

Ⅱ型和 H 型立柱对排沙漏斗水沙分离性能的影响

李琳,穆卓昀,谭义海

(新疆农业大学水利与土木工程学院,新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要:为获取不同立柱体型对排沙漏斗水沙分离性能的影响规律,通过室内试验对不加设立柱、加设Ⅱ型和 H 型立柱支撑系统的排沙漏斗水沙分离性能进行研究。试验结果表明:无立柱时空气涡贯穿排沙底孔,涡径最大,清水区面积最大,漏斗室内的螺旋流强度最大;加设Ⅱ型立柱后空气涡产生偏移,涡径减小,清水区面积减小,漏斗室内的螺旋流强度减小;H 型立柱下空气涡偏移距离最大,涡径最小,清水区面积最小,漏斗室内的螺旋流强度最小。相较于加设 H 型立柱,Ⅱ型立柱支撑系统下排沙漏斗的总截除率、泥沙排出率、漏斗室内淤积量、排沙耗水率与悬板下方不加设立柱时相近,为保证悬板安全及较高的截除率,可采用Ⅱ型立柱作为支撑体型。

关键词:排沙漏斗;溢流悬板;模型试验;立柱体型;水沙分离

中图分类号:TV149.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2021)05-0008-07

Influence of II and H-type stand columns on flow and sediment separation performance in a vortex settling basin// LI Lin, MU Zhuoyun, TAN Yihai | (College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: In order to obtain the influence law of stand column types on flow and separation performance in a vortex settling basin (VSB), VSBs without column support system, with II-type and VSB H-type stand columns were studied by model experiments respectively. The results show that in the case without columns, the air core penetrates through the flushing bottom with the largest air core diameter, the maximal clean water area and the strongest spiral flow intensity. The air core offsets the flushing bottom after the installation of II-type columns, leading to smaller air core diameter, clean water area reduction and lower spiral flow intensity. The offset distance of air core is the largest after installation of type-H columns, leading to the smallest air core diameter, minimum clean water area and weakest spiral flow intensity. Compared with H-type columns, the sediment trapping efficiency, flushing efficiency, sediment deposition in the basin, water abstraction ratio under the II-type column system are similar to those without columns under deflector. II-type columns can be used as the support body shape to ensure the safety of the deflector and a higher sediment trapping efficiency.

Key words: vortex settling basin; deflector; model experiments; stand column types; flow and sediment separation

在西北内陆地区的多沙河流域,常常需要在灌区引水干渠、水库、水电站上游修建二级排沙设施如排沙漏斗^[1]、多级斜板式水沙分离装置^[2]、梭椎管浑浊流体分离装置^[3,4]等对泥沙进行预处理,以减小泥沙给农业生产和水利工程带来的危害^[5]。排沙漏斗是一种利用三维立轴螺旋流实现水沙分离的二级排沙设施,它主要由有压进水涵洞、悬板、漏斗室、溢流侧槽和排沙底孔组成,含沙水流自切向进水涵洞进入漏斗室内,经过旋流分离后表层含沙量较低的“清水”经悬板溢出,沉入池底的泥沙经漏斗室中心的排沙底孔排出,如图 1 所示。多年应用实践证明排沙漏斗具有泥沙截除率高、排沙耗水率低、无需人工清淤和占地面积小等优点^[6-7]。悬板是排沙漏斗成功应用于泥沙处理的关键构件^[8-9]。在处理悬移质泥沙的排沙漏斗中,为了尽可能不影响排沙漏斗的流场特性,悬板外侧由漏斗侧墙固定,内侧由斜拉绳索固定。但在实际工程中出现了固定斜拉绳索的倒塌致使悬板塌落破坏的事故,如陕西泾惠渠排沙漏斗工程 and 新疆喀什一级电站排沙漏斗工程。为了解决悬板系统塌落的问题,工程中采用了在悬板下部并排设置多根钢管立柱系统支撑悬板^[10],该方法在实践中虽然满足了结构安全的要求,但未考虑立柱

基金项目:国家自然科学基金(52069028);新疆维吾尔自治区高校科研计划(XJEDU2018J010);新疆维吾尔自治区研究生科研创新项目(XJ2020G171)

作者简介:李琳(1979—),女,教授,博士,主要从事水力学及河流动力学研究。E-mail: lilin_xjau@163.com

系统及其体型对排沙漏斗水沙分离性能的影响。

国内外学者从 20 世纪 50 年代开始以提高排沙漏斗截除率、降低排沙耗水率为目标对排沙漏斗几何结构与流量等水力要素之间的相关关系开展了系统试验研究。Salakhov^[11]、Paul 等^[12]和 Athar 等^[13]指出排沙漏斗较其他水沙分离装置更高效、节水和经济,同时给出了各个设计尺寸与截除率之间的经验关系式。Amin 等^[14]证明了布置曲线型淹没叶片在不降低截除率的前提下可有效减少漏斗室内的淤积量。吴洋锋等^[15]、王平圆等^[16]调整了溢流悬板的倾斜角度,得到悬板倾角的改变在不影响排沙漏斗截除率的情况下可有效减小悬板上及漏斗室内锥底的泥沙淤积质量。同时,为了探明不同结构体型下排沙漏斗的水沙分离机理,研究人员通过试验研究和数值模拟方法对排沙漏斗的流场特性开展深入研究。如 Chapokpour 等^[17]、邱秀云等^[18]对排沙漏斗二维、三维流场进行测试,分析了排沙漏斗的时均流特性和紊流特性及其对输沙的影响。肖柏青等^[19-20]模拟了排沙漏斗内的水气沙三相流,全面了解了排沙漏斗的流场结构信息,验证了二次流是排沙漏斗实现高效排沙的关键。Huang 等^[21]模拟了排沙漏斗室内流场结构的分布情况,发现空气涡的稳定程度及附近存在的震荡现象是优化排沙漏斗水沙分离效果的重要条件。李琳等^[22]对悬板不同开孔方式的清水流场特性开展了研究,并基于清水流场试验结果得出了仅在非溢流区布孔时悬板上的淤积量和排沙漏斗的水沙分离性能优于整个悬板上均匀布孔的结论。综上可知,目前国内外尚未有关于悬板立柱支撑系统对排沙漏斗水沙分离性能影响的相关研究报道。为弄清楚立柱系统体型对排沙漏斗水沙分离性能的影响,笔者通过浑水模型试验分析了悬板下方无立柱支撑、加设Ⅱ型及 H 型立柱支撑系统后排沙漏斗在不同进流量与含沙量下的水沙分离性能,获得Ⅱ型和 H 型立柱系统对排沙漏斗的总截除率、排沙耗水率、漏斗室内淤积量及空气涡直径等重要指标的影响规律,为实际工程中立柱支撑系统的立柱体型设计提供依据。

1 试验装置及设计

1.1 试验模型与装置

排沙漏斗模型采用厚度为 6 mm,糙率为 0.007 ~ 0.008 的不锈钢制作。按照设计流量为 1.70 L/s 进行排沙漏斗尺寸设计,漏斗直径为 1.0 m,进水涵洞高为 50 mm,宽为 200 mm,锥底坡度为 1:5,溢流悬板位于进水涵洞洞顶以上 46 mm,溢流悬板宽 200 mm,圆心角为 180°,排沙底孔直径 (D_f) 为 18 mm,模型结构如

图 1(a) 所示。试验选取的进流量分别为 0.85 L/s、1.05 L/s、1.40 L/s 和 1.70 L/s。试验系统布置如图 1(b) 所示,为了保证试验过程中排沙漏斗进口的含沙量基本不变,整个试验装置为自循环系统。水沙混合物在体积为 10 m³ 的搅拌池中经 5 个搅拌泵搅拌均匀后,通过浑水水泵泵入具有恒定水位的水箱,水箱与排沙漏斗的进水涵洞相连,水沙混合物进入排沙漏斗后分别经过溢流侧槽和排沙底孔进入量水堰中,从量水堰直接溢流进搅拌池内。

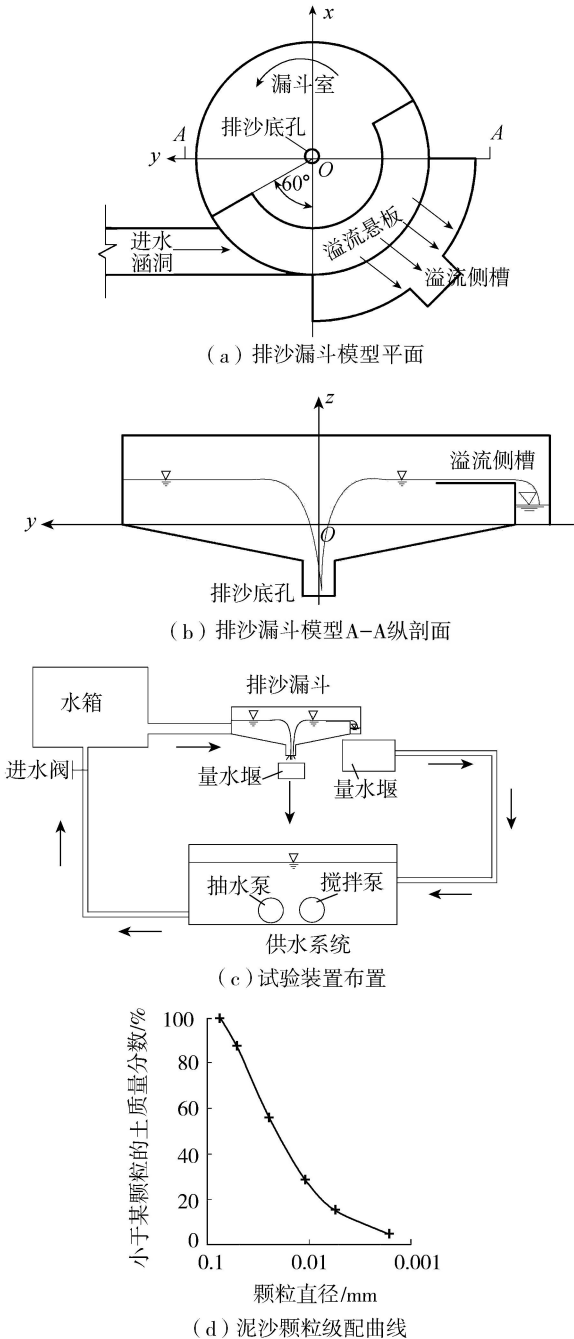


图 1 试验装置示意及泥沙级配曲线

试验沙选用天然沙,其密度为 2650 kg/m³,图 1(c) 为泥沙颗粒级配曲线,泥沙粒径不超过 0.075 mm。本试验搅拌池内配置的浑水含沙量分别为 3.0 kg/m³、

5.0 kg/m³和8.0 kg/m³。试验开始前先进行输沙平衡检验,当进、出口输沙率之差不超过±1%时开始试验。每组工况运行2 h,每间隔30 min 采样1次。在进口、溢流口、排沙底孔处进行采样,应用置换法原理^[23]量测进口、溢流口、排沙底孔的含沙量 S_w 、 S_o 、 S_d 。每组试验采集数据3次,取平均值。置换法相较于烘干法节省了试验时间,且计算结果与烘干法相比误差不超过±3.5%,满足试验精度要求。量测进口、溢流出口和排沙底孔的流量 Q_w 、 Q_o 、 Q_d 。根据式(1)计算排沙耗水率 μ ;根据式(2)计算泥沙总截除率 η ;根据式(3)计算漏斗室内的淤积百分数 δ ;根据式(4)计算泥沙排出率 ζ 。

$$\mu = \frac{Q_d}{Q_w} \times 100\% \quad (1)$$

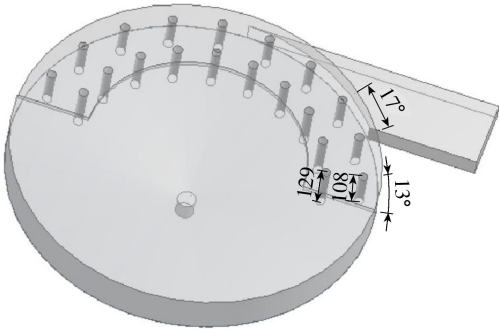
$$\eta = \left(1 - \frac{Q_o S_o}{Q_w S_w}\right) \times 100\% \quad (2)$$

$$\delta = \eta - \frac{Q_d S_d}{Q_w S_w} \times 100\% \quad (3)$$

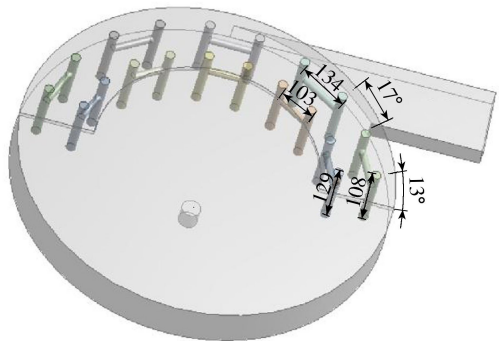
$$\zeta = \frac{Q_d S_d}{Q_w S_w} \times 100\% \quad (4)$$

1.2 立柱体型

为便于立柱的拆卸与安装,采用直径为8 mm 的亚克力圆管加工制作立柱。参考已建排沙漏斗工程悬板立柱支撑系统的设计方案,在排沙漏斗模型的悬板下方分别布置了Ⅱ型和 H 型立柱系统,其布置方案如图2所示。方案2在悬板下方沿环向并排布置2排立柱,称其为Ⅱ型立柱,其内侧立柱高度为



(a) 方案2



(b) 方案3

图2 立柱布置体型 (单位:mm)

129 mm,位于 $r/R = 0.7$ 处,外侧立柱高度为108 mm,位于 $r/R = 0.9$ 处, r/R 为立柱中心所处的径向坐标与漏斗室半径的比值;方案3在悬板下方布置了 H 型立柱,除了立柱的体型与方案2不同外,其他尺寸及布置方案均与方案2相同,具体布置体型如图2所示。

2 评价指标

为获得立柱体型对排沙漏斗水沙分离性能的影响,采用以下指标对其影响进行评价:

$$D_1 = \eta_i - \eta_0 \quad (5)$$

$$D_2 = \delta_i - \delta_0 \quad (6)$$

$$D_3 = \mu_i - \mu_0 \quad (7)$$

$$D_4 = \zeta_i - \zeta_0 \quad (8)$$

式中: D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 分别为不同立柱体型下排沙漏斗的总截除率、漏斗室内淤积百分数、排沙耗水率、泥沙排出率相较于不加立柱支撑时相应变量的变化情况; η_0 、 δ_0 、 μ_0 、 ζ_0 分别为不加立柱支撑时的总截除率、室内淤积百分数、排沙耗水率、泥沙排出率; η_i 、 δ_i 、 μ_i 、 ζ_i 分别为悬板下方加设立柱后排沙漏斗的总截除率、室内淤积百分数、排沙耗水率、泥沙排出率。

3 试验结果与分析

3.1 试验现象

图3为进流量等于设计流量,即 $Q_w = 1.7 \text{ L/s}$ 、含沙量 $S_w = 5 \text{ kg/m}^3$ 时不同方案下排沙漏斗室内的水沙运输现象。从图中可以看出,各方案下漏斗室中心区域的表面均出现了清浑交界线,交界线内区域的水流含沙量明显低于交界线外区域的水流含沙量。各工况下的清浑交界线位置如表1所示。定义



(a) 方案1



(b) 方案2



(c) 方案3

图3 $Q_w = 1.70 \text{ L/s}$ 、 $S_w = 5 \text{ kg/m}^3$ 时不同方案下的水沙运输现象

表 1 不同进流量、含沙量下各方案的清浑交界线位置

流量/ (L · s ⁻¹)	r_m/R_m								
	方案 1			方案 2			方案 3		
	3 kg/m ³	5 kg/m ³	8 kg/m ³	3 kg/m ³	5 kg/m ³	8 kg/m ³	3 kg/m ³	5 kg/m ³	8 kg/m ³
0.85	0.26	0.25	0.23	0.17	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11
1.05	0.29	0.28	0.27	0.21	0.20	0.19	0.16	0.15	0.14
1.40	0.31	0.31	0.30	0.23	0.23	0.21	0.18	0.18	0.17
1.70	0.34	0.34	0.32	0.26	0.26	0.25	0.20	0.20	0.19

r_m/R_m 为清浑交界线所处的径向位置与漏斗室半径的比值。方案 1、2、3 在 $Q_w = 1.70\text{ L/s}$ 、 $S_w = 5\text{ kg/m}^3$ 时的清浑交界线分别位于 $r_m/R_m = 0.34$ 、 0.26 、 0.20 处,显然,方案 3 的清水区域范围最小。这是由于漏斗室中心所形成的三维立轴螺旋流主要是由排沙漏斗柱壁附近形成的强迫涡和靠近漏斗室中心的自由涡耦合而成。清水区位于以空气涡为中心的自由涡区,该区域螺旋流合速度大,将底孔附近区域的泥沙由排沙底孔带出,使该区域含沙量降低,出现清水区。清水区面积与自由涡环流强度成正比,与无立柱支撑悬板的方案 1 相比,方案 3 的自由涡环流强度最小。这主要是在 H 型立柱的阻碍下方案 3 的强迫涡旋流速度显著减小,由其诱导而生的自由涡强度也随之减弱。

空气涡稳定贯穿排沙底孔是保证排沙漏斗较高截除率和较低排沙耗水率的重要前提,当空气涡随流摆动或者偏离底孔距离较大时截除率降低,排沙耗水率增大。试验观测了方案 1、2、3 中的空气涡,并用偏移距离 Q_f 来反映空气涡的位置, O_f 定义为空气涡中心与排沙底孔中心的间距, $O_f = 0$ 代表空气涡中心与排沙底孔中心重合,此时空气涡贯穿排沙底孔,底孔实际过水断面的面积最小,空气涡最为稳定^[24]。从表 2 可以看出,方案 1 的 O_f 均为 0,方

案 2 和 3 在各进流量和含沙量下空气涡均产生了偏移,且方案 3 各个工况下的 O_f 值均大于方案 2。悬板下方加设立柱支撑系统后,立柱对流体施加的径向作用力使空气涡向无悬板一侧移动,从而偏离了排沙底孔。从不同立柱体型的空气涡偏移距离大小可以看出,相较于 II 型立柱干扰了流体的径向环流运动,H 型立柱的横杆还对漏斗室内的横向环流产生影响,使得 H 型立柱支撑系统的约束作用大于 II 型立柱,故其引起的空气涡偏移距离较大。

试验结果表明:在方案 2 和方案 3 中空气涡的偏移距离不仅与立柱体型有关,还与漏斗的进流量大小有关。当进流量小于设计流量时,切向速度减小,离心惯性力作用减弱,在立柱系统施加于水流的径向阻力作用下空气涡偏移距离增大。如 $S_w = 5\text{ kg/m}^3$ 时,进流量由 1.70 L/s 减小至 0.85 L/s 时,方案 2 和方案 3 的 O_f 分别增大了 2.5 倍、1.88 倍。从表 2 中还可以看出,本试验条件下含沙量变化对 O_f 没有影响,含沙量在一定范围内变化时不会影响排沙漏斗室内的空气涡的稳定性。

3.2 立柱体型对排沙漏斗水沙分离性能影响结果

不同工况下漏斗室中心的空气涡涡径值见表 3。由此可以看出,各级流量和含沙量下方案 1 的空气涡涡径最大,方案 2 次之,方案 3 最小。当进流

表 2 不同进流量、含沙量下各方案的空气涡偏移距离

流量/ (L · s ⁻¹)	r_m/R_m								
	方案 1			方案 2			方案 3		
	3 kg/m ³	5 kg/m ³	8 kg/m ³	3 kg/m ³	5 kg/m ³	8 kg/m ³	3 kg/m ³	5 kg/m ³	8 kg/m ³
0.85	0	0	0	6.5	6.5	6.5	9.0	9.0	9.0
1.05	0	0	0	5.0	5.0	5.0	7.5	7.5	7.5
1.40	0	0	0	3.7	3.7	3.7	6.2	6.2	6.2
1.70	0	0	0	2.6	2.6	2.6	4.8	4.8	4.8

表 3 不同进流量、含沙量下各方案的空气涡涡径值

流量/ (L · s ⁻¹)	r_m/R_m								
	方案 1			方案 2			方案 3		
	3 kg/m ³	5 kg/m ³	8 kg/m ³	3 kg/m ³	5 kg/m ³	8 kg/m ³	3 kg/m ³	5 kg/m ³	8 kg/m ³
0.85	2.67 D_f	2.67 D_f	2.60 D_f	2.50 D_f	2.50 D_f	2.44 D_f	2.39 D_f	2.39 D_f	2.33 D_f
1.05	2.78 D_f	2.78 D_f	2.72 D_f	2.64 D_f	2.64 D_f	2.59 D_f	2.58 D_f	2.58 D_f	2.51 D_f
1.40	2.83 D_f	2.83 D_f	2.79 D_f	2.75 D_f	2.75 D_f	2.72 D_f	2.67 D_f	2.67 D_f	2.63 D_f
1.70	2.94 D_f	2.94 D_f	2.92 D_f	2.86 D_f	2.86 D_f	2.83 D_f	2.72 D_f	2.72 D_f	2.70 D_f

量等于设计流量,即 $Q_w = 1.70 \text{ L/s}$, $S_w = 5 \text{ kg/m}^3$ 时,方案2、方案3的空气涡径分别比方案1减小了2.72%、7.48%;当进流量为设计流量的一半,即 $Q_w = 0.85 \text{ L/s}$, $S_w = 5 \text{ kg/m}^3$ 时,方案2、方案3的空气涡径分别比方案1减小了6.37%、10.49%。空气涡径与自由涡强度呈正相关,由于排沙底孔中心区的自由涡是由柱壁附近的强迫涡诱导产生,强迫涡强度越大。自由涡强度越大,空气涡径越大;反之,涡径越小^[22]。进流量相同保证了携沙水流进入漏斗室时的切向流速相同,由空气涡减小幅度可知Ⅱ型立柱和H型立柱对涡流强度均有削弱作用,但H型立柱削弱作用显著。

从表3还可以看出,流量固定、含沙量增大时各方案下的空气涡径略有减小,含沙量增大引起流体黏性增大,使涡旋运动的速度环量减小,涡流强度减小,但本试验含沙量范围下空气涡径减幅较小,表明含沙量在一定范围内对其影响可忽略不计。含沙量不变,空气涡径随流量增大而明显增加。这与漏斗室内涡流特征有关,流量增大,进流切向速度增大,外区的强迫涡和中心区的自由涡强度随之增大,空气涡径增大,漏斗室内的螺旋流强度增强。

图4为不同方案下排沙漏斗运行2h后泥沙在漏斗室底板上的淤积情况。明显看出,方案1、方案2和方案3中悬板表面和漏斗室底板的淤积形态各不相同。方案1、方案2、方案3中悬板表面上的淤积波纹、波峰依次减小。方案1在旋流作用下漏斗室底板床面形成了沿环向波状起伏的形态,且在二次流的作用下床面沿着径向形成了弯曲的冲沟,冲沟径向延伸至排沙底孔附近;但方案2沿环向的床面形态变化较缓、冲沟浅且径向曲率小;方案3沿环向床面形态无波状起伏,径向上无冲沟,虽然可以看到边墙附近至底孔附近的径向冲痕,但这是漏斗停止运行后水流自底孔自由出流时形成的。以上结果表明方案1、方案2、方案3中漏斗室近底区的水流紊动强度和紊动切应力依次减小,二次流挟沙力减弱。

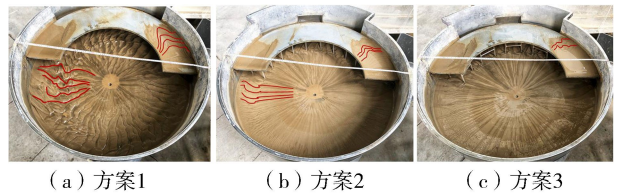


图4 $Q_w = 1.70 \text{ L/s}$ 、 $S_w = 5 \text{ kg/m}^3$ 时运行2h后不同方案下漏斗室内泥沙的淤积情况

图5为不同方案下 D_1 的变化情况。从图中可以看出,不同立柱体型在各级流量及含沙量下 D_1 均小于0,表明在方案2和方案3下,排沙漏斗的总截除率相较于方案1有所减小,方案3总截除率的减

小幅度在各工况下均较方案2大,最大减小了4.2% ($Q_w = 0.85 \text{ L/s}$ 、 $S_w = 3 \text{ kg/m}^3$ 时)。由于漏斗室内的螺旋流强度影响装置的截沙效果,布置立柱系统之后空气涡直径减小,即空气涡影响范围减小,漏斗室内的螺旋流速度减小,水流径向输移作用减弱,泥沙无法进入螺旋流区域便随溢出水流逃逸,使排沙漏斗的总截除率减小。从图5还可以看出,含沙量不变,排沙漏斗的进流量由 0.85 L/s 增大至设计流量 1.7 L/s 时,方案2、方案3的 D_1 均增大,表明加设Ⅱ型和H型立柱后排沙漏斗的总截除率逐渐接近无立柱方案,这是由于进流量增大,漏斗室内携沙水流的离心惯性力随着螺旋流的增大而增强,故而总截除率增大。

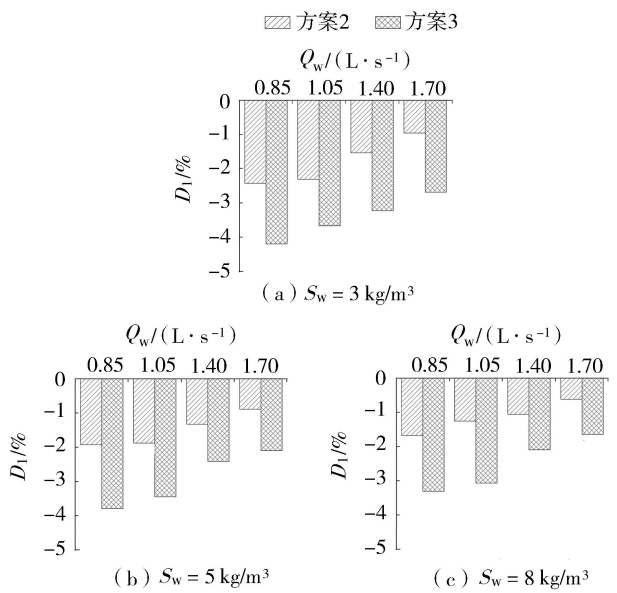


图5 不同立柱体型时的评价指标 D_1

图6为不同进流量及含沙量下 D_2 在不同方案的变化情况。从图中可以看出相较于方案1,方案2

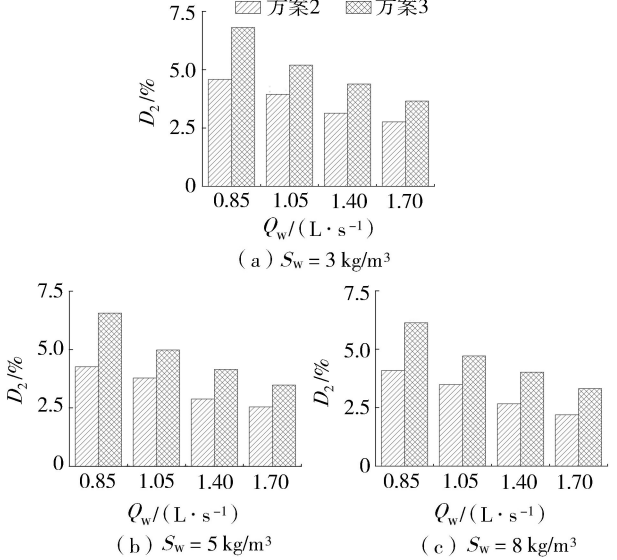


图6 不同立柱体型时的评价指标 D_2

和方案3的 D_2 均大于0,即加设立柱会使得漏斗室内的泥沙淤积量增大。试验发现,方案3的漏斗室内泥沙淤积在各级流量和含沙量下均较方案2大,其中最大增加了6.8% ($Q_w=0.85\text{ L/s}$ 、 $S_w=3\text{ kg/m}^3$ 时)。二次流是排沙漏斗实现高效排沙的关键,二次流速度越小,泥沙径向输移作用越弱。试验结果表明悬板下方加设立柱系统后漏斗室内的螺旋流速度和二次流速度均减小,使得方案2和方案3漏斗室的泥沙淤积量均大于方案1。携沙水流在绕过方案3的横杆时会消耗比方案2更多的时均动能,使其漏斗室的合速度小于方案2,径向输移作用明显减弱,泥沙更易淤积在漏斗室内,不易进入螺旋流区域,而无法从底孔排出。同时,当含沙量不变,随着进流量的增大,各方案的 D_2 变小,这是因为进流量增加,螺旋流速度增强,漏斗室内的紊动强度增大,泥沙淤积减小。当流量相同时,含沙量对 D_2 的影响很小。

图7为不同方案下排沙漏斗的 D_3 变化情况。由图可知,各立柱体型在各级流量、含沙量下的 D_3 值均大于0,即悬板下方加设立柱系统会增大排沙耗水率,且同一进流量及含沙量下,方案2的排沙耗水率小于方案3。方案3的排沙耗水率最大增加了4.32%,方案2最大增加了4.01% ($Q_w=0.85\text{ L/s}$ 、 $S_w=8\text{ kg/m}^3$ 时)。空气涡的稳定程度决定了排沙耗水率的大小,悬板下方加设立柱后造成空气涡偏移底孔中心,偏移距离越大时空气涡的贯穿性越差,底孔过水面积增大,耗水率升高。由表2可知,当含沙量不变,随着流量的增大,水流运动的惯性越强,各方案下 D_3 随着流量的增大而减小。当流量相同,随着含沙量的增大,泥沙颗粒的黏滞力越强,携沙水流的运动需要消耗更多能量,漏斗室内的螺旋流强度随着含沙量的增大而减小, D_3 随着含沙量的增大而增大。

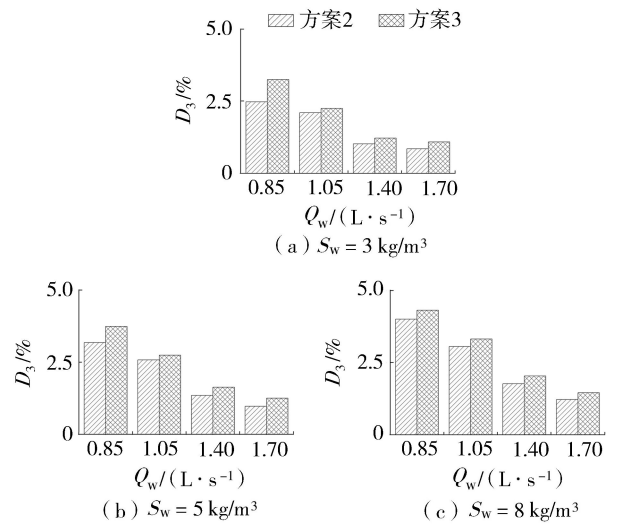


图7 不同立柱体型时的评价指标 D_3

图8为不同方案下排沙漏斗的 D_4 变化情况。由图可知, D_4 的值均小于0,表明悬板下方加设立柱系统后会降低经底孔排出的泥沙量,同一进流量及含沙量下,方案2的泥沙排出率大于方案3。相比无立柱支撑系统的方案1,方案3的泥沙排出率最大减小了11% ($Q_w=0.85\text{ L/s}$ 、 $S_w=3\text{ kg/m}^3$ 时)。这是因为泥沙排出率与螺旋流强度的大小有关,由表3可知,方案3的空气涡最小,表明悬板下方加设H型立柱后漏斗室内的螺旋流强度削弱明显。在各级含沙量下,各方案的 D_4 均随着流量增大而增大。二次流强度增大,泥沙排出率升高,逐渐接近无立柱方案。同一流量下含沙量增大,各方案 D_4 均增大,但变幅较小。

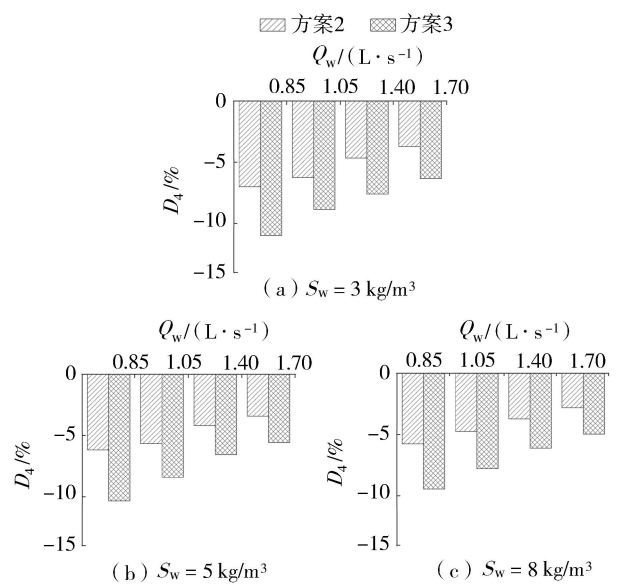


图8 不同立柱体型时的评价指标 D_4

4 结 论

- 加设立柱支撑系统后漏斗室的强迫涡及其诱导产生的自由涡强度均减小,使得漏斗室内的清浑交界线愈靠近漏斗室中心,清水区域范围减小,其中H型立柱支撑系统下排沙漏斗的清水面积最小,漏斗室内自由涡强度最小,Ⅱ型立柱的清水面积介于无立柱系统与H型立柱系统之间。
- 悬板下方无立柱支撑时空气涡稳定性最好,涡径最大,加设立柱系统后产生偏移,Ⅱ型立柱支撑系统下的偏移距离小于H型立柱支撑系统。
- 悬板下方不加设立柱及加设Ⅱ型和H型立柱时总截除率、泥沙排出率依次减小,漏斗室内淤积量、排沙耗水率依次增大。与悬板下方不加设立柱支撑系统相比,Ⅱ型和H型立柱支撑系统下排沙漏斗总截除率最大减幅分别为2.43%和4.2%,室内淤积最大增幅分别为4.58%和6.58%,泥沙排出率

最大减幅分别为 7.01% 和 11%,排沙耗水率最大增幅分别为 4.01% 和 4.32%。

d. 悬板下方加设 II 型立柱支撑在确保悬板安全的前提下,可有效保证悬沙排沙漏斗较高的水沙分离性能,即较高的总截除率、泥沙排出率与较低的排沙耗水率和室内淤积量。研究成果可为排沙漏斗悬板支撑系统优化设计提供参考依据。

参考文献:

[1] 周著,邱秀云,侯杰,等. 漏斗式全沙排沙技术及其应用[J]. 水科学进展, 2001, 12(1): 95-98. (ZHOU Zhu, QIU Xiuyun, HOU Jie, et al. The total sand flushing funnel and application[J]. Advances in Water Science, 2001, 12(1): 95-98. (in Chinese))

[2] 董玉萍,牟献友,文恒. 多级斜板式水沙分离装置试验[J]. 水利水电科技进展, 2013, 33(5): 52-56. (DONG Yuping, MOU Xianyou, WEN Heng. Experimental study on the water-sediment separator with multilevel inclined plates[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2013, 33(5): 52-56. (in Chinese))

[3] 李琳,谭义海,杨海华,等. 梭锥管内锥圈水沙分离机理及锥圈设计参数[J]. 水利水电科技进展, 2013, 33(3): 5-9. (LI Lin, TAN Yihai, YANG Haihua, et al. Water sediment separation mechanism and design parameters of conical circles in shuttle-conical tubes[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2013, 33(3): 5-9. (in Chinese))

[4] 谭义海,李琳,邱秀云,等. 梭锥管内锥圈对水沙分离的影响[J]. 水利水电科技进展, 2011, 31(1): 79-82. (TAN Yihai, LI Lin, QIU Xiuyun, et al. Influence of conical circles in shuttle-conical tube on separation of water and sediment [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2011, 31(1): 79-82. (in Chinese))

[5] 孙东坡,刘明潇,王鹏涛,等. 双峰型非均匀沙推移运动特性及输移规律[J]. 水科学进展, 2015, 26(5): 660-667. (SUN Dongpo, LIU Mingxiao, WANG Pengtao, et al. Movement characteristics and transport laws of the bimodal bed load [J]. Advances in Water Science, 2015, 26(5): 660-667. (in Chinese))

[6] 王芳芳,吴时强,高昂,等. 大古水电站坝前排沙运行方式与排沙漏斗形态[J]. 水利水电科技进展, 2019, 39(2): 51-55. (WANG Fangfang, WU Shiqiang, GAO Ang, et al. Desilting operation modes and sand funnel patterns in front of Dagou Hydropower Station Dam[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2019, 39(2): 51-55. (in Chinese))

[7] 王顺久,周著,侯杰,等. 排沙漏斗的水流特性试验研究及其工程应用[J]. 水利学报, 2002, 33(7): 104-109. (WANG Shunjiu, ZHOU Zhu, HOU Jie, et al.

Experimental study on flow characteristics of the sand funnel and its application [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2002, 33(7): 0104-0109. (in Chinese))

[8] 侯杰,王顺久,周著,等. 全沙排沙漏斗浑水流场特性及输沙规律[J]. 泥沙研究, 2000(6): 63-68. (HOU Jie, WANG Shunjiu, ZHOU Zhu, et al. The sediment fluid flow field characteristics of the sand funnel and its sediment transport law. Sediment Research, 2000(6): 63-68. (in Chinese))

[9] 唐毅,周著,吴持恭. 排沙漏斗三维涡流场脉动特性研究[J]. 水利学报, 2002, 33(2): 17-22. (TANG Yi, ZHOU Zhu, WU Chigong. Study on velocity characteristic of 3-D flow field in sluice funnel [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2002, 33(2): 17-22. (in Chinese))

[10] 韩晓荣. 泾惠渠排沙漏斗悬板事故原因分析及设计更改[J]. 陕西水利水电技术, 2008(1): 37-39. (HAN Xiaorong. Cause analysis and design change of suspended plate of sand funnel in Jinghui River [J]. Shannxi Water Conservancy and Hydropower Technology, 2008(1): 37-39. (in Chinese))

[11] SALAKHOV F S. Rational design and methods of hydraulic calculations of load-controlling water intake structures for mountain rivers [C] // Proceeding of 9th Congress on Irrigation and Drainage. Moscow: [s. n.], 1975.

[12] PAUL T C, SAYAL S K, DHILLON G S. Vortex settling chamber design considerations [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1991, 117(2): 172-189.

[13] ATHAR M, KOTHYARI U C, GARDE R J. Sediment removal efficiency of vortex chamber type sediment extractor [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2002, 128(12): 1051-1059.

[14] AMIN H, MOJTABA S, MEHDI A M. Effects of curvature submerge vane in efficiency of vortex setting basin [J]. Journal of Applied Research in Water and Wastewater, 2014, 2: 80-85.

[15] 吴洋锋,李琳. 排沙漏斗悬板径向坡度对流场影响的试验研究[J]. 南水北调与水利科技, 2018(1): 37-39. (WU Yangfeng, LI Lin. Experimental study on the influence of the radial slope of the suspension plate of the sand funnel on the flow field [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018(1): 37-39. (in Chinese))

[16] 王平圆,李琳,谭义海,等. 排沙漏斗悬板倾角优化试验研究[J]. 水力发电学报, 2020, 39(7): 109-120. (WANG Pingyuan, LI Lin, TAN Yihai, et al. Experimental research on optimization of inclination angle of deflector of vortex settling basin [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2020, 39(7): 109-120. (in Chinese))

(下转第 61 页)