

预沉池中悬移质泥沙运动特性研究

詹 咏¹, 王惠民¹, 曾小为², 张存虎³

(1. 河海大学水文水资源及环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 仪征化纤股份有限公司给排水厂, 江苏 仪征 211900;
3. 运城地区水利局, 山西运城 044000)

摘要 通过模拟斗槽预沉池中泥沙冲淤的试验, 研究了在重力和紊动扩散共同作用下悬移质泥沙运动的有关特性. 解决了实际斗槽运行中存在的泥沙冲淤效果问题, 进而提出相应的运行技术条件和一些必要的工程改进措施, 满足了厂方所要求的斗槽运行功能, 并为实际斗槽运行提供了重要的依据.

关键词 :斗槽; 预沉; 冲沙; 含沙量; 异重流

中图分类号 :TV142 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2000)06-0107-04

从黄河上游取水, 一般水源的净化流程不能适应其含沙量较高的特点, 为了满足净化流程对含沙量的要求, 保证供水水质、水量及供水安全, 必须采用沉淀构筑物去除部分泥沙. 厂方拟定在原取水口附近设置一座斗槽预沉池. 原水在进入水悬式澄清池(原处理构筑物)前, 先通过斗槽预沉池进行粗颗粒泥沙的预沉, 为了达到斗槽预沉对泥沙去除率及最小去除粒径的要求, 必须很好地了解水流中悬移质泥沙运动的有关特性.

1 试验模拟系统

1.1 模型沙的选择

进行斗槽模型试验, 选择模型沙是一个非常重要的问题. 一方面, 模型沙应满足床面糙率相似条件, 另一方面, 又要满足悬移相似和起动相似. 文献[1]对模型沙的选择做了较深入地研究, 经分析和比较, 决定采用经专门处理的精煤粉作为本试验的模型沙. 该模型沙具有比重小, 密度及凝聚力也较小的特点. 测得的模型沙性能指标为: 凝聚力 $C = 0.017 \text{ kg/m}^3$, 内摩擦角 $\varphi = 35^\circ$, 容重 $\varphi_{sm} = (1.400 \sim 1.579) \text{ t/m}^3$, 相对干容重 $\gamma_{om} = (0.80 \sim 0.90) \text{ t/m}^3$, 含水量为 $5\% \sim 10\%$, $d_{50} = 0.03 \sim 0.04 \text{ mm}$. 从而, 保证模型沙的较好活性, 以适应原型床沙冲淤变幅较大的特点.

1.2 斗槽模型系统简介

根据实验场地条件及具体要求, 选用了正态泥沙模型. 由于惯性力和重力都是斗槽中水流运动的重要作用力, 模型试验中所采用的相似准则为弗汝德准则. 斗槽方案为逆流式斗槽, 采用水力冲沙方法排淤, 冲沙长度为 1811.6 cm . 斗槽主体按几何比尺 $\lambda_l = 15$ 严格加工而成, 材料采用硬聚乙烯板, 两端带有进出水装置, 中间设有 8 个取样观测断面, 利用真空取样装置定点取浑水水样. 试验开始将斗槽部分设计为直线形, 在完成了几组冲淤试验后, 对斗槽进行了局部修改, 将斗槽圆弧的曲率变小, 并针对冲沙所存在的问题, 根据能量守恒方程与动量方程提出了在斗槽对称线设置导流墙的冲沙方案. 从而, 大大改善了水力条件, 使冲沙效果得到了明显提高. 斗槽模拟系统如图 1 所示.

模型制成后, 经过清水验证试验, 主要进行了模型糙率测定、模型水流检验. 而模型水流检验包括各级流量下的水流形态、水深、水面比降、流速分布的检验和冲淤时间比尺的检验(冲淤时间比尺是由泥沙运动连续方程式推导而得: $\lambda_{t_2} = \lambda_l^{1/2} / \lambda_{s*} = 3.87 \lambda_{\gamma_0} / \lambda_{s*}$, 式中 λ_{γ_0} 为干容重比尺, λ_{s*} 为输沙能力比尺), 表明流速流态均符合要求, 定量上也基本相似, 一些参数比尺经验证试验加以修正, 保证了本模型从水流相似条件和泥沙

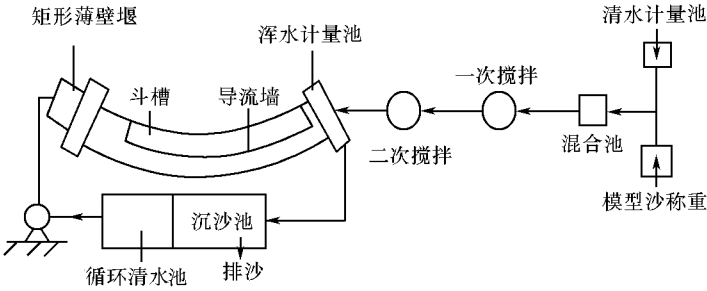


图 1 模拟系统平面示意图

Fig.1 Plane sketch of simulating system

运动相似条件要求的各方面均较好地满足了设计要求.之后,进行了正式试验.研究了不同含沙量、不同水位时泥沙的沿程淤积厚度、含沙量垂直分布等.同时,对泥沙运动的特殊形式异重流也有探讨.试验为兰州铁路局雁滩水厂斗槽预沉和冲沙的生产实践起了重要地指导作用.泥沙去除率为 70%、最小去除粒径为 0.05 mm,达到了该水厂的预期处理要求.

2 含沙量垂直分布

2.1 悬移质泥沙沿垂线分布规律的分析

在悬移质泥沙运动过程中,贯穿着重力作用与紊动扩散作用的矛盾统一^[2 3].重力作用的强弱,与悬移质泥沙的粒径和重率有关,可用悬移质泥沙的沉速 ω 作代表. ω 越大,重力作用越强.紊动扩散作用的强弱,主要与两个因素有关:一个是水流的紊动强度,可暂以铅直方向的水流紊动速度 V 作代表;另一个是泥沙含沙量在垂线分布上的不均匀性,可以沿垂线的含沙量梯度 ds/dy 作代表.此处 y 为距河底的高度, s 为该处的时均含沙量. V 越大, ds/dy 越大,紊动扩散作用就越强.反之, V 越小, ds/dy 越小,即含沙量沿程分布就会均匀一些,紊动扩散作用就越弱.

2.2 试验结果分析

研究表明,距斗槽进口较近处,含沙量沿垂线分布较均匀,交界面附近有明显折点,如图 2 所示.在距斗槽进口较远处,含沙量分布不大均匀,同样在交界面附近有转折点,表示含沙量沿程分布递减.由曲线可知,含沙量越大,断面垂直分布越不均匀,含沙量沿程分布变化越大.

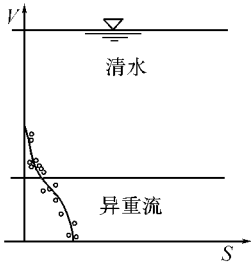


图 2 含沙量沿垂线分布

Fig.2 Vertical distribution of sediment concentration

3 泥沙沿程淤积厚度

本试验根据水厂斗槽设计要求及黄河高浊度水含沙量变化范围,除完成设计含沙量 70 kg/m^3 的试验,还增加了 30 kg/m^3 和 100 kg/m^3 两种情况下的预沉及冲沙试验.同时,针对斗槽运行的实际情况,试验分别按进口断面设计水深 3.0 m 和 4.5 m 来进行.现将设计含沙量 70 kg/m^3 、水深 4.5 m 的预沉试验结果分析如下.

不同水位不同含沙量的沉沙试验,淤积厚度虽然呈现出不同的分布特征,但距进口断面较近处,都有大量泥沙淤积,且淤积厚度沿程递减(斗槽拐弯处泥沙淤积相对增多).高水位淤积厚度比较均匀,且进口淤泥较少,而低水位淤积厚度不太均匀,且进口淤泥较多.将各断面淤泥进行粒径级配分析可知,在第 6 断面可达到水厂斗槽泥沙去除率为 70%,即去除粒径为 0.05 mm 的设计要求.此时,泥沙淤积物的颗粒较细,它的容重是个变幅较大的因素,与粒径的大小、埋藏的深浅以及淤泥历时的长短等有关,文献 1 对此有详细论述.同时,可得出各断面淤泥最大粒径沿程分布情况.如图 3 4 5 所示.

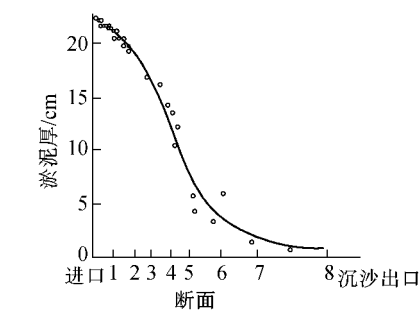


图 3 淤泥厚度沿程变化

Fig.3 Longitudinal distribution of mud

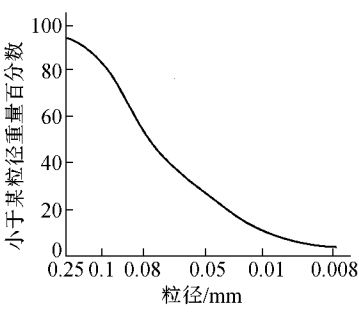


图 4 粒径级配数对数坐标

Fig.4 Size grading

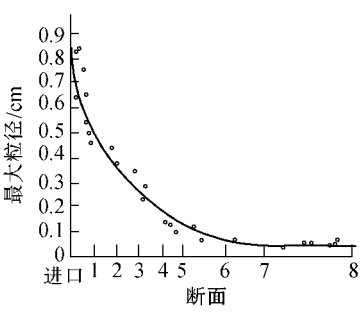


图 5 最大粒径沿程分布

Fig.5 Longitudinal distribution of maximum particle size

4 异重流的运动

4.1 斗槽中的异重流现象

由于进入斗槽的挟沙水流与清水具有一定的而又有限的重度差 ,从而形成了浑水在清水下面流动的浑水异重流 ,进入斗槽的浑水以潜流形式沿水平方向向末端推进.随着在斗槽中的运动 ,异重流的形态和特征也不断地变化和发展.同时使清浑水交界面不断上升 ,并产生浑水层向上分离清水和向下浓缩浑水的两种相反作用.因此 ,异重流的形成及特性是斗槽试验研究的主要问题之一.

4.2 异重流运动特性分析

4.2.1 淤泥面与浑液面变化率

淤泥面与浑液面变化率作为高浊度水动态沉淀计算的重要参数 ,在本次试验中做了较深入的观测 ,分别对各组次不同断面观测三组数值 ,现摘录初始含沙量为 70 kg/m^3 ,水深 4.5 m 的实测结果于表 1.

表 1 浑水区厚度 h 和淤泥厚 z 随时间 t 的变化

Table.1 Change of h and z with time

断面	$t = 120\text{ min}$		$t = 185\text{ min}$		$t = 240\text{ min}$		$t = 310\text{ min}$	
	h/cm	z/cm	h/cm	z/cm	h/cm	z/cm	h/cm	z/cm
1	0	0.8	0	1.9	0	3.5	0	4.5
2	11.0	0.8	13.8	1.8	15.2	3.4	16.5	3.6
3	13.5	0.7	16.0	1.8	18.5	3.2	20.8	3.5
4	15.2	0.9	17.5	2.0	19.5	3.1	21.3	3.4
5	11.1	0.6	13.5	1.6	16.0	2.9	18.4	3.6
6	10.0	0.6	13.5	1.6	17.5	3.0	21.2	3.5
7	8.0	0.5	10.5	1.5	12.0	2.5	13.2	2.7

对 70 kg/m^3 含沙量 ,经回归分析可得浑水区厚度和淤泥厚随时间的变化规律 :

浑水区厚度

$$h = 2.5t$$

淤泥厚度

$$z = 1.5t$$

对应于 100 kg/m^3 含沙量 ,回归分析可得浑水区厚度和淤泥厚随时间的变化规律 :

浑水区厚度

$$h = 3.1t$$

淤泥厚度

$$z = 2.17t$$

对应于 30 kg/m^3 含沙量 ,回归分析可得浑水区厚度和淤泥厚随时间的变化规律 :

浑水区厚度

$$h = 2.1t$$

淤泥厚度

$$z = 1.28t$$

4.2.2 清水分离速度 V_y

根据沉淀池中浑水的浓缩规律及浑液面变化率试验可知 ,浑液面距斗槽底的高度 h 应为时间 t 的函数.同时 ,经动态沉淀理论分析 ,高浊度水动态沉淀的清水分离速度 V_y 小于相同条件下的动水浑液面沉速 V_G ,其比值为

$$\frac{V_y}{V_G} = (1 - \frac{S_0}{S_u})$$

式中： S_0 ——进水含沙量； S_u ——排泥水含沙量。

从黄河高浊度水异重流沉降试验的研究中得出，当泥沙粒径 d_{50} 在 0.05 ~ 0.06 mm 范围内变化，水温为 20℃ 时，其清水分离速度

$$V_y = 0.018 S_0^{2/3} \quad (\text{cm/s})$$

当然，细粉沙颗粒越多，其清水分离速度比以粘土泥沙为主的清水分离速度要高。同时，斗槽形式及进水和出水条件的改变，对清水分离速度也将产生影响。

参考文献：

[1] 詹咏. 斗槽的预沉降和冲沉[D][学位论文]. 兰州 : 兰州铁道学院 , 1997.
[2] 武汉水利电力学院河流泥沙工程学教研室. 河流泥沙工程学[M]. 北京 : 水利电力出版社 , 1980. 151 ~ 180.
[3] 沙玉清. 泥沙运动引论[M]. 北京 : 中国工业出版社 , 1965. 103 ~ 148.

Study on the Characteristics of Sediment Movement in Precipitation Tank

ZHAN Yong¹, WANG Hui-min¹, ZENG Xiao-wei², ZHANG Cun-hu³

- (1. College of Water Resources and Environment , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China ;
2. Sanitary plant , Yi Zheng Chemical Fiber Limited Company , Yizhen 211900 , China ;
3. Bureau of Water Conservancy of Yuncheng District , Yuncheng 044000 , China)

Abstract : By means of model experiments of sediment deposition and wash , the characteristics of suspended sediment movement under the action of gravity and turbulent diffusion are studied in this paper , and some problems concerning sediment deposition and wash in the prototype lateral canal are solved. Meanwhile , some technical conditions and engineering measures are proposed. Therefore , the required working functions of the lateral canal are realized.

Key words : lateral canal ; sediment deposition ; sand flushing ; sediment concentration ; density current