DOI:10.20040/j.cnki.1000-7709.2025.20250180

基于熵权-TOPSIS法的曲线型退水渠糙条布置型式优化试验研究

巩银鑫[1,2],张红红[1,2],牧振伟[1,2],孙容泷[1,2],李 琪[1,2],刘新卫[1,2]

(1. 新疆农业大学水利与土木工程学院,新疆 乌鲁木齐 830052;
2. 新疆水利工程安全与水灾害防治重点实验室,新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要:糙条对曲线型退水渠水流有导流和降速的双重作用,为探究曲线型退水渠内糙条的较优布置型式,基于熵权-TOPSIS法建立多目标评价体系,综合选取影响糙条导流降速效果的糙条长度L、糙条相对高度、糙条角度、糙条高度比、糙条间距、糙条厚度作为研究因素,各设置3个水平,以导流降速效果综合衡量指标为响应变量,采用正交试验法进行统计分析。结果表明,糙条对曲线型退水渠水流的降速效果优于导流效果;糙条相对高度、糙条长度和糙条角度是影响糙条导流降速效果的显著性因素;影响糙条导流降速效果的因子重要性排序为糙条相对高度>糙条长度>糙条角度>糙条厚度>糙条高度比>糙条间距;糙条较优布置型式为糙条长度为$0.8w$、糙条相对高度为$0.8h_1$、糙条角度为60°、糙条高度比为1.5、糙条间距为$\gamma/9$、糙条厚度为$w/30$,该型式下,曲线型退水渠水流的导流效果、降速效果和导流降速综合效果较无糙条方案分别提升了0.450、0.603、0.521。研究成果可为同类消能工研究提供参考与借鉴。

关键词:糙条;弯道水流;熵权-TOPSIS法;多目标评价体系;水面差离散系数

中图分类号:TV653$^+$.9 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-7709(2025)12-0122-06

1 引言

泄水建筑物是水利枢纽的重要组成部分[1]。受地形条件、工程布置等限制,部分泄水建筑物须带有转角,流经转角的水流为弯道水流[2]。弯道水流受离心力影响,大部分水流仍保持原先的运动趋势并聚集于凹岸,凸岸水流体积较少,弯段内整体呈现“凹岸壅水、凸岸降水”的分布形式,凹凸两岸水位差较大[3],水面结构紊乱,导致断面流速分布不均,不利于下游出口建筑物的长期运行[4]。为了解决上述弯道水流问题,围绕工程辅助措施展开了研究,如ZHANG Q H等[5]发现在弯道内布置连续导流墙改善了弯道水流流态,但仅适用于弯道中心半径较小的弯道;YANG J M等[6]提出将透水丁坝布置于弯道凹岸,同样改善了弯道水流流态;张桂金[7]对弯道布置的三棱锥结构进行试验,发现三棱锥结构可以降低水面横比降,改善弯道水流整体流态;贾萍阳等[8]发现在溢洪道弯段处布置糙条后,可以抑制下游冲击波发展范围,改善水流流态;ZHANG H H等[9]主要对影响糙条消能效果的因素展开试验,发现弯道宽度和弯道中心半径影响显著。新疆某工程水库泄水建筑物曲线型退水渠内存在断面水深、流速分布不均等弯道水流问题,提出在曲线型退水渠底部布置体型简单、施工方便的糙条消能工。然而,目前主要针对糙条流态改善、消能作用等方面进行研究,在曲线型退水渠内糙条导流、降速效果的深入探索方面还存在不足。因此,本文基于熵权-TOPSIS法和正交试验法,围绕影响曲线型退水渠内糙条导流、降速效果的6个因子展开研究,以达到优化糙条在曲线型退水渠内布置型式的目的,同时为类似消能工设计提供科学的理论依据。

2 试验概况

收稿日期:2025-01-31,**修回日期**:2025-03-10

基金项目:国家自然科学基金项目(52269019);新疆维吾尔自治区2024年自然科学青年基金项目(2024D01B44);2024年研究生“新疆水利工程安全与水灾害防治重点实验室”课题项目(ZDSYS-YJS-2024-31)

作者简介:巩银鑫(2001-),男,硕士研究生,研究方向为水力学及河流动力学,E-mail:chnxjnygyx@163.com

通讯作者:张红红(1995-),女,博士、讲师、硕导,研究方向为水力学及河流动力学,E-mail:zhhchnxj@163.com

中国知网 https://www.cnki.net

2.1　试验装置

试验在新疆某工程泄水建筑物曲线型退水渠水槽内完成。试验装置包括模型主体和自循环供水系统(图 1)。模型主体根据《水工(常规)模型试验规程》(SL155-2012)[10] 规范设计,由溢流坝段、泄洪冲沙洞段、联合消力池段、曲线型退水渠段、天然河道段组成。糙条布置于曲线型退水渠内,退水渠凹岸有 3 个弯段,转弯半径分别为 140、50、254.5 m,转角分别为 3.979°、35.583°、11.901°;凸岸有 2 个弯段,转弯半径分别为 27.25、211 m,转角分别为 47.435°、13.360°。曲线型退水渠进口、出口宽度分别为 33.68、45.44 m,底板沿程坡度 $i=0.001$,流程总长 107.96 m。自循环供水系统由蓄水箱、下游稳流段、量水堰、地下引水管、水泵等组成。

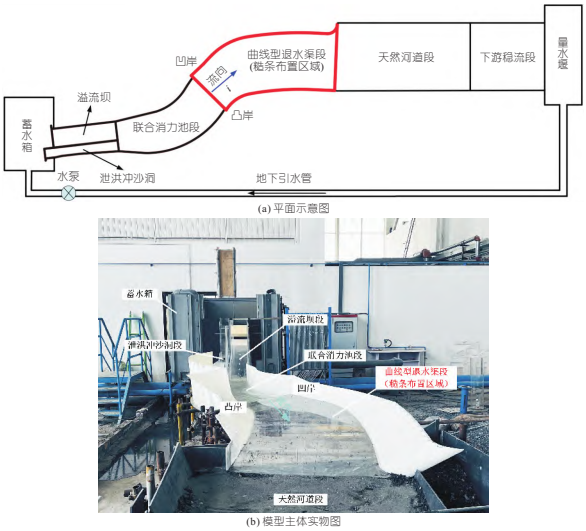


图 1　试验装置

Fig. 1　Testing apparatus

2.2　试验设计

综合选取影响糙条导流降速效果的糙条相对高度 H、糙条高度比 ξ、糙条间距 d、糙条角度 α、糙条厚度 t、糙条长度 L 这 6 个因子作为试验因素,其中,H 为糙条凹岸高度 $H_{凹}$ 与退水渠进口平均水深 h_1 的比值;ξ 为 $H_{凹}$ 与凸岸高度 $H_{凸}$ 的比值;d 为相邻糙条沿流道中心线之间的弧长;α 为糙条中轴线与流道中心线垂直方向的夹角;t 为糙条迎水面与背水面的水平距离;L 为糙条纵断面长度。参数示意见图 2。基于前期试验结果,为每个因素设置 3 个水平,采用正交试验法进行方案设计,具体因素及水平见表 1,正交试验方案见表 2。

2.3　试验测量

模型沿程共布置 22 个测量断面,见图 3。分别采用精度为0.1 mm的水位测针、毕托管测量水深和流速。每个断面布置 5 个水深测点(#Ⅰ~#Ⅴ)、15 个流速测点(#A~#O),测点位置见图 3。为减少边墙粘滞力影响,靠近两岸边墙处的测点与边墙距离 0.4 m。

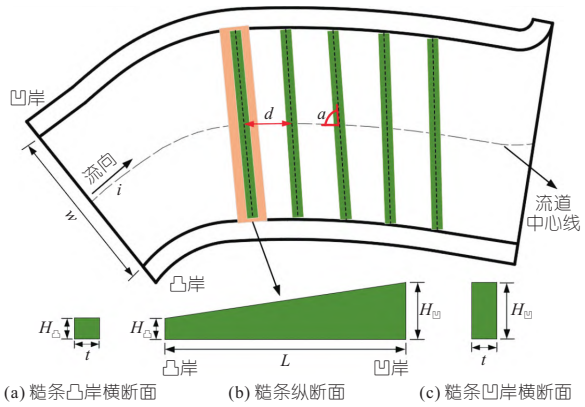


图 2　研究因素示意

Fig. 2　Sketch of research factor

表 1　正交试验因素及水平

Tab. 1　Orthogonal test factors and levels

水平	H/m	ξ	d	α/(°)	t/m	L/m
1	$0.4h_1$	1.0	$\gamma/9$	30	$w/30$	$0.2w$
2	$0.6h_1$	1.5	$\gamma/6$	45	$w/20$	$0.5w$
3	$0.8h_1$	2.0	$\gamma/3$	60	$w/10$	$0.8w$

注:γ 指退水渠的转角;w 指流道宽度。

表 2　正交试验方案

Tab. 2　Orthogonal test scheme

序号	H/m	ξ	d/m	α/(°)	t/m	L/m
1	$0.4h_1$	1.0	$\gamma/9$	30	$w/30$	$0.2w$
2	$0.4h_1$	1.0	$\gamma/9$	30	$w/20$	$0.5w$
3	$0.4h_1$	1.0	$\gamma/9$	30	$w/10$	$0.8w$
4	$0.4h_1$	1.5	$\gamma/6$	45	$w/30$	$0.2w$
5	$0.4h_1$	1.5	$\gamma/6$	45	$w/20$	$0.5w$
6	$0.4h_1$	1.5	$\gamma/6$	45	$w/10$	$0.8w$
7	$0.4h_1$	2.0	$\gamma/3$	60	$w/30$	$0.2w$
8	$0.4h_1$	2.0	$\gamma/3$	60	$w/20$	$0.5w$
9	$0.4h_1$	2.0	$\gamma/3$	60	$w/10$	$0.8w$
10	$0.6h_1$	1.0	$\gamma/6$	60	$w/30$	$0.5w$
11	$0.6h_1$	1.0	$\gamma/6$	60	$w/20$	$0.8w$
12	$0.6h_1$	1.0	$\gamma/6$	60	$w/10$	$0.2w$
13	$0.6h_1$	1.5	$\gamma/3$	30	$w/30$	$0.5w$
14	$0.6h_1$	1.5	$\gamma/3$	30	$w/20$	$0.8w$
15	$0.6h_1$	1.5	$\gamma/3$	30	$w/10$	$0.2w$
16	$0.6h_1$	2.0	$\gamma/9$	45	$w/30$	$0.5w$
17	$0.6h_1$	2.0	$\gamma/9$	45	$w/20$	$0.8w$
18	$0.6h_1$	2.0	$\gamma/9$	45	$w/10$	$0.2w$
19	$0.8h_1$	1.0	$\gamma/3$	45	$w/30$	$0.8w$
20	$0.8h_1$	1.0	$\gamma/3$	45	$w/20$	$0.2w$
21	$0.8h_1$	1.0	$\gamma/3$	45	$w/10$	$0.5w$
22	$0.8h_1$	1.5	$\gamma/9$	60	$w/30$	$0.8w$
23	$0.8h_1$	1.5	$\gamma/9$	60	$w/20$	$0.2w$
24	$0.8h_1$	1.5	$\gamma/9$	60	$w/10$	$0.5w$
25	$0.8h_1$	2.0	$\gamma/6$	30	$w/30$	$0.8w$
26	$0.8h_1$	2.0	$\gamma/6$	30	$w/20$	$0.2w$
27	$0.8h_1$	2.0	$\gamma/6$	30	$w/10$	$0.5w$

中国知网　https://www.cnki.net

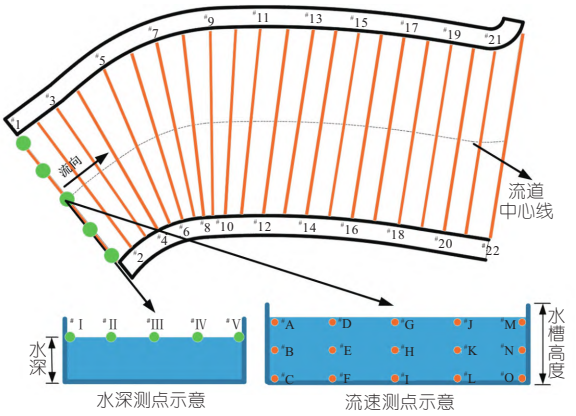


图 3 测量断面、水深测点和流速测点示意图

Fig. 3 Schematic diagram of measuring section, water depth measuring point and flow velocity measuring point

流量采用矩形薄壁堰进行测量，计算公式为：

$$Q = m_0 b \sqrt{2g} H_1^{3/2} \tag{1}$$

$$m_0 = [0.405 + 0.002\ 7/H_1 - 0.03(B-b)/B] \cdot \{1 + 0.55[H_1/(H_1+P_1)]^2 (b/B)^2\} \tag{2}$$

式中，Q 为流量，m^3/s；m_0 为流量系数；b 为堰顶宽度，m；g 为重力加速度；H_1 为堰顶水头，m；B 为堰上游引水渠宽度，m；P_1 为矩形薄壁堰堰高，m。

堰口形式见图 4。

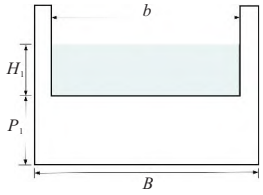


图 4 堰口形式

Fig. 4 Weir mouth form

3 多目标评价体系建立

3.1 水力学评价指标

3.1.1 水面差离散系数

采用水面差离散系数 C_{WD} 衡量曲线型退水渠内糙条的导流效果。C_{WD} 为无量纲量，可以反映沿程弯段凹凸岸水位差的离散程度。C_{WD} 为负向指标，C_{WD} 越小，糙条导流效果越好，计算公式为：

$$C_{WD} = \sigma / \overline{X} \tag{3}$$

$$\Delta h = |h_{凹} - h_{凸}| \tag{4}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \overline{X})^2} \tag{5}$$

$$\overline{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \tag{6}$$

式中，σ 为各断面水面差的标准差，m；$\overline{X}$ 为各断面水面差的平均值，m；Δh 为凹凸岸水深差，m；$h_{凹}$ 为凹岸水深，m；$h_{凸}$ 为凸岸水深，m；x_i 为第 i 个测点数据；N、n 均为计算点数量。

3.1.2 出口平均流速

采用曲线型退水渠出口处（# 22 断面）平均流速 V_{outlet} 衡量糙条降速效果，V_{outlet} 为负向指标，V_{outlet} 越小，糙条降速效果越好，计算公式为：

$$V_{outlet} = Q / A_{outlet} \tag{7}$$

式中，A_{outlet} 为出口过流断面面积，m^2。

3.2 熵权法确定评价指标权重

采用熵权法计算水面差离散系数和出口平均流速的权重，权重越大，指标的重要性越突出[11]。具体步骤如下。

步骤 1 对 2 个评价指标进行数据归一化处理（负向化），公式为：

$$v_{ij}^{*} = \frac{\max(x_j) - x_{ij}}{\max(x_j) - \min(x_j)} \tag{8}$$

式中，v_{ij}^{*} 为第 i 个方案下第 j 项评价指标负向化处理后的数据；x_{ij} 为第 i 个方案下第 j 项评价指标的原始数据；i 为评价对象序号；j 为评价指标；$\max(x_j)$、$\min(x_j)$ 分别为第 j 项评价指标在 27 组方案中的最大值、最小值。

步骤 2 通过下式计算两个指标的权重：

$$e_j = -\frac{1}{\ln m}\sum_{i=1}^{m} p_{ij} \ln p_{ij} \tag{9}$$

$$\omega_j = (1 - e_j) \Big/ \left(n - \sum_{j=1}^{n} e_j\right) \tag{10}$$

式中，e_j 为第 j 项评价指标的信息熵；p_{ij} 为第 i 个方案下第 j 项评价指标的特征比重；ω_j 为第 j 项评价指标的权重，$0 \leqslant \omega_j \leqslant 1$，$\sum_{j=1}^{n} \omega_j = 1$。

由各评价指数权重计算结果可知，C_{WD}、V_{outlet} 的权重分别为 31.37%、68.63%，$\omega(C_{WD}) < \omega(V_{outlet})$，表明糙条对曲线型退水渠水流的降速效果优于导流效果。

3.3 TOPSIS 法得到评价对象排序

逼近理想点排序法（TOPSIS 法）可以基于评价对象与正负理想值的距离对评价对象进行优劣排序[12]。TOPSIS 法可将水面差离散系数和出口平均流速这 2 个子评价指标有机统一为一个综合评价指标，即相对接近度 Y，Y 值越大，越靠近理想解，评级结果越优。正理想解距离 D^+、负理想解距离 D^-、相对接近度 Y 的计算公式分别为：

$$D_i^+ = \| Z_i - Z^+ \| = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(Z_{ij} - Z_j^+)^2} \tag{11}$$

中国知网 https://www.cnki.net

$$D_i^- = \| Z_i - Z^- \| = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (Z_{ij} - Z_j^-)^2} \tag{12}$$

$$Y_i = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-)$$
$$i = 1,2,\cdots,m;0 \leqslant Y_i \leqslant 1 \tag{13}$$

式中，$\boldsymbol{Z}_i = (Z_{i1}, Z_{i2}, \cdots, Z_{in})$ 为加权决策矩阵 $\boldsymbol{Z} = (Z_{ij})_{mn}$ 的第 i 行。

TOPSIS 法计算及排序结果见表 3。由表 3 可知，方案 22(参数 $L = 0.8w$、$H = 0.8h_1$、$\alpha = 60°$、$\xi = 1.5$、$d = \gamma/9$、$t = w/30$)的 Y 值最大，排第 1 位，为 27 组中的最优方案，相关参数取值为较优值，可供工程设计参考。

表 3　TOPSIS 法计算及排序结果

Tab. 3　Results of TOPSIS method calculation and rank

序号	D^+	D^-	Y	排序	序号	D^+	D^-	Y	排序
1	1.039	0.453	0.373	21	15	0.890	0.538	0.436	17
2	1.053	0.450	0.367	22	16	1.066	0.348	0.499	16
3	1.224	0.209	0.537	9	17	0.509	0.906	0.504	14
4	1.092	0.477	0.330	24	18	0.775	0.729	0.319	25
5	0.939	0.540	0.367	23	19	0.683	0.853	0.706	3
6	1.020	0.395	0.513	13	20	0.409	1.007	0.519	11
7	1.110	0.399	0.377	20	21	0.535	1.003	0.675	5
8	1.259	0.235	0.427	18	22	0.785	0.890	0.812	1
9	1.280	0.138	0.514	12	23	0.698	0.724	0.552	7
10	1.252	0.247	0.578	6	24	0.794	0.623	0.533	10
11	0.929	0.610	0.695	4	25	0	1.414	0.500	15
12	0.976	0.449	0.551	8	26	0.749	0.963	0.182	27
13	0.904	0.529	0.425	19	27	0.727	0.825	0.723	2
14	0.742	0.906	0.211	26					

4　结果与分析

4.1　方差分析

对相对接近度进行方差分析，结果见表 4。由表 4 可知，糙条相对高度、糙条长度和糙条角度是影响相对接近度的显著性因素。糙条相对高度的变化决定了阻水高度，糙条长度的变化决定了水流与糙条的接触面积，影响水流与水流、水流与糙条之间的相互作用。糙条角度的大小会影响主流分布区域，合适的糙条角度应使主流更偏向于流道中心线和凸岸处。

表 4　方差分析

Tab. 4　Analysis of variance

因素	离差平方和	自由度 d_f	均方	F	P	显著性
H	0.114	2	0.057	4.916	0.024	*
ξ	0.060	2	0.030	2.557	0.113	
d	0.003	2	0.001	0.108	0.898	
α	0.092	2	0.046	3.944	0.044	*
t	0.059	2	0.030	2.540	0.114	
L	0.107	2	0.054	4.614	0.029	*
残差	0.163	14	0.012			

注:“*”表示因素显著，$P<0.05$。

4.2　极差分析

对相对接近度进行极差分析，结果见表 5。由表 5 可知，影响糙条导流降速综合效果的因子重要性由大到小排序为糙条相对高度＞糙条长度＞糙条角度＞糙条厚度＞糙条高度比＞糙条间距，糙条相对高度、糙条长度和糙条角度位列前 3，其他 3 个因子的大小对糙条导流降速综合效果的影响较小，排名相对靠后，这表明设计糙条厚度、高度比和间距时，可以结合工程设计和当地施工要求确定最终值。

表 5　极差分析

Tab. 5　Range analysis

水平	H	ξ	d	α	t	L
1	0.422	0.555	0.476	0.417	0.533	0.404
2	0.468	0.464	0.493	0.492	0.424	0.510
3	0.578	0.449	0.499	0.559	0.511	0.554
D_{Delta}	0.155	0.106	0.022	0.142	0.108	0.150
排秩	1.000	5.000	6.000	3.000	4.000	2.000

注：D_{Delta} 为每个因子的最大平均响应值与最小平均响应值之差。

4.3　主效应分析

通过绘制每个因素水平的特征平均值来建立主效应图，将各因素水平的响应均值由一条线连接在一起，通过比较线段的斜率来判断某个因素是否存在主效应[13]，各因素主效应线见图 5。由图 5 可知，糙条相对高度、糙条长度和糙条角度主效应线斜率较大，三者均与相对接近度成正比，表明对糙条导流降速综合效果存在明显主效应，随着糙条相对高度的增加，相对接近度呈现逐渐增大的趋势，并在糙条相对高度为 $0.8h_1$ 时达到最大，考虑是由于较大的糙条相对高度可以增加水流与糙条的接触面积，进而起到良好的导流降速效果。当糙条长度较大时，可以更大程度上将原先大量聚集在凹岸的水流导向流道中心和凸岸，提升导流效果，同时，水流受阻范围变广，与糙条相对高度类似，通过水流与糙条的大面积摩擦进而大幅度降低流速。糙条角度与相对接近度成正比，糙条角度越大，糙条对弯道水流的导向作用越强，对水流的导流降速作用越好。糙条厚度在大

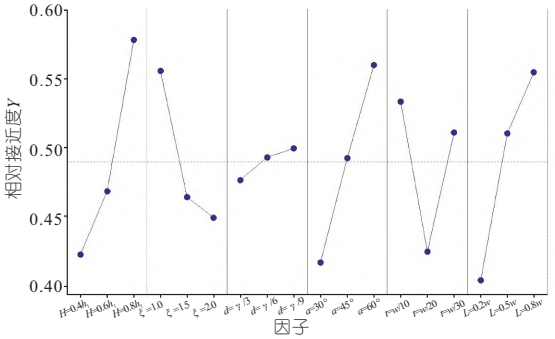


图 5　主效应图

Fig. 5　Main effect diagram

中国知网　https://www.cnki.net

于 $w/20$ 后，随着糙条厚度的增加，水流与糙条充分作用，提升了相对接近度。糙条高度比与相对接近度成反比，糙条高度比为 1.0 时，相对接近度最大，这表明在曲线型退水渠内糙条凹凸岸高度相等时，导流降速效果最佳。随着糙条间距的增加，糙条的数量减少，相对接近度越小，再次验证了布置糙条的必要性。

4.4 较优布置型式验证

4.4.1 评价指标对比

为验证较优布置型式的可靠性，将无糙条和较优布置型式方案下的水面差离散系数、出口平均流速和相对接近度进行对比，结果见图 6。由图 6 可知，较优布置型式方案下的水面差离散系数(0.771)、出口平均流速(0.861)、相对接近度(0.812)较无糙条方案分别提升了 0.450、0.603、0.521，曲线型退水渠水流的导流效果、降速效果、导流降速综合效果得到明显改善，这表明较优布置型式下的糙条在导流降速方面表现较好。

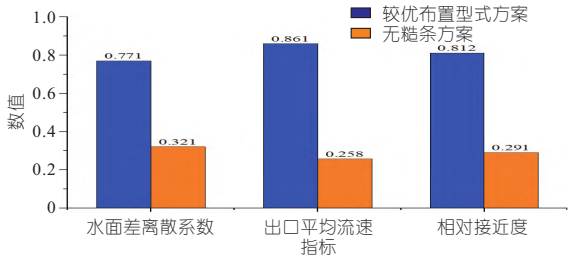


图 6 较优布置型式、无糙条方案下各评价指标对比

Fig. 6 Comparison of each evaluation index under scheme of better layout type and without rough-strip energy dissipator

4.4.2 水面线分析

图 7 为无糙条和较优布置型式方案下的水面线分布情况。由图 7 可知，与无糙条方案相比，曲线型退水渠内增设糙条后，沿程最大水深由 3.357 m 降至 1.620 m，降幅达到了 51.74%，在糙条导流降速作用的加持下，整体水流结构得以重分布，波动程度较无糙条时减小，原来大量聚集在凹岸的水流向弯道内其他水深较浅的部分转移、扩散，水流分布的均匀度增加，导致各断面整体水深降低，弯道内整体流态趋于平缓，达到了优化水流流态的目的。

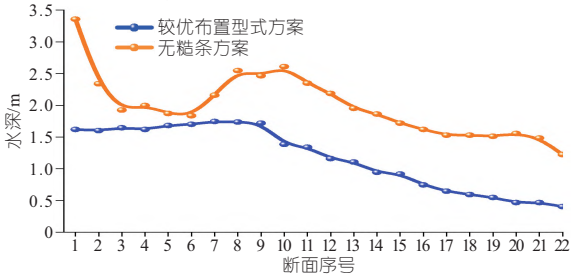


图 7 较优布置型式、无糙条方案下水面线对比

Fig. 7 Comparison of the water surface line under scheme of better layout type and without rough-strip energy dissipator

5 结论

a. 与降速效果相比，糙条对曲线型退水渠水流的导流效果更显著。

b. 糙条导流降速综合效果对糙条长度和糙条相对高度的变化更敏感。

c. 较优布置型式(糙条长度为 $0.8w$、糙条相对高度为 $0.8h_1$、糙条角度为 60°、糙条高度比为 1.5、糙条间距为 $\gamma/9$、糙条厚度为 $w/30$)下，导流降速综合效果较无糙条方案提升了 0.521。

参考文献：

[1] DENG J, WEI W R, DUAN H F. Pressure reduction in plunge pools by triangular wedges at high-head overfall spillways[J]. Proceedings of the institution of civil engineers-water management, 2021, 175(2): 78-88.

[2] 张玉萍. 弯道水力学研究现状分析[J]. 武汉水利电力大学学报, 2000, 33(5): 35-39, 80.

[3] 宋志尧. 罗索夫斯基弯道环流公式的统一[J]. 水科学进展, 2003, 14(2): 218-221.

[4] 杨焘铭, 王志国, 张才杰, 等. 弯道水流对桥墩下游水流流态的影响与改进[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2024, 22(6): 1205-1213.

[5] ZHANG Q H, DIAO Y F, ZHAI X T, et al. Experimental study on improvement effect of guide wall to water flow in bend of spillway chute[J]. Water science and technology, 2016, 73(3): 669-678.

[6] YANG J M, ZHANG J, ZHANG Q H, et al. Experimental research on the maximum backwater height in front of a permeable spur dike in the bend of a spillway chute[J]. Water supply, 2019, 19(6): 1841-1850.

[7] 张桂金. 棱锥体结构对弯道水流的改善与布置参数优化研究[J]. 中国水能及电气化, 2021(6): 43-46.

[8] 贾萍阳, 牧振伟, 李凡琦, 等. 糙条应用于弯段溢洪道内水力特性试验研究[J]. 水电能源科学, 2020, 38(2): 118-121.

[9] ZHANG H H, MU Z W, WANG Y Y, et al. Study on the influencing parameters of rough-strip energy dissipators of curved spillways based on orthogonal tests and numerical simulation [J]. Journal of hydroinformatics, 2023, 25(6): 2128-2160.

[10] 中华人民共和国水利部. 水工(常规)模型试验规程: SL155-2012[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.

[11] 王艳, 车航宇, 解豪, 等. 水工清水镜面混凝土表观

中国知网 https://www.cnki.net

质量评价方法研究[J/OL]. 土木工程学报. https://doi.org/10.15951/j.tmgcxb.24100823.
[12] 杨卓媛,黄宇云,夏函,等. 水利新质生产力评价方法及应用[J]. 水资源保护,2025,41(1):92-98,169.
[13] 樊帆. 溢洪道弯段糙条消能工布置参数优化研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2022.

Experimental Study on Optimization of Rough-strip Energy Dissipator Arrangement of Curvilinear Recession Channel Based on Entropy Coefficient-TOPSIS Method

GONG Yin-xin[1,2], ZHANG Hong-hong[1,2], MU Zhen-wei[1,2], SUN Rong-shuang[1,2], LI Qi[1,2], LIU Xin-wei[1,2]
(1. College of Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Xinjiang Key Laboratory of Hydraulic Engineering Security and Water Disasters Prevention, Urumqi 830052, China)

Abstract: The rough-strips have a dual effect of guiding the flow and reducing the speed of the water in the curved receding channel. In order to investigate the optimal arrangement type of the rough-strip energy dissipator (R-SED) in the curved recession channel, a multi-objective evaluation system is established based on entropy coefficient-topsis method. The length of R-SED, the relative height of R-SED, the angle of R-SED, the height ratio of R-SED, the spacing of R-SED and the thickness of R-SED that affect the effect of R-SED on diversion and speed reduction are selected as the factors. Each of them is set up at three levels, with the effect of diversion and speed reduction measured as the response variable. The integrated measure of speed reduction effect was taken as the response variable, and the orthogonal test method was used for statistics. The results show that the speed reduction effect of the R-SED on the water flow of the curved receding channel is better than the effect of flow diversion; The relative height of R-SED, the length of R-SED and the angle of R-SED are the significant factors affecting the speed reduction effect of R-SED; The importance of the factors affecting the speed reduction effect of the R-SED's flow diversion is as follows: the relative height of R-SED>the length of R-SED>the angle of R-SED>the thickness of R-SED>the height ratio of R-SED>the spacing of R-SED; The preferred arrangement type of R-SED is as follows: the length of R-SED is $0.8w$, the relative height of R-SED is $0.8h_1$, the angle of R-SED is 60°, the height ratio of R-SED is 1.5, the spacing of R-SED is $\gamma/9$, and the thickness of R-SED is $w/30$. Under this type, the flow conductivity effect, speed reduction effect, and the combined effect of speed reduction and conductivity of the curvilinear receding channel are improved by 0.450, 0.603, and 0.521 respectively compared with the condition without R-SED. The research results can provide reference for similar energy dissipator research.

Key words: rough-strip; bend flow; entropy-weight TOPSIS method; multi-objective evaluation system; discrete coefficient of water surface difference

(上接第 190 页)

Energy Efficiency Analysis of "Fixed Frequency+Frequency Conversion" Constant Pressure Water Supply

HU Da-ming[1], CHEN Jia-zhong[2], ZHAO Ke-hui[2], SHANG Yu-jun[3], CUI Hong-jun[4], GUO Xiao-bao[5], WANG Tong[2]
(1. China Water Huaihe Planning and Design Research Co., Ltd., Hefei 230041, China; 2. Key Laboratory of Water Supply and Drainage, Ministry of Housing and Urban-Rural Development, Chang'an University, Xi'an 710061, China; 3. PowerChina Northwest Engineering Corporation Limited, Xi'an 710065, China; 4. Shanghai Kent Instrument Co., Ltd., Shanghai 201505, China; 5. Chinaust Plastics Corp., Ltd., Zhuozhou 072761, China)

Abstract: Variable frequency water supply has the advantages of energy saving, reliability and flexibility, and is the main mode of secondary water supply. When the pumps run in parallel in the single frequency conversion control mode, the fixed speed pump runs at the end of the power frequency in the high-efficiency area, which is at the lowest point in the high-efficiency area, and there is a transitional inefficiency zone in the operation of the inverter pump. However, there is an overlap phenomenon in the high-efficiency area of the parallel operation of the number of adjacent pumps, and there is a difference in the efficiency value of the number of adjacent pumps in the overlapping area, so there is still some room for optimization of the frequency conversion control mode of the pump unit. Based on this, the "fixed frequency + frequency conversion" control mode was proposed. The modification characteristic curve and energy efficiency of the variable frequency constant voltage of the pump were analyzed by using the mathematical solution method. The switching pump points and operating intervals of the four frequency conversion control modes of "traditional single frequency conversion", "front-cut full inverter", "back-cut full inverter" and "fixed frequency + inverter" were compared. The energy efficiency level of the four modes was simulated and analyzed from the two dimensions of the full flow efficiency of the pump and the total daily power consumption (according to the shaft power meter) in combination with the case community data. The results show that compared with the other three control methods, the efficiency of the pump at most working conditions has been improved to varying degrees, and the maximum daily total power consumption (according to the shaft power meter) can be reduced by up to 12.9%, which has certain energy-saving potential.

Key words: variable frequency constant pressure water supply; digital full inverter; fixed frequency; optimization of working conditions; saveing energy and improvement efficiency

中国知网 https://www.cnki.net