

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2026.20250254

山区河流新型取水口滤网防淤堵效果模拟研究

曹湖沁^{1a, 1b}, 童思陈^{1a, 1b}, 王 棚², 王 祥^{1a, 1b}, 张倩倩^{1a, 1b}

(1. 重庆交通大学 a. 河海学院; b. 国家内河航道整治工程技术中心, 重庆 400074;

2. 贵州乌江水电开发有限公司乌江渡发电厂, 贵州 遵义 563104)

摘要: 目前, 预防山区河流取水口淤堵的方法属于被动措施, 即让机组停机后人工拆洗过滤元件, 此法低效耗时安全性差。针对传统篮式过滤器易堵塞、维修成本高等问题, 提出了一种新型旋转式过滤器。采用 FLUENT 建立三维水流数学模型模拟清、浑水工况下滤网内部流场与压强场变化, 分析了传统篮式与旋转式过滤器水头损失。研究表明, 旋转式过滤器相较于传统篮式过滤器, 能够有效减缓淤积物落淤, 提高过滤器过水能力, 有效延长滤网工作时间。研究结果可为山区河流取水口滤网改进与优化提供设计参考和理论依据。

关键词: 取水口防淤; 旋转式过滤器; 数值模拟; 运行特性; 水头损失

中图分类号: TV143⁺.4

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2026)01-0083-06

Simulation Study on Anti-siltation Effect of New Type of Intake Screen in Mountain Rivers

CAO Hu-qin^{1a, 1b}, TONG Si-chen^{1a, 1b}, WANG Peng², WANG Xiang^{1a, 1b}, ZHANG Qian-qian^{1a, 1b}

(1a. School of River and Ocean Engineering; 1b. National Inland Waterway Regulation Engineering

Research Center, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. Wujiangdu Power Plant of Guizhou Wujiang Hydropower Development Co., Ltd., Zunyi 563104, China)

Abstract: Currently, the method of preventing siltation of water intakes in mountain rivers is a passive measure, i. e., allowing the unit to be shut down and then manually dismantling and cleaning the filter elements. This method is inefficient and time-consuming with poor safety. A new type of rotary filter is proposed to address the problems of easy clogging and high maintenance cost of traditional basket filters. FLUENT was used to establish a three-dimensional water flow mathematical model to simulate the changes in the flow and pressure fields inside the filter under the conditions of clear and muddy water, and the head loss of the traditional basket filter and rotary filter was analyzed. Compared with the traditional basket filter, it shows that the rotary filter can effectively slow down the silt fall, improve the water capacity of the filter, and effectively extend the working time of the filter. The study can provide design reference and theoretical basis for the improvement and optimization of water intake filters in mountainous rivers.

Key words: intake siltation control; rotary filter; numerical simulation; operational characteristics; head loss

1 引言

滤网是过滤器核心部件, 其网孔形状与类型直接影响过滤效果和清洗效率^[1-3]。在汛期山区河流随流量增加, 垃圾、树枝、杂草等悬浮物易在取水口拦污栅附近堆积, 部分进入机组进水口^[4], 致使传统篮式过滤器短时间内堵塞, 引发机组跳

闸与系统解列等安全事故^[5]。当系统杂质含量较高时, 过滤元件堵塞导致系统阻力增加, 需对物料进行粗过滤与精过滤, 造成较大经济损失^[6]。目前, 围绕过滤器工作效率开展了大量研究。如宗全利等^[7]认为滤网及滤饼堵塞是影响淤堵的主要因素; 李枫等^[8]通过减小工作流速以提高分离效率; 谢知峻等^[9-11]借助模型优化过滤器分离效果, 延长机组有效过滤时间; 陶洪飞等^[12-13]分析了滤

收稿日期: 2025-02-17, 修回日期: 2025-03-31, 接受日期: 2025-04-10

基金项目: 国家重点研发计划(2023YFC3208805); 广西科技重大专项资助项目(桂科 AA23023009)

作者简介: 曹湖沁(1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向为水力学及河流动力学, E-mail: 1452994064@qq.com

通讯作者: 童思陈(1973-), 男, 博士、教授、博导, 研究方向为水力学及河流动力学, E-mail: 81441849@qq.com

网形状对过滤器冲洗效果;GOTHWAL D 等^[14]利用压差设计用于废水处理自清洁过滤器;SHISHLYANNIKOV D I 等^[15]发现自清洁过滤器能有效去除污水杂质,但不便于应用。现有研究多集中在微灌系统与排水系统等领域,针对取水系统防淤堵的研究甚少。鉴于山区河流具有汛期水流急、杂质多以及浊度高等特征,本文以山区河流取水口滤网为研究对象,在传统篮式过滤器基础上,提出了一种新型旋转式过滤器装置,基于 FLUENT 对旋转式过滤器的水力特性及防淤堵效果进行模拟,可为山区河流取水口防淤堵设计提供参考。

2 模型建立及验证

2.1 基本方程

(1)多孔介质方程。王燕燕等^[16-19]运用多孔介质模型研究过滤器内部流场压力及速度矢量表达。本文引入多孔介质模型,代替滤网计算。表达式为:

$$\begin{cases} C_1 = 150(1 - \epsilon)^2 / (D^2 \epsilon^2) \\ C_2 = 3.5(1 - \epsilon) / (D \epsilon^3) \\ S_i = -\left(\frac{\mu}{\alpha} u_i + \frac{1}{2} C_2 \rho |u| u_i\right) \quad i = x, y, z \end{cases} \quad (1)$$

式中, C_1 为黏性阻力系数; ϵ 为孔隙比; D 为滤网孔直径; C_2 为惯性阻力系数; S_i 为动量方程附加动量源项; μ 为流体黏度; u 为流体速度; α 为渗透率; ρ 为流体密度。

(2)流体方程。常用流体运动方程^[20]为:

$$\begin{cases} \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \\ \frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \mu_t \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} (\overline{u'_i u'_j}) \end{cases} \quad (2)$$

式中, u_i 、 u_j 均为方向流速; x_i 、 x_j 均为坐标分量; ρ 为流体密度; P 为流体压力; μ_t 为湍流黏度; $\overline{u'_i u'_j}$ 为雷诺应力。

(3)湍流模型。选用适用于高雷诺数情况的标准 κ - ϵ 湍流模型^[21]:

$$\frac{\partial(\rho\kappa)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho\kappa u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\kappa} \right) \frac{\partial \kappa}{\partial x_j} \right] + G_\kappa - \rho\epsilon \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho\epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho\epsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \\ \frac{C_{1\epsilon} G_\kappa - C_{2\epsilon} \rho \epsilon^2}{\kappa} \end{aligned} \quad (4)$$

式中, κ 为湍动能; μ_t 为湍动黏性系数; $C_{1\epsilon}$ 、 $C_{2\epsilon}$ 、 σ_κ 、 σ_ϵ 均为经验常数, 分别取值为 1.44、1.92、1.00、1.30; G_κ 为湍动能; ϵ 为耗散率。

(4)水头损失基本方程。水流流经过滤器内部, 流场中质点流速发生变化, 其势能与动能相互转化, 引起能量损耗。旋转式过滤器中转子呈强烈湍流状态, 流动路径短且几乎无支流区段, 可忽略沿程水损。水头损失基本方程为:

$$\begin{cases} Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w \\ h_w = h_0 + avSt^b / \rho \end{cases} \quad (5)$$

当滤网内为紊流时, 滤饼压降按下式^[22]计算:

$$\begin{cases} \Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 \\ \Delta P_2 = \frac{36\mu' u' L}{r} (1 - \epsilon')^{1.5} [1 + 56(1 - \epsilon')^3] \end{cases} \quad (6)$$

式中, Z_1 、 Z_2 分别为进、出水口断面水位; P_1 、 P_2 分别为进、出水口断面压力; α_1 、 α_2 均为动量修正系数; v_1 、 v_2 分别为进、出水口平均流速; h_w 、 h_0 分别为浑水和清水水头损失; v 为进口过水断面平均流速; a 、 b 均为常数; S 为进口含沙量; t 为过滤器有效工作时间; ΔP 为旋转式过滤器总阻力压降; ΔP_1 为滤网阻力压降; ΔP_2 为滤饼阻力压降; ΔP_3 为转子阻力压降; μ' 为滤液黏度; u' 为滤饼截流流速; L 为滤饼厚度; r 为泥沙颗粒半径; ϵ' 为孔隙率。

2.2 模型验证

过滤器水头损失是验证其运行特性的重要参数, 本文利用文献[23]开展过滤试验对比验证。结果表明, 模拟计算值与试验值吻合较好, 相关系数达 0.992, 说明本模型能较好反映过滤器运行特性。

3 过滤器模拟参数设置

3.1 网格剖分

传统篮式过滤器存在拆洗量大、清洗周期短、易堵塞、固体杂质含油污等问题^[24], 对此在传统篮式过滤器内部增设一个转子, 构造出旋转式过滤器, 减少附着在滤网表面的杂质, 增大过滤器过水能力(图1)。滤网规格采用常见的 80 目与 120 目。

模拟计算时, 设 80、120 目旋转式过滤器孔径分别为 0.23、0.11 mm, 丝径分别为 0.12、0.09 mm。将过滤器延伸方向定义为 z 轴, 其宽度和高度分别沿 x 、 y 轴展开, 当水流经过滤器时, 沿 z 轴正向流动。运用 Fluent Meshing 剖分网格,

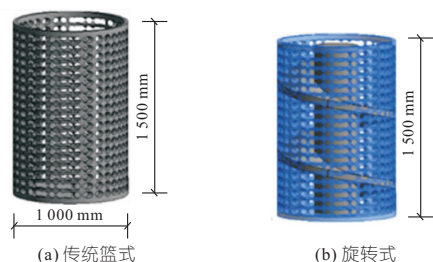


图 1 过滤器结构示意图

Fig. 1 Filter structure schematic

其结构为六面体,网格总数为 1 892 458 个(图 2)。

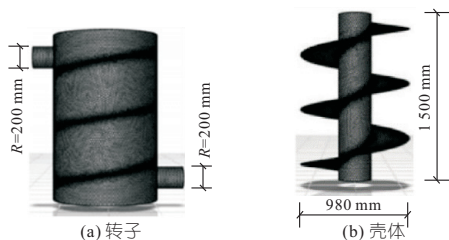


图 2 旋转式过滤器网格划分示意

Fig. 2 Rotary filter mesh division schematic

3.2 参数设置

(1) 清水工况。设流体为液态水,密度为 $9.98 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,初始流量为 50.00 L/s,进水流量为 0~83.33 L/s,以 ΔQ 为 8.33 L/s 增幅调节流量至设计流量 83.33 L/s。选择 RNG κ - ϵ 模型,设置多孔介质区域和转子转速(0.33 rad/s)。采用速度入口与固壁出口,结合流动方程、湍流方程和能量方程,运用 SIMPLE 算法计算稳态离散方程^[25]。

(2) 浑水工况。设流体为常温清水和泥沙,清水密度 $9.98 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,进水流量为 50.00 L/s。根据朱勇华等^[26]测算本研究区域取水口附近含沙量约 0.30~1.19 g/L,故取含沙量为 0.50 g/L。选择 RNG κ - ϵ 模型,设置多孔介质区域和转子转速(20 rad/min),边界条件与清水工况相同,结合 COUPLE 算法计算瞬态离散方程。

4 结果分析

4.1 流场模拟

基于 FLUENT 模拟,揭示 80、120 目传统篮式与旋转式过滤器内部流场运行特征(图 3)。当相应参数保持不变时,过滤器出口附近的流速特征为:①对于传统篮式与旋转式过滤器而言,目数越大流速越小;②无论清水与浑水工况,同一目数时旋转式过滤器流速较传统篮式为大;③传统篮式与旋转式过滤器浑水流速均高于清水值。

4.2 湍动能场模拟

通过清水与浑水工况的模拟显示出漩涡及流

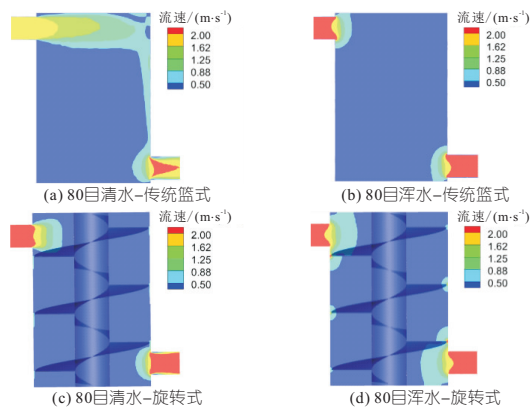


图 3 过滤器不同工况流速分布云图比较

Fig. 3 Comparison of flow rate distributions of filters under different operating conditions

速、压力等脉动现象(图 4),80、120 目传统篮式与旋转式过滤器内部湍动能皆分布不均,前者主要集中在过滤器断面收缩处,后者主要集中在过滤器断面收缩处及转子边缘,并形成对水流速度分布影响较大的高端动能区,进而引起较大水头损失。

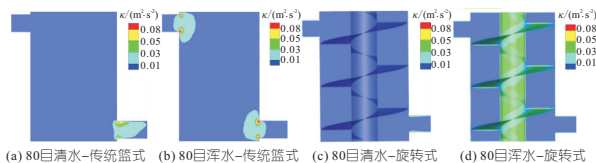


图 4 过滤器不同工况湍动能分布云图比较

Fig. 4 Comparison of turbulent kinetic energy distributions of filters under different operating conditions

4.3 压强场模拟

80、120 目传统篮式与旋转式过滤器压强场特征为进口呈正压,出口呈负压,形成压差现象,并随进水流量增加相应增大(图 5)。来流流量一定时:①对于传统篮式与旋转式过滤器而言,目数越大压差越大;②同一目数,旋转式过滤器压差较传统篮式为大;③传统篮式与旋转式过滤器皆为浑水压差高于清水压差。

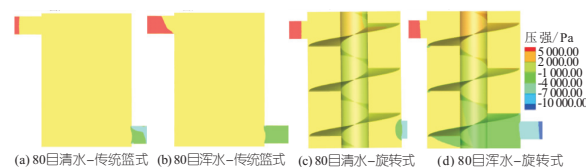


图 5 过滤器不同工况压强分布云图比较

Fig. 5 Comparison of pressure distribution clouds for different working conditions of filters

4.4 水头损失分析

(1) 清水水头损失。模拟进水流量 8.33~50.00 L/s 时,传统篮式与旋转式过滤器水头损失缓慢增加;当进水流量超过 50.00 L/s 时,传统篮式与旋转式过滤器水头损失大幅增加(图 6)。由于旋转式过滤器的转子占据较大空间,减小了过水断面,使旋转式相较于传统篮式过滤器水头

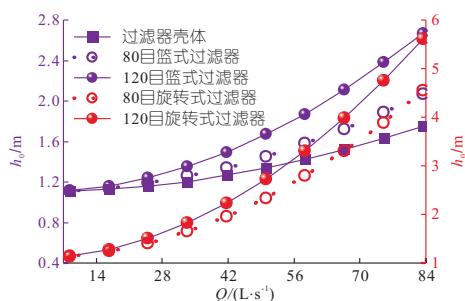


图 6 过滤器清水水头损失变化曲线

Fig. 6 Filter clear water head loss change curve

损失增长更为明显。当达到设计额定流量 83.33 L/s 时,过滤器外壳水头损失为 1.75 m。表明在无滤网情况下,过滤器本身也会产生一定的水头损失。80、120 目传统篮式过滤器水头损失分别为 2.07、2.67 m,扣除过滤器壳体水头损失 1.75 m,则滤网净水头损失分别为 0.32、0.92 m。旋转式过滤器分别产生 4.55、5.61 m 水头损失,扣除传统篮式过滤器水头损失 2.07、2.67 m,则转子净水头损失分别为 2.48、2.94 m(图 7)。

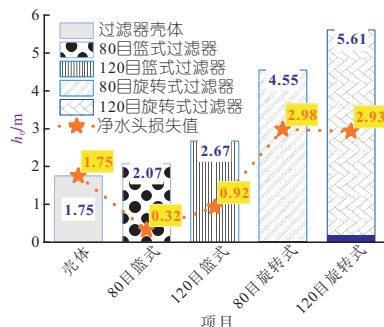


图 7 过滤器清水水头损失与净水头损失对比

Fig. 7 Filter clear water head loss vs. net head loss

对于 80 目过滤器,滤渣截面平均流速为 0.48 m/s,最大及最小孔隙率分别为 0.8、0.5,滤液黏度为 $1 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 。据式(6)可得 80 目滤渣最大及最小压降分别为 9.70、0.45 m。同理,120 目旋转式过滤器滤渣截面平均流速 0.77 m/s,其余参数均与 80 目一致。120 目滤渣最大及最小压降分别为 15.50、0.71 m。根据清水水头损失与进水流量关系,可知 80 目旋转式过滤器清水水头损失为 2.80 m,由式(5)可得过滤器总水头损失为 3.25~12.50 m。因 120 目旋转式过滤器清水水头损失为 3.86 m,则总水头损失范围为 4.57~19.36 m。为防止水头损失过大而导致滤网严重堵塞,综合选取过滤器正常工作水头损失阈值为 12.00 m。

(2)浑水水头损失。基于清水工况获得浑水水头损失初值。随过滤进程推进,泥沙颗粒不断积聚,过流面积不断缩小,为避免滤网被完全堵塞而影响过滤装置正常运行,待达到水头损失阈值

12.00 m 时停机对滤网进行清理。如图 8 所示:①在含沙量为 0.5 g/L 时,传统篮式及旋转式过滤器水头损失变化随流量增加出现不同增幅。②水流通过滤网孔隙时受到滤网阻力,其与滤网线径和滤网孔径密切相关,若线径较小、孔径较大,则水流阻力将减小,反之增加。③同一条件,旋转式过滤器水头损失达到正常工作阈值的时间大于传统篮式;同一过滤器,目数越小有效工作时间越大;浑水水头损失与有效工作时间的变化趋势类似,均随进水流量增加而增大,有效工作时间相应减少。

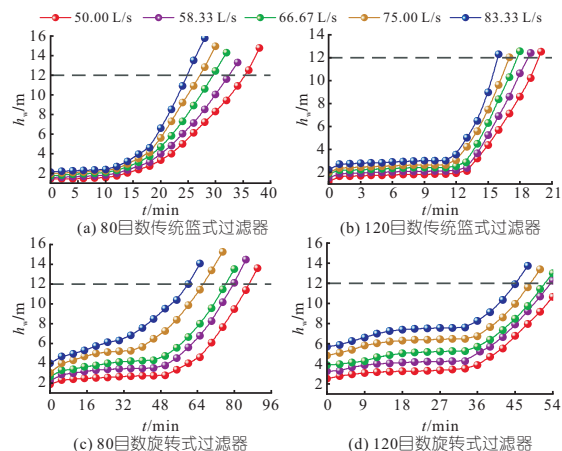


图 8 传统篮式过滤器、旋转式过滤器不同流量浑水水头损失变化

Fig. 8 Conventional basket filter and rotary filter with different flow rate muddy water head loss change

(3)旋转式转子防淤堵效果。为进一步探究过滤器防淤效果,模拟了 80、120 目传统篮式与旋转式过滤器浑水工况(图 9)。研究发现,旋转式过滤器中转子带动水流和泥沙旋转运动,极大减少了附着在滤网孔径的泥沙数量,有效延长了过滤器工作时间,充分反映了转子的防淤堵效果。如表 1 所示:①同一过滤器,目数越小有效工作时间越长;②同一流量,采用 80 目过滤器时旋转式有效工作时间约为传统篮式的 2.3 倍;采用 120 目过滤器时旋转式有效工作时间约为传统篮式近 3.0 倍;③本文提出的旋转式过滤器结构,较传统篮式过滤器有效工作时间可延长约 2.0~3.0 倍,能大幅提高过滤器工作效率。

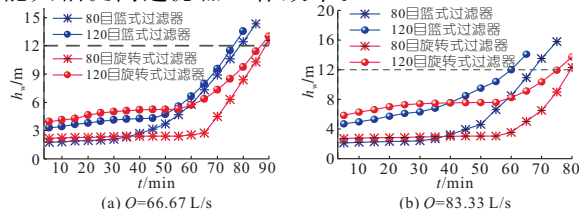
图 9 转子在浑水工况下对过滤器有效工作时间的影响
Fig. 9 Influence of the rotor on the effective working time of the filter under turbid water conditions

表 1 传统篮式与旋转式过滤器有效工作时间对比

Tab. 1 Comparison of effective working time between traditional basket and rotary filters

序 号	精度 /目	Q	传统篮	旋转式	旋转式较	序 号	精度 /目	Q	传统篮	旋转式	旋转式较
			式有效 工作 时间/ min	有效工 作时间 /min	传统篮式 有效工作 时间倍数				式有效 工作 时间/ min	有效工 作时间 /min	传统篮式 有效工作 时间倍数
1	80	50.00	37.39	86.27	2.31	1	120	50.00	20.11	56.20	2.79
2	80	58.33	34.27	79.48	2.32	2	120	58.33	18.56	54.48	2.94
3	80	66.67	31.55	75.99	2.41	3	120	66.67	17.78	52.12	2.93
4	80	75.00	29.05	68.28	2.35	4	120	75.00	16.92	48.53	2.87
5	80	83.33	26.72	60.01	2.25	5	120	83.33	15.66	42.33	2.70

注:表中 Q 单位为 L/s。

5 结论

a. 运用 FLUENT 流体仿真模型计算获得 80、120 目传统篮式与旋转式过滤器流场和压强场信息,阐明不同流量时两过滤器内部运行特征:当水流流经旋转式过滤器时,转子会改变水流运动状态,减小水流轴向运动速度,导致其流速小于传统篮式;当流动面积减小且水流速度加快时,过滤器出口及转子边缘将出现高湍动能区,致使两过滤器内部湍动能分布不均;当位置水头与流速水头处于相同量值时,进水管截面流体压力高于出水管相应位置压强值而产生较大压差,旋转式过滤器进出口压差大于传统篮式进出口压差。

b. 清水工况下,传统篮式与旋转式过滤器水头损失皆随进水流量增加而增大,从而引起水流流经过滤器时动能损失增大。当进水流量达到额定设计流量 83.33 L/s 时,80、120 目传统篮式与旋转式过滤器水头损失分别为 2.07、2.67、4.55、5.61 m。同一条件,同一过滤器,目数越大水头损失越大;同一滤网精度,转子阻碍使旋转式过滤器水头损失远大于传统篮式;浑水与清水工况类似。

c. 由于旋转式过滤器可带动水流和泥沙颗粒做旋转运动,极大减少了泥沙在滤网的附着数量。分析认为,提出的新型旋转式过滤器较传统篮式有效工作时间可延长约 2.0~3.0 倍,能够显著提高过滤器工作效率,有效弥补传统篮式易堵塞、工作周期短、运行不稳定等缺陷。需要说明,研究成果基于概化工况运行模拟,实际垃圾组分复杂多变,还需进一步开展理论及试验研究。

参考文献:

[1] 孙涛,王松,孙海鸥. 丝网直径对网垫级阻力性能的影响分析[J]. 热能动力工程, 2005,20(6): 611-614. (SUN T, WANG S, SUN H O. An analysis of the influence of wire mesh diameter on the resist-

ance performance of a mesh pad grid[J]. Journal of engineering for thermal energy and power, 2005, 20(6): 611-614. (in Chinese))

[2] 侯宗宗,王宾宾,王要伟,等. 金属丝网的流场数值模拟分析[J]. 过滤与分离, 2017,27(2): 20-24. (HOU Z Z, WANG B B, WANG Y W, et al. Numerical simulation and analysis of flow field of metal wire mesh[J]. Journal of filtration & separation, 2017, 27(2): 20-24. (in Chinese))

[3] 侯宗宗,张可可,王宾宾,等. 不同滤网网孔模型的数值研究[J]. 船舶, 2018,29(6): 43-48. (HOU Z Z, ZHANG K K, WANG B B, et al. Numerical investigation of different filter mesh pore models[J]. Ship & boat, 2018, 29(6): 43-48. (in Chinese))

[4] 付雪辉. 浅析长洲水电站机组技术供水系统改造[J]. 广西电力, 2018(8): 77-80. (FU X H. Analysis on technical water supply system reform of Changzhou Hydropower Station[J]. Guangxi electric power, 2018(8): 77-80. (in Chinese))

[5] 林峰,王德厚. 消除机组技术供水取水口堵塞的措施[J]. 水电自动化与大坝监测, 2010(3): 30-31, 34. (LIN F, WANG D H. Measures to eliminate obstruction of the water intake for technical water supply[J]. Hydropower automation and dam monitoring, 2010(3): 30-31, 34. (in Chinese))

[6] 李素珍. 常规过滤器的优化设计[J]. 化工设计通讯, 2019,45(7): 60-60, 62. (LI S Z. Optimization design of general filter[J]. Chemical engineering design communications, 2019, 45(7): 60-60, 62. (in Chinese))

[7] 宗全利,杨洪飞,刘贞姬,等. 网式过滤器滤网堵塞成因分析与压降计算[J]. 农业机械学报, 2017, 48(9): 215-222. (ZONG Q L, YANG H F, LIU Z J, et al. Clogging reason analysis and pressure drop calculation of screen filter[J]. Transactions of the Chinese society for agricultural machinery, 2017, 48(9): 215-222. (in Chinese))

[8] 李枫,赵嵘广,邢雷,等. 水力旋流器内固相颗粒运动行为分析[J]. 化学工程, 2023,51(7): 55-60. (LI F, ZHAO R G, XING L, et al. Analysis of solid particle's migration in hydrocyclone [J]. Chemical engineering (China), 2023, 51(7): 55-60. (in Chinese))

[9] 谢知峻. 粒子排布器对旋流过滤器分离性能强化的数值模拟[D]. 东营: 中国石油大学(华东), 2015. (XIE Z J. Numerical simulation of separation enhancement of filtering hydrocyclone by particle arrangement unit[D]. Dongying: China University of Petroleum (Huadong), 2015. (in Chinese))

[10] CAVALCANTE D C M, MAGALHÃES H L F,

- NETO S R F, et al. Hydrodynamic evaluation of a filtering hydrocyclone for solid particle/water separation[J]. *Membranes*, 2024, 14(8): 171.
- [11] 单丽君, 陈蕊娜. 固液分离过滤器流场的数值模拟与分析[J]. *大连交通大学学报*, 2009, 30(2): 6-9. (SHAN L J, CHEN R N. Numerical simulation and analysis of a kind of solid-liquid filter flow field [J]. *Journal of Dalian Jiaotong University*, 2009, 30(2): 6-9. (in Chinese))
- [12] 陶洪飞, 滕晓静, 赵经华, 等. 不同流量下全自动网式过滤器内部流场的数值模拟[J]. *水电能源科学*, 2016, 34(12): 180-185. (TAO H F, TENG X J, ZHAO J H, et al. Numerical simulation of internal flow field in automatic screen filter under different flow [J]. *Water resources and power*, 2016, 34(12): 180-185. (in Chinese))
- [13] 陶洪飞, 滕晓静, 马英杰, 等. 直冲洗网式过滤器的流场模拟及结构优化[J]. *水电能源科学*, 2017, 35(8): 98-102. (TAO H F, TENG X J, MA Y J, et al. Numerical simulation and structural optimization of direct-washing screen filter [J]. *Water resources and power*, 2017, 35(8): 98-102. (in Chinese))
- [14] GOTHWAL D, DHUMAL A, GANG A, et al. Review on automatic-cleaning basket strainer [J]. *International journal of scientific & technology research*, 2015, 4(4): 154-156.
- [15] SHISHLYANNIKOV D I, KARTAVTSEV V K, SITNIKOV D A, et al. Increasing the operating time of pumping units of water-reducing wells through the use of self-cleaning filters[J]. *Bulletin of the Tomsk polytechnic university geo assets engineering*, 2024, 335(11): 19-31.
- [16] 王燕燕, 戴凌汉. 自动反冲洗过滤器的改进与研究[J]. *北京化工大学学报(自然科学版)*, 2010, 37(3): 119-122. (WANG Y Y, DAI L H. Design of an automatic return rinsing filter [J]. *Journal of Beijing university of chemical technology (natural science edition)*, 2010, 37(3): 119-122. (in Chinese))
- [17] 王燕燕. 自清洗叠片过滤器的设计与研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2010. (WANG Y Y. Design and research of self-cleaning discs-type filter [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2010. (in Chinese))
- [18] 王栋蕾, 宗全利, 刘建军. 微灌用自清洗网式过滤器自清洗结构流场分析与优化研究[J]. *节水灌溉*, 2011(12): 5-8, 12. (WANG D L, ZONG Q L, LIU J J. Flow analysis and structure optimization of self-cleaning nets filter for micro-irrigation [J]. *Water saving irrigation*, 2011(12): 5-8, 12. (in Chinese))
- [19] BRENNAN M S, NARASIMHA M, HOLTHAM P N. Multiphase modelling of hydrocyclones-prediction of cut-size[J]. *Mineralsengineering*, 2007, 20(4): 395-406.
- [20] 阿力甫江·阿不里米提. 典型鱼雷网式过滤器的试验研究及数值模拟[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2016. (ALIFUJIANG ABULIMITI. Experiment study and numerical simulation on typical torpedo screen filter [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2016. (in Chinese))
- [21] 于腾. 高水头、长距离倒虹吸管水力特性及结构稳定性研究[D]. 西宁: 青海大学, 2017. (YU T. High water head and long distance inverted siphon hydraulic characteristics and structure stability study [D]. Xining: Qinghai University, 2017. (in Chinese))
- [22] 丁启圣, 王维一, 等. 新型实用过滤技术[M]. 4版. 北京: 冶金工业出版社, 2017. (DING Q S, WANG W Y, et al. New practical filtration technology [M]. 4th ed. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2017. (in Chinese))
- [23] 刘冬冬, 刘贞姬, 谢炎, 等. 基于网式过滤器滤网过滤两种模型的流场模拟分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2023, 41(2): 130-140. (LIU D D, LIU Z J, XIE Y, et al. Flow field simulation analysis based on two models of mesh filter [J]. *Agricultural research in the arid areas*, 2023, 41(2): 130-140. (in Chinese))
- [24] 杨炳华, 林俊锋, 董颖杰, 等. 一种篮式过滤系统改进方法及应用效果[J]. *油气田地面工程*, 2016, 35(11): 30-32. (YANG B H, LIN J F, DONG Y J, et al. An improved method based on basket strainer system and its application effect [J]. *Oil-gas field surface engineering*, 2016, 35(11): 30-32. (in Chinese))
- [25] 骆秀萍. 自清洗网式过滤器运行特性及内部流场数值模拟研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2013. (LUO X P. Study on operating characteristics and internal flow field numerical simulation of self-cleaning screen filter [D]. Shihezi: Shihezi University, 2013. (in Chinese))
- [26] 朱勇华, 张军, 郭海晋. 嘉陵江北碛站含沙量变化趋势的神经网络模型分析[J]. *武汉水利电力大学学报*, 1999(6): 37-40. (ZHU Y H, ZHANG J, GUO H J. Analysis of sediment content variation tendency of Beipei station at Jialin river based on neural network model [J]. *Engineering journal of Wuhan university*, 1999(6): 37-40. (in Chinese))