

圆中环沉沙排沙过滤池滤水槽过滤性能试验

赵江涛¹,侍克斌¹,李玉建¹,马亮¹,刘宝星¹,魏玉强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.新疆呼图壁河管理处,新疆 呼图壁 831200)

摘要:为分析新疆呼图壁县工业园区供水工程首部圆中环沉沙排沙过滤池滤水槽的过滤性能,采用滤水槽物理模型,试验研究了断级配砂(砾)分层过滤技术在泥沙处理问题中的可行性。试验结果表明:在设计流量下,通过运用断级配砂(砾)分层滤水的方式能够更大范围地处理推移质、悬移质泥沙和少量悬浮物,过滤浑浊水获得清水并能排除泥沙;断级配砂(砾)分层过滤技术在泥沙处理过程中能够降低水体浑浊度,改善水质,基本能够满足一般工业用水和生活用水粗滤要求。

关键词:圆中环沉沙排沙过滤池;沉沙池;滤水槽;浑浊度;过滤;反冲洗

中图分类号:TV149.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2013)05-0057-04

Experimental study on filtration performance of filter tank in circular central sand filter for sand discharging and desilting//ZHAO Jiangtao¹, SHI Kebin¹, LI Yujian¹, MA Liang¹, LIU Baoxing¹, WEI Yuqiang²(1. College of Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Administration Bureau of Hutubi-River Drainage Areas in Xinjiang, Hutubi 831200, China)

Abstract:In order to assess the filtration performance of circular central sand filter for sand discharging and desilting in water supply projects of industrial parks in Hutubi County, physical experiments were conducted to investigate the feasibility of the fault diameter sand reverse stratified filtration technology in sediment treatment. The results show that the bed-load, suspended load, and a few floats in a larger area can be processed, and the turbid water can be cleaned by using this technology under a design flow. The technology is proved to be able to reduce the turbidity of the water body, improve the water quality and meet the needs for the industrial and domestic water consumption.

Key words: circular central sand filter for sand discharging and desilting; desilting basin; filter tank; turbidity; filtration; backwash

圆中环沉沙排沙过滤池(图1)为圆形断面,通过进水廊道连接至池中部的出水环堰,结构呈大圆套小环的形式,具有沉沙、排沙及滤沙的功能,故称之为圆中环沉沙排沙过滤池^[1]。

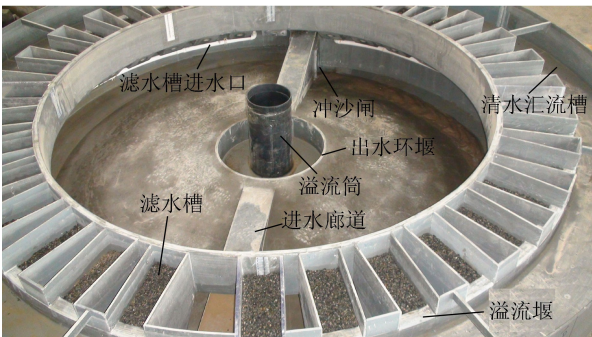


图1 圆中环沉沙排沙过滤池模型

位于新疆呼图壁河青年渠首工程下游的圆中环沉沙排沙过滤池,属于呼图壁县城镇工业园区供水工程配套项目,主要为呼图壁县城区居民、大唐集团呼图壁热电厂和天山工业园重化工产业区等提供清洁的生活和生产用水^[2]。本文仅针对该圆中环沉沙排沙过滤池的过滤性能进行模型试验研究。圆中环沉沙排沙过滤池过滤性能的优劣取决于32个滤水槽的过滤性能,而每个滤水槽的设计结构完全相同,因此,本试验仅以一个1:1的滤水槽模型为研究对象,通过滤水槽单体模型试验来总结其过滤性能。图2为模型照片,图3为剖面示意图。

1 工作原理

传统沉沙池是引水建筑物的沉沙设施,其作用是沉淀挟沙水流中颗粒粒径大于沉降粒径的悬移质

基金项目:清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室开放研究基金(sklhse-2011-c-01);国家自然科学基金(50969010);新疆水利水电重点科学基金(xjzdxk-2002-10-05)

作者简介:赵江涛(1987—),男,甘肃天水人,硕士研究生,主要从事水工模型试验研究。E-mail:420334025@qq.com



图2 圆中环沉沙排沙过滤池滤水槽单体试验模型

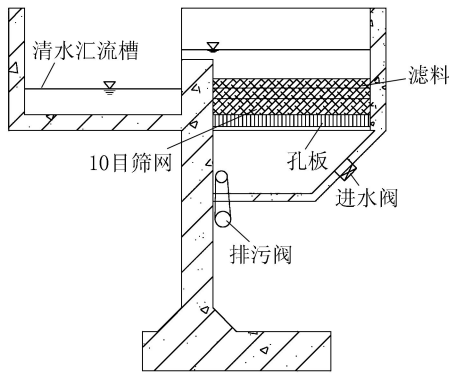


图3 圆中环沉沙排沙过滤池滤水槽剖面示意图

泥沙,降低水流中含沙量以满足水质要求。通常挟沙水流越平稳,泥沙越容易沉降,但实际上水体流态大多数不够平稳,因此传统沉沙池只能在一定范围内沉淀并处理较粗颗粒的悬移质泥沙,不能有效处理颗粒较细的悬移质泥沙^[3-6]。

当含有推移质、悬移质泥沙或悬浮物的原水进入圆中环沉沙排沙过滤池引水廊道后,通过中心出水环堰溢出并流入沉沙池倒锥形池底,随着沉沙池内水位上升,粒径较大的粗颗粒泥沙会缓慢沉降,沉入沉沙池倒锥形池底,最终由排沙廊道排出;而粒径较细的悬移质泥沙不容易沉降并伴随着水体扰动悬浮于水体之中,随水流由滤水槽下部侧面进水口进入滤水槽内,随着滤水槽内水位上升,流过由孔板、筛网和断级配砂(砾)滤水层组成的过滤系统,过滤系统中断级配砂(砾)滤水层会最大限度地滤除水体中含有的细颗粒悬移质泥沙,经过滤后的水由溢流堰流入清水汇流槽,最后经出水口进入取水管道的下游使用^[7]。

相比传统沉沙池,圆中环沉沙排沙过滤池是一种新型的水处理装置系统,它不仅能够高效率地沉淀并排出粒径较大的粗颗粒泥沙,而且能通过滤水槽内断级配砂(砾)分层过滤装置滤除水体中颗粒较细的悬移质泥沙,可见,圆中环沉沙排沙过滤池是集沉沙、排沙、滤沙于一体的多功能水处理装置^[8-10]。

2 滤水槽过滤效果试验

2.1 滤料选择

2.1.1 方案1

在圆中环沉沙排沙过滤池滤水槽内铺设粒径为2~5 mm、厚20 cm的断级配砂(砾)滤料进行清水试验,试验过程中发现,当滤出流量达到 $0.0220\text{ m}^3/\text{s}$ 时,开始出现少量细颗粒滤料随水流流过溢流堰进入清水汇流槽,说明此时滤料表面细颗粒已达到失稳的状态;当滤出流量达到设计流量 $0.0334\text{ m}^3/\text{s}$ 时,肉眼即能明显观察到溢流堰右端出流量比左端大很多,部分滤料随水流流过溢流堰;放空滤水槽内水后,可见溢流堰堰壁前50 cm范围内滤料明显高低不平,筛网外露。

上述试验现象说明平铺厚20 cm、粒径为2~5 mm的断级配砂(砾)滤料并不能满足在设计流量下正常使用的要求,因此,圆中环沉沙排沙过滤池滤水槽内所需滤料必须重新选定,且后续不做此粒径的浑水过滤试验。

2.1.2 方案2

方案1中所选取的滤层在设计流量下出现渗透破坏,大致有两点原因:一是所选取的断级配砂(砾)滤料粒径较小,在水流渗透作用下引起渗透压力过大,超过了滤层承受范围而产生破坏;二是由于断级配砂(砾)滤料粒径较小,质量较轻,在水流作用下容易被水流带走,缺少必要的盖重。因此,试验方案2在滤料的选择上考虑了以上两点原因,适当扩大了断级配砂(砾)滤料的粒径范围,并且增加了砾石盖重。方案2选取3层砂(砾)滤料方案进行试验,自水流方向(自下而上)依次为:粒径为5~12.5 mm,厚20 cm;粒径为12.5~25 mm,厚20 cm;粒径为25~50 mm,厚10 cm(盖重层)。

在清水试验过程中,当滤出流量达到设计流量 $0.0334\text{ m}^3/\text{s}$ 且持续一段时间时,滤料未出现被击穿的现象,随着流量逐渐加大,滤料也未出现破坏的痕迹,表明方案2的滤层能够满足要求。

2.1.3 方案3

考虑到滤料中细颗粒的存在可能对流量及水质有一定的影响,因此,试验方案3在断级配砂(砾)滤料中适当增加了部分粒径较小的砂(砾),选取3层砂(砾)滤料方案进行试验,自水流方向(自下而上)依次为:粒径为2~12.5 mm,厚20 cm,其中2~5 mm颗粒质量分数为30%,5~12.5 mm颗粒质量分数为70%;粒径为12.5~25 mm,厚20 cm;粒径为25~50 mm,厚10 cm(盖重层)。

2.2 过滤试验

根据水库泥沙资料,原型沙中的悬移质颗粒粒径较细,汛期平均出库泥沙大部分为悬移质泥沙,最小粒径约为 0.075 mm。试验为滤水槽单体原型试验,由于试验需要的大量原型沙不易获得,故采用模型沙进行试验。对于模型沙的选取主要考虑两个方面:一是粒径相似,因为试验主要是验证水体悬移质的过滤情况,在保证最小粒径的同时,模型沙的最大粒径不能超出悬移质泥沙最大粒径(2 mm);二是沉降相似,由于沉降相似模拟难度较大,只能通过简易试验利用其沉降的时间来衡量模型沙与原型沙的相似程度:在两个体积相同的透明玻璃量杯中加入等体积的清水(试验前已测其浑浊度为 1.0 NTU),在两个量杯中分别同时加入等量的原型沙和模型沙,使其自然沉降并开始计时,经过一段时间后量杯中的水变较清时停止计时并测出两者浑浊度,如基本一致,可大体认定其沉降相似。经过反复比较和试验,选用昌吉新华火电厂出产的粉煤灰产品与经球磨机研磨的黏土混合作为模型沙,粉煤灰与研磨后的黏土最小粒径为 0.075 mm,最大粒径在 2 mm 左右。模型沙颗粒粒径在 0.075 ~ 2 mm 之间;模型输沙率为 0.265 6 ~ 1.432 5 g/s;模型的供水流量及设计流量均为 0.033 4 m³/s。

由于模型沙的选取存在一定的困难,通过简易试验所选模型沙的物理力学特性与原型沙还是存在一定的差异,模型沙只能在某种意义上认为是可行的,由于试验内容主要考虑的是水体中悬移质粒径的过滤情况,模型沙既能满足原型沙粒径同时也能满足悬移质控制粒径即可,采用人工加土进行浑水试验。

2.3 试验结果分析

2.3.1 方案 2 浑水试验

在设计流量下,滤水槽滤料分 3 层铺设,并未出现渗透破坏,由图 4 可以看出,不同浑浊度条件下的原水,经滤水槽过滤后,浑浊度明显减小,由此可以说明分 3 层铺设的滤料能够起到过滤泥沙的作用,部分悬移质泥沙颗粒被滤除后降低了水体的浑浊度。

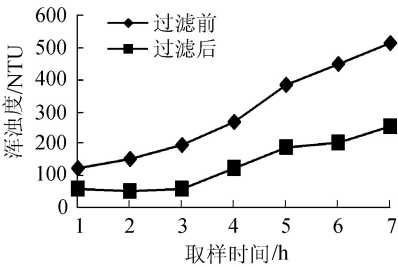


图 4 方案 2 过滤前后水质对比

2.3.2 方案 3 浑水试验

根据土体渗流特性,滤料颗粒粒径越小,被滤料过滤的土的颗粒粒径也越小。滤层的作用是防止悬

移质泥沙进入清水汇流槽而影响下游水质。滤水槽采用的是渗流向上的滤水方式,由于重力与渗透力作用方向相反,导致悬移质泥沙颗粒被渗流带走的可能性减小。同时适量增加滤料级配砂(砾)滤料中细颗粒粒径砂的含量,滤料中颗粒粒径较小的砂与颗粒粒径较大的砂相比,颗粒间接触更加紧密,颗粒与颗粒间的空隙也就越小,泥沙颗粒通过其空隙穿过滤料级配砂(砾)滤层的几率相对也就越小。

图 5 为方案 3 过滤前后水质对比,图 6 为方案 2 和方案 3 过滤后水质对比。由图 6 可以更加直接看出,在过滤前水质浑浊度相近的前提下,增加滤料细颗粒粒径含量后,过滤后的水质浑浊度更小,说明在试验中控制流量不变的情况下,增加滤料细颗粒的含量能更加有效地起到过滤作用,减小水质浑浊度。

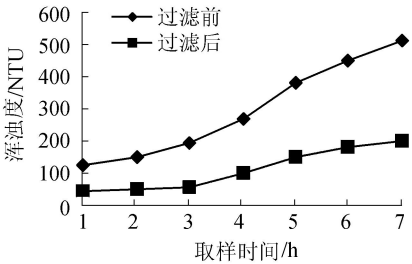


图 5 方案 3 过滤前后水质对比

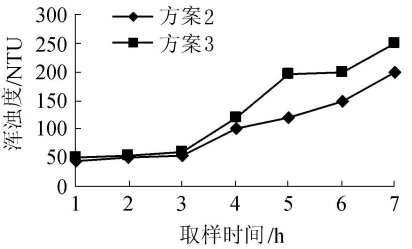


图 6 两种试验方案过滤后水质对比

3 反冲洗试验

3.1 反冲洗步骤

利用砂(砾)石作为滤水槽滤料必然会出现滤料被淤堵而导致滤水槽滤水功能失效,当滤料被淤堵到一定程度时,沉沙池水位逐渐上升,溢流筒开始溢流,这时就需要对滤料进行反冲洗。一般当沉沙池水位距溢流堰顶 2 ~ 3 cm 时,即可进行反冲洗。反冲洗时,先关闭滤水槽进水口闸阀,再打开排污管闸阀,此时滤水槽水位迅速下降,水流自上而下,通过重力作用对滤料进行反冲洗,洗去滤料孔隙间存在的泥沙,减小淤堵程度。反冲洗时,为了避免浑水进入清水汇流槽污染过滤后的水,当滤水槽内水位上升至接近溢流堰顶高程时(一般距堰顶 8 ~ 10 cm),立刻关闭滤水槽进水口闸阀,同时打开排污管闸阀,进行反冲洗。如此反复数次,当沉沙池与滤水槽之间水位差恢复到试验初始时的水位差时,反

冲洗工序完成;也可在反冲洗时,对排污管所排出的浑水进行浑浊度测试,反冲洗数次后浑浊度基本保持不变,视为滤料已经基本冲洗干净,反冲洗工序完成。

3.2 试验结果与分析

试验中流量控制在 $0.0334\text{ m}^3/\text{s}$,进水浑浊度为 450 NTU 左右,试验初始时沉沙池与滤水槽之间水位差为 0.233 m,在运行 6 h 后,溢流筒开始出现溢流,此时的沉沙池与滤水槽之间水位差为 0.512 m,开始进行反冲洗。反冲洗试验沉沙池与滤水槽水位差结果见图 7,排污管所排污水浑浊度测试结果见图 8。

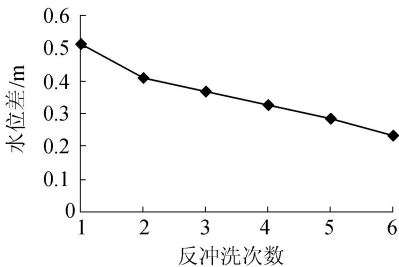


图 7 沉沙池与滤水槽水位差

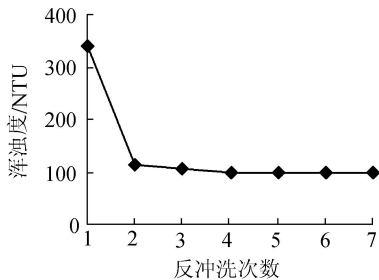


图 8 排污管所排污水浑浊度试验结果

由图 7 与图 8 可以看出,不管是恢复沉沙池与滤水槽之间试验初始时的水位差,还是检测排污管所排出污水的浑浊度,都可以验证此滤料出现淤堵后进行反冲洗的效果,通过反冲洗 5 次后,能够恢复初始运行状态,经测定,反冲洗 1 次所需时间 2 min 左右,那么反冲洗 1 个滤水槽所需时间即为 10 min 左右。圆中环沉沙排沙过滤池有 32 个滤水槽,所有滤水槽依次进行反冲洗所需时间为 320 min 左右。圆中环沉沙排沙过滤池滤水槽可以自动控制阀门和时间,进行交替轮换反冲洗,在反冲洗的同时,依然可以向下游供水,不影响下游的正常使用。

试验过程中发现,反冲洗的关键在于要有足够的水头,利用水流重力将滤料孔隙间的泥沙冲洗干净,由图 3 可以看出,滤料与溢流堰之间存在一定的距离,反冲洗就是利用这段距离产生的水头进行,水头越大,相应的反冲洗能力也就越强,然而,为了获得浑浊度小的水,滤料的厚度(或细度)就需要增加,相应就会减小滤料与溢流堰之间的距离,势必会影响反冲洗的效果。就目前的试验而言,现有的滤层能够满足运行工况,在获得浑浊度小的水的同时,

满足了下游供水量,并能很好地完成反冲洗过程。

4 结 论

- a. 圆中环沉沙排沙过滤池可以通过断级配砂(砾)滤层降低水体浑浊度,改善水质。
- b. 圆中环沉沙排沙过滤池能通过合理地增加滤料细度获得浑浊度较小的水。由于滤料细度的增加会直接导致过滤后的水量减少,如何既能够获得浊度小的水又能满足下游供水需要的问题,还需进一步研究。
- c. 圆中环沉沙排沙过滤池能利用自身反冲洗功能解决滤料淤堵问题,不需外力作用进行清淤工作,能节约能源,合理有效地利用水资源。

参考文献:

[1] SL310—2004 村镇供水工程技术规范[S].

[2] 侍克斌,李玉建,马亮,等.新疆呼图壁县城镇工业供水工程圆中环沉沙排沙过滤池水工模型试验报告[R]. 乌鲁木齐:新疆农业大学水利水电设计研究所,2011.

[3] 侍克斌,李玉建,马亮,等.新疆呼图壁县城镇工业供水工程圆中环沉沙排沙过滤池滤水槽原型水力学试验报告[R]. 乌鲁木齐:新疆农业大学水利水电设计研究所,2011.

[4] 邱秀云,龚守远,严跃成,等.一种新型水沙分离装置的研究[J].新疆农业大学学报,2007,30(1):68-70. (QIU Xiuyun, GONG Shouyuan, YAN Yaocheng, et al. The research on a new separator device for water-sediment [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2007, 30(1):68-70. (in Chinese))

[5] 刘芬.浑水水力分离清水装置结构优化试验研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2007.

[6] 余新艳.浑水水力分离清水装置水沙分离试验研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2008.

[7] 肖俊.浑水水力分离清水装置清水流场试验研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2006.

[8] 李琳.浑水水力分离清水装置水沙分离的数值分析及试验研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2008.

[9] 谭义海,李琳,邱秀云.梭锥管混浊流体分离装置水沙分离试验研究[J].新疆农业大学学报,2010,33(6):521-526. (TAN Yihai, LI Lin, QIU Xiuyun. Optimization experiment of water-sediment separation by turbid flow isolation device-shuttle-conical tube [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2010, 33(6):521-526. (in Chinese))

[10] 谭义海,李琳,邱秀云,等.梭锥管混浊流体分离装置水沙分离影响因素优化试验研究[J].中国农村水利水电,2011(5):50-52. (TAN Yihai, LI Lin, QIU Xiuyun, et al. Optimization experiment for factors of the turbid flow isolation device shuttle-conical tube [J]. China Rural Water and Hydropower, 2011(5):50-52. (in Chinese))

(收稿日期:2012-11-01 编辑:熊水斌)