 80%,主要源于二次涡流的耗散;在远场区域(500 mm 后),流速衰减速率显著减缓,仅受流体黏性阻力主导。所以在距离旋流器出口断面约为 500 mm 附近,出现一个拐点。②远场区(拐点下游)周向流速呈现指数型衰减特征,其衰减速率随流动发展持续减小。这是由于切向阻力与流速平方成正比,近端高流速区阻力作用显著,衰减较快;远端低流速区阻力减弱,衰减趋缓。③对比不同导叶高度旋流器下游平均周向流速沿程变化,各断面平均周向流速随导叶高度增加而提升,但增幅呈递减趋势;当导叶高度增大时,产生的二次涡流持续距离更长,使拐点位置向下游推移。④各导叶高度工况下,下游断面与出口断面的平均周向流速比基本一致,表明导叶高度对周向流速的衰减速率影响不显著。

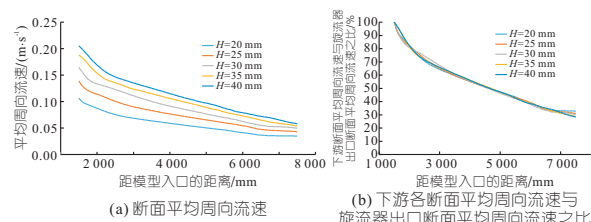


图 8 不同导叶高度旋流器下游周向流速沿程变化曲线

Fig. 8 Streamwise evolution of circumferential velocity for swirl generators with different guide vane heights

为进一步探究导叶高度对周向流速的影响规律,选取下游部分断面作出平均周向流速随导叶高度变化的折线图,见图 9。由图 9 可知,导叶高度对下游同一断面处的平均周向流速的影响呈现非线性特征,当高度小于 35 mm 时,断面平均周向流速随高度增加显著提升;而大于 35 mm 后增

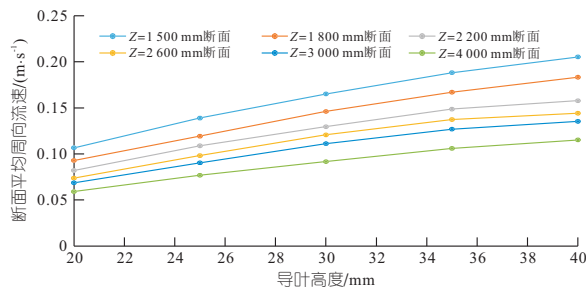


图 9 旋流器下游断面平均周向流速随导叶高度的变化

Fig. 9 The dependence of downstream mean circumferential velocity on guide vane height in swirl generators

速明显放缓,已不足 10%。这源于导叶的径向偏转特性——越靠近管壁偏转作用越强,靠近轴线处效果递减。因此,35 mm 导叶高度在流动控制效果与材料成本间达到最优平衡。

5 结论

a. 研究发现旋流器下游形成稳定的逆时针旋转流场,周向流速及动量矩在距轴线 40 mm 处达到峰值。随着导叶高度增加,该核心区域的动量矩分布范围扩大,显著提升了螺旋流强度和排沙效率,证实导叶高度对旋流结构具有关键调控作用。

b. 旋流器下游周向流速呈现典型的指数型衰减规律,在近出口区($<500\text{ mm}$)衰减速率较快,随后逐渐减缓。增大导叶高度虽能提高初始周向流速,但对流速衰减过程影响较小,表明其仅增强初始旋流强度,而难以改变流动耗散特性。

c. 导叶高度与周向流速呈非线性增长关系,当高度小于 35 mm 时,流速随高度增加显著提升;超过 35 mm 后增速明显减缓,呈现边际效益递减特征。据此确定 35 mm 为最佳导叶高度,此时旋流器在起旋效果与经济效益之间达到最优平衡。

参考文献:

- [1] 滕万军. 水库淤积问题研究及对策分析[J]. 水利科技与经济, 2023, 29(7): 134-136. (TENG W J. Study on reservoir sedimentation and countermeasures analysis [J]. Water conservancy science and technology and economy, 2023, 29(7): 134-136. (in Chinese))
- [2] 李岩, 张金良, 白玉川, 等. 圆管有压流输沙与泥沙垂向分选特性试验研究[J]. 泥沙研究, 2021(3): 10-15, 27. (LI Y, ZHANG J L, BAI Y C, et al. Study on characteristics of sediment transport and sorting in pressure pipe[J]. Journal of sediment research, 2021(3): 10-15, 27. (in Chinese))

(下转第 61 页)

溢流污水中的悬浮颗粒物或许是减少受纳水体污染物负荷的可行措施。

b. EEM-PARAFAC 分析表明,溢流污水 DOM 组成分别为类富里酸、氨基酸和类腐殖质混合物及类酪氨酸,它们的占比分别为 37.20%、49.29%、13.51%。

c. 荧光指数分析表明,对溢流污水中的污染物贡献最大的是管道沉积物。定期对管道进行清淤可减小该地区溢流污水的污染物负荷。

d. 未来仍需进一步探索和完善本文研究所涉及的问题和方法。如对污水管道冲刷情况的数据进行监测以提高研究的质量。

参考文献:

- [1] 刘宇轩,高雅弘,王振北,等. 城镇合流制排水系统溢流污染控制综述[J]. 环境工程, 2023, 41(12): 32-47. (LIU Y X, GAO Y H, WANG Z B, et al. Review of overflow pollution control of urban combined drainage systems[J]. Environmental engineering, 2023, 41(12): 32-47. (in Chinese))
- [2] 陈黄隽,李一平,周玉璇,等. 分流制系统雨水管网混接雨天溢流污染特征研究[J]. 中国给水排水, 2023, 39(19): 116-124. (CHEN H J, LI Y P, ZHOU Y X, et al. Characteristics of rainy-weather overflow pollution from separate system in illicit connection[J]. China water & wastewater, 2023, 39(19): 116-124. (in Chinese))
- [3] YAN S F, XU H B, FANG Y K, et al. The characteristics and traceability analysis of the overflow pollution during the flood season in an urban area [J]. Water, 2024, 16(22): 3159.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 降水量等级:GB/T 28592-2012[S]. 北京:中国标准出版社,2012. (General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Notional Standardization Management Committee of the People's Republic of China. Grade of precipitation: GB/T28592-2012 [S]. Beijing: China Standard Press, 2012. (in Chinese))
- [5] KIM G, YUR J, KIM J. Diffuse pollution loading from urban stormwater runoff in Daejeon city, Korea [J]. Journal of environmental management, 2007, 85(1): 9-16.
- [6] DERRIEN M, KIM M S, OCK G, et al. Estimation of different source contributions to sediment organic matter in an agricultural-forested watershed using end member mixing analyses based on stable isotope ratios and fluorescence spectroscopy[J]. The science of the total environment, 2018, 618: 569-578.
- [7] 佃柳,海永龙,梁玉帅,等. 合流制管网溢流污染过程中溶解性有机污染物演替特征分析[J]. 环境科学学报, 2022, 42(3): 20-27. (DIAN L, HAI Y L, LIANG Y S, et al. Characteristics of dissolved organic matter in combined sewer overflows [J]. Acta scientiae circumstantiae, 2022, 42(3): 20-27. (in Chinese))
- [8] CABRERA J M, GARCÍA P E, PEDROZO F L, et al. Dynamics of the dissolved organic matter in a stream-lake system within an extremely acid to neutral pH range: Agrio-Caviahue watershed[J]. Spectrochimica acta part A: Molecular and biomolecular spectroscopy, 2020, 235: 118278.
- [9] LI Y, WEI H J, WANG K, et al. Analysis of the relationship between dissolved organic matter (DOM) and watershed land-use based on three-dimensional fluorescence-parallel factor (EEM-PARAFAC) analysis[J]. Huanjing kexue, 2019, 40(4): 1751-1759.
- [10] LEENHEER J A, WERSHAW R L, BROWN G K, et al. Characterization and diagenesis of strong-acid carboxyl groups in humic substances[J]. Applied geochemistry, 2003, 18(3): 471-482.
- [11] 闫晓寒,韩璐,文威,等. 辽河保护区水体溶解性有机质空间分布与来源解析[J]. 环境科学学报, 2021, 41(4): 1419-1427. (YAN X H, HAN L, WEN W, et al. Spectral characteristics and spatial distribution of DOM in surface water of Liaohe reservation zone [J]. Acta scientiae circumstantiae, 2021, 41(4): 1419-1427. (in Chinese))

(上接第 77 页)

- [3] PARSHALL R L. Model and prototype studies of sand traps[J]. Transactions of the American Society of Civil Engineers, 1952, 117(1): 204-212.
- [4] 王树立,饶永超,张琳,等. 水平管内螺旋流流动特性研究现状与进展[J]. 太原理工大学学报, 2013, 44(2): 232-236. (WANG S L, RAO Y C, ZHANG L, et al. Research situation and progress on flow characteristics of spiral flow in horizontal pipe[J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2013, 44(2): 232-236. (in Chinese))
- [5] 饶永超,郑亚星,王树立,等. 水平管内以叶轮起旋的螺旋流的数值模拟[J]. 流体机械, 2016, 44(4): 17-22. (RAO Y C, ZHENG Y X, WANG S L, et al. Numerical simulation of swirl flow rotated by the vane in the horizontal pipe[J]. Fluid machinery, 2016, 44(4): 17-22. (in Chinese))
- [6] 李永业,高远,贾晓萌,等. 导叶片式旋流器下游断面螺旋流流速特性[J]. 排灌机械工程学报, 2020, 38(8): 807-813. (LI Y Y, GAO Y, JIA X M, et al. Velocity characteristics of spiral flow in downstream section of guide vane cyclone[J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering, 2020, 38(8): 807-813. (in Chinese))
- [7] PARK I H, CHO Y J, LEE J S. Analysis of empirical constant of eddy viscosity by κ - ϵ and RNG κ - ϵ turbulence model in wake simulation[J]. Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety, 2019, 25(3): 344-353.