

多级斜板式水沙分离装置试验

董玉萍,牟献友,文恒

(内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院,内蒙古 呼和浩特 010018)

摘要:采用渠化设计的方法对垂向异重流式混合流体分离装置进行结构优化,在不同流量、不同含沙量、不同斜板间距组合条件下,对该优化的多级斜板式水沙分离装置进行了动水循环试验。试验结果表明:渠化设计后,清水流与沉降泥沙各行其道,大幅度减小了相互间的扰动;溢流泥沙中值粒径随进流流量的增大不断增大,随进流含沙量的增大逐渐减小;出流含沙量随斜板间距减小而降低;在流量为 0.9 m³/h 时该装置水沙分离效果最好,泥沙分离率在 80% 以上,最高可达到 93%。

关键词:斜板沉淀池;分离装置;水沙分离;渠化设计;分离率

中图分类号:TV149.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2013)05-0052-05

Experimental study on the water-sediment separator with multilevel inclined plates//DONG Yuping, MOU Xianyou, WEN Hen (College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agriculture University, Hohhot 010018, China)

Abstract: Channelization design method has been employed for structural optimization of the vertical-component density flow separation devices for mixed fluids. Dynamic water cycle experiments have been conducted for the optimized water-sediment separation devices with multiple inclined plates under different discharges, sediment concentrations and distances between plates. Experimental results show that mutual perturbations between clear flow and sediments are greatly reduced through a channelization design. The median size sediments of overflows are increased with an increasing discharge and decreased with an increasing sediment concentration of inflow. The sediment concentration of outflow is decreased with a decreasing distance between plates. The optimal discharge of the device is found to be 0.9 m³/h. The water-sediment separation rate is greater than 80%, and with a maxima of 93% at the optimal discharge.

Key words: inclined plate sedimentation tank; flow separation device; water-sediment separation; channelization design; separation rate

内蒙古地区水资源匮乏,黄河作为该地区的重要水源之一,为该地区工农业发展作出了突出的贡献,如何高效、合理地利用黄河水资源成为目前重要的研究课题之一,在农业生产中推广滴灌、喷灌等节水灌溉措施将成为今后农田灌溉的必然选择^[1-3]。由于黄河水含沙量高,泥沙颗粒细,极易堵塞灌水器的出水孔^[4],严重制约了微灌技术在黄灌区的推广与应用,目前解决这一问题主要还是通过沉淀池沉淀的方式进行水沙分离,不仅建设投资大,周期长,而且分离效率较低^[5],在农业生产中推广应用有很大的局限性。20 世纪 70 年代后出现的斜板沉淀池具有沉淀效率高、占地面积小等优越性,很快在水处理中得到广泛应用^[6]。

斜板沉淀池是在 1904 年美国学者 Hazen 提出

的浅池理论上发展形成的^[7],经过数十年的发展,斜板沉淀池的结构形式不断优化。刘振中等^[8]对异向流斜板沉淀池进行了优化设计研究,使其在满足沉淀效率及水力条件的情况下,沉淀池的建设费用最小。方永忠等^[9]将传统上向流斜板由水平排列方式改为垂直排列方式,设计出一种新的沉淀分离装置与工艺。邱秀云等^[10-12]发明了垂向异重流式混合流体分离装置,使得斜板沉淀池的沉淀效率得到很大提高。

斜板沉淀池虽然得到广泛应用,但有其自身的不足,如结构方面设计不够合理,使斜板上积存泥沙,水流挟沙能力下降;没有直接的排除泥沙通道,泥沙沉降颗粒杂乱无章等,这导致工程投资费用增加。本文对邱秀云等发明的垂向异重流式混合流体

基金项目:国家自然科学基金(50669001)

作者简介:董玉萍(1985—),女,内蒙古开鲁人,硕士研究生,主要从事工程水力学及水工模型试验研究。E-mail:dongyp0119@126.com

通信作者:牟献友(1969—),男(蒙古族),内蒙古赤峰人,教授,博士,主要从事工程水力学及水工建筑物研究。E-mail:mouxianyou@163.com

分离鳃进行改进,对该分离鳃结构进行完善,通过试验研究分析改进后的装置水沙分离效果,为内蒙古地区引黄滴灌工程提供技术支撑。

1 试验方法

1.1 试验装置

对垂向异重流式混合流体分离鳃做如下改进:对顶层斜板和底层斜板的设置做适当调整,在泥沙沉降部位增加挡沙板,形成排沙槽,并在排沙槽底部增加排沙孔。通过这些特殊构造措施,促使水流按照设计路径通过斜板装置,沉淀的泥沙按照特定的路径下沉,并集中在模型的排沙孔处,由排沙孔排出。这种设计可使进入装置的浑水、分离后的清水及分离的泥沙各行其道,避免了它们之间相互扰动、混掺,提高了试验装置的工作效率,如图1和图2所示。本文将此优化设计称之为渠化设计,优化设计后的装置称为多级斜板式水沙分离装置。

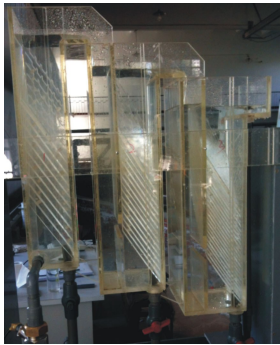


图1 试验装置

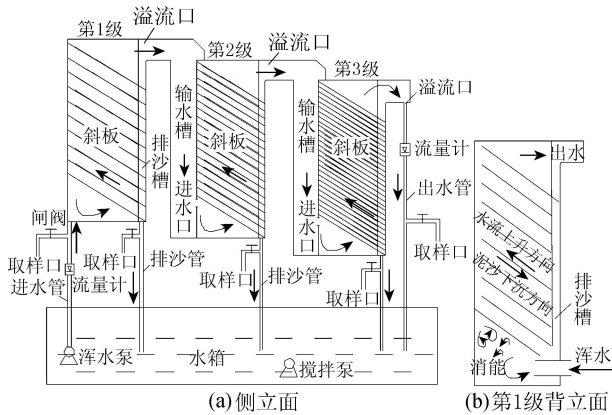


图2 水沙分离试验装置系统布置示意图

装置的斜板参考文献[10]进行设置,即斜板与长、宽方向分别保持 45° 和 60° 的夹角不变,并作如下改进:①分离鳃侧壁不打小孔;②增加了挡沙板,使泥沙颗粒有秩序地进入排沙通道,避免上升水流对下沉泥沙的扰动;③如图2(b)所示,顶层斜板的前后边缘、低端边缘与侧壁密封,底层斜板的前后边缘、高端边缘与侧壁密封,中间斜板的前后边缘与侧壁密封;④将3个同样大小的水槽集成3级串联水

沙分离装置,第1级、第2级、第3级斜板间距依次为9 mm、6 mm、3 mm。在试验装置的第1级、第2级、第3级布置不同的斜板间距,是为了使不同颗粒粒径泥沙逐级分离出来。斜板间距大,能沉降粗颗粒,但细颗粒不能在此斜板范围内沉降,只能进入下一级,这样经过3级分离以后基本可以保证将大部分泥沙颗粒分离出来。

试验装置系统布置如图2所示,将配置的特定含沙量的浑水注入水箱,搅拌均匀后,由浑水泵抽入试验装置系统,经进水管、流量计进入第1级水沙分离装置,分离出来的清液经溢流口、输水槽、进水口进入第2级水沙分离装置,将第1级分离出的浑液经排沙槽、排沙管排入水箱;第2级、第3级水沙分离流程同第1级。在进水管、排沙管、出水管均设有取样口,试验过程中随时取样,测试含沙量、流量及颗粒粒径。

试验仪器包括误差不超过1%的涡轮流量计、1000 mL量筒、100 mL的比重瓶、精度为 $1/1\,000\text{ g}$ 的电子天平、BT-2002激光粒度分析仪、浑水泵、搅拌机、秒表、数码相、温度计。

1.2 试验材料

黄河水流经地域不同,其泥沙颗粒级配也有差别^[13]。试验所用泥沙取自呼和浩特市托克托县树林扬水站下游200 m渠底。采用BT-2002激光粒度分析仪对所采试样进行颗粒分析,测试分析结果表明泥沙中值粒径为 $81.69\text{ }\mu\text{m}$,最大粒径为 $312.56\text{ }\mu\text{m}$,颗粒分布如图3所示。

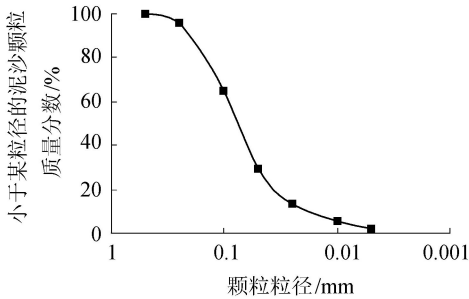


图3 泥沙颗粒分布曲线

1.3 试验方案与内容

试验是在保证各级流速相同的条件下,测量溢流口及排沙孔的流量、含沙量及颗粒分布,研究渠化设计措施对水沙分离装置分离效果的影响。试验过程中采用 $0.4\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $0.6\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $0.9\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $1.3\text{ m}^3/\text{h}$ 这4种流量和 $2\text{ kg}/\text{m}^3$ 、 $4\text{ kg}/\text{m}^3$ 、 $6\text{ kg}/\text{m}^3$ 、 $8\text{ kg}/\text{m}^3$ 、 $10\text{ kg}/\text{m}^3$ 这5种进流含沙量两两组合成20个试验方案。

根据试验方案,主要从以下几个方面进行试验研究:①观察水流及沉淀泥沙在试验装置中的运动路径,验证渠化设计的合理性;②研究进流流量、各级流速及排沙孔流量一定时,流量与溢流含沙量之

间的关系,流量、进流含沙量对溢流泥沙中值粒径的影响,斜板间距与进、出流含沙量的关系;③确定合理的工作参数。

2 试验结果与分析

试验过程中可直观地观测到浊液经过斜板以后,清液上升,从装置上部溢出,被分离的泥沙则不断沿斜板向一侧汇集于斜板与竖壁的V形夹角处,进而滑入排沙槽内,在各级排沙槽内均可形成较高含沙量的泥沙沉降带,且各级分离装置内的含沙量逐级递减。经过3级分离装置分离后,可以保证得到含沙量较小的溢流液,如图4所示。

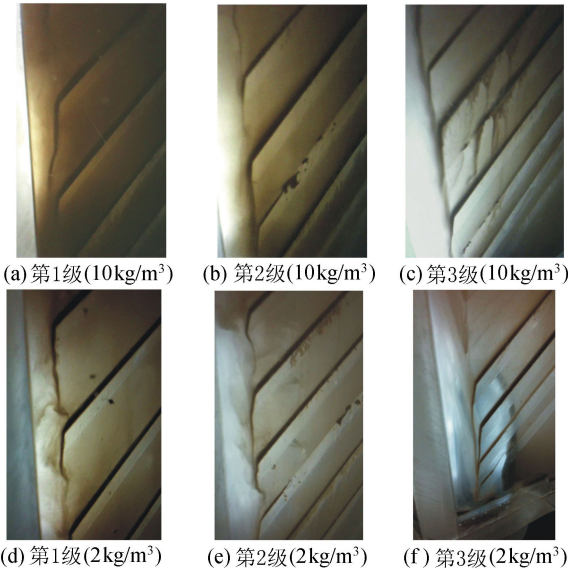


图4 不同进流含沙量下排沙槽内的泥沙沉降情况

2.1 流量与溢流含沙量的关系

如图5所示,试验开始时,溢流含沙量随流量的增大而增大;当流量达到 $0.6\text{ m}^3/\text{h}$ 时,溢流含沙量趋于稳定;当流量增大到 $0.9\text{ m}^3/\text{h}$ 即过流断面流速为 13.5 mm/s 时,溢流含沙量随流量的增大呈线性增长。根据浅池理论,由于流量增大,斜板间断面流速也增大。泥沙颗粒的实际运动速度是过流断面速度和该泥沙颗粒沉降速度的矢量和,而泥沙颗粒的相对沉降速度不会因断面流速改变而改变,当过流断面流速达到 13.5 mm/s 以后,浊液中的部分泥沙无法在斜板范围内沉降到斜板上。所以对于本实验装置,进流流量控制在 $0.9\text{ m}^3/\text{h}$ 之内时,分离效果较好。

2.2 流量、进流含沙量对溢流泥沙中值粒径的影响

由于进流的流量、含沙量不同,使得溢流口的溢流泥沙颗粒粒径大小也有所不同。图6为流量、进流含沙量与溢流泥沙中值粒径的关系曲线,可以看出:随着进流流量的增大,溢流泥沙中值粒径呈不断增大的趋势,这与浅池理论相符。流量小于 $0.6\text{ m}^3/\text{h}$ 时,溢流泥沙中值粒径变化不大,说明此时溢流泥沙

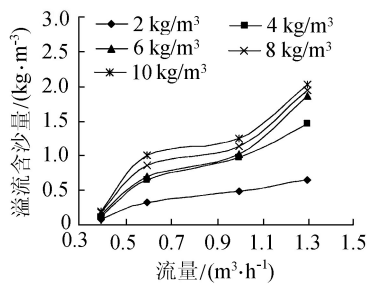


图5 不同进流含沙量下流量与溢流含沙量的关系

已无法通过该装置分离出来。在相同进流流量条件下,溢流泥沙中值粒径随着进流含沙量的增大而逐渐减小,这与试验用沙是天然混合沙,其中包含 6.2% 的小于 $10\text{ }\mu\text{m}$ 的细颗粒成分有关;当含沙量较低时,泥沙颗粒沉降彼此互不干扰;当含沙量小于 15 kg/m^3 时,随着含沙量逐渐增大,泥沙颗粒之间连接成为絮团,其沉速大于单颗粒泥沙的沉速,这就使得部分细颗粒泥沙随絮团一起沉降下来,水中所剩下的泥沙颗粒随着进流含沙量的加大而逐渐变小,直至在动态水循环下这些极细泥沙颗粒不能沉降^[14-15],所以溢流泥沙中值粒径随进流含沙量增大而逐渐减小。

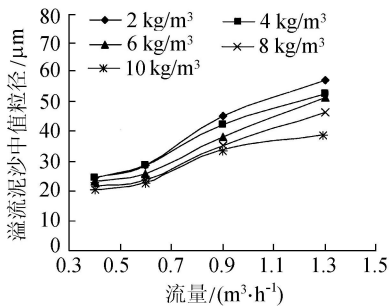


图6 不同进流含沙量下流量与溢流泥沙中值粒径的关系

2.3 试验装置的泥沙分离率

用试验装置各级分离出的泥沙量与进流所含泥沙总量的比值表示试验装置各级的泥沙分离率。如图7所示,试验装置的泥沙分离率在 80% 以上,流量控制在 $0.6\sim 0.9\text{ m}^3/\text{h}$,则可以达到 93% 。由图7还可看出:①随着流量的增大,总的分离率呈降低的趋势,但是随着进流含沙量的增大这种降低的趋势越来越不明显;②第1级分离装置的分离率随着流量的增大而明显下降,而第2级及第3级分离率较为稳定,略有上升。分离率试验结果不但很好地印证了前文结论的正确性,同时也说明了本装置的高效性和实用性。

2.4 进、出流含沙量关系

在 $0.9\text{ m}^3/\text{h}$ 流量下,第1级、第2级和第3级装置(斜板间距分别为 9 mm 、 6 mm 、 3 mm)的进、出流含沙量关系如图8所示。由图8可知,在同一进流含沙量下,随着进流含沙量的增大,出流含沙量呈现逐渐增大的趋势,近似呈线性关系;同时随着斜板间距的增大,出流含沙量明显增大,分离效果不如斜板间

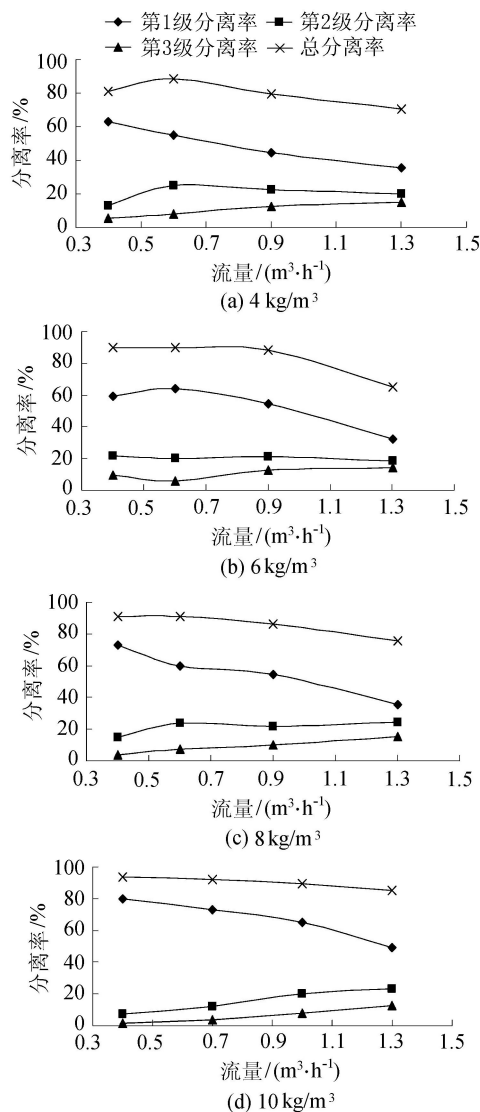


图7 不同进流含沙量下的试验装置泥沙分离率

距较小的试验组。这种试验现象可用浅池理论来进行解释:对于某一固定的斜板间距,经过斜板区段所分离的泥沙量与斜板的面积正相关,所以分离的泥沙量与水流的挟沙总量近似呈正比例关系;当斜板间距增大时,斜板的面积便相应减小,装置的分力能力自然会降低。

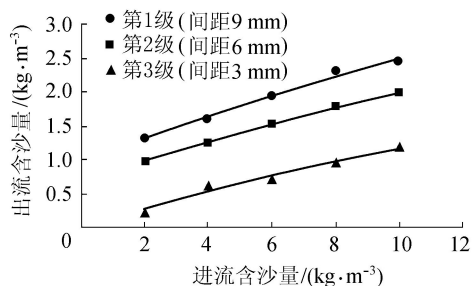


图8 不同斜板间距的进、出流含沙量关系

2.5 装置的实用性分析

若将本装置推广应用于引黄滴灌等工程中,根据相似原理“重力相似准则”测算,本装置长 0.21 m 、宽

0.11 m 、高 0.61 m ,最佳流量按 $0.9 \text{ m}^3/\text{h}$ 计,工程实际中设该装置的高度为 2.5 m ,经计算可知,实际流量可达 $30.6 \text{ m}^3/\text{h}$,可以满足一般的滴灌工程中干支管流量 $25 \sim 50 \text{ m}^3/\text{h}$ 的要求。

3 结 论

a. 经过渠化设计以后,可以促使水流按照设计路径通过斜板,沉淀的泥沙通过排沙槽下沉,并集中在模型的排沙孔处,经排沙孔排出,在整个分离、沉降的过程中上升水流与沉降泥沙被隔离开,大幅度减小了相互间的扰动。

b. 当流量在 $0.9 \text{ m}^3/\text{h}$ 左右时,进流含沙量与出流含沙量近似呈线性关系,该装置分离效果较好,泥沙分离率在 80% 以上,最高可达到 93% 。

c. 在最佳参数组合下,溢流泥沙中值粒径随着进流流量的增大不断增大,随着进流含沙量的增大而呈逐渐减小的趋势。

参考文献:

- [1] 张天举,仵峰,邓忠,等.不同坡度下压力对滴灌毛管均匀度的影响试验[J].水利水电科技进展,2007,27(3):24-26. (ZHANG Tianju, CHU Feng, DENG Zhong, et al. Experimental study on effect of pressure on capillary tube uniformity in drip irrigation at different slope [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2007, 27(3): 24-26. (in Chinese))
- [2] PHENE C J. Maximizing water-use efficiency with sub-surface drip irrigation [J]. Irrigation Journal, 1993(3): 93-110.
- [3] 李英能,吴景社.西部地区节水灌溉发展的前景与展望[J].水利水电科技进展,2000,20(5):6-9. (LING Neng, WU Jingshe. Prospects for development of water-saving irrigation in Western China [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2000, 20(5): 6-9. (in Chinese))
- [4] 朱连勇,崔春亮.浅谈地下滴灌的堵塞问题及处理方法[J].水土保持研究,2005,12(2):111-112. (ZHU Lianyong, CUI Chunliang. Discussion on problem of block-up in drip irrigation underground and its treatment [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2005, 12(2): 111-112. (in Chinese))
- [5] 宗全利,刘焕芳,汤骅,等.微灌用沉沙池泥沙沉降计算方法试验研究[J].节水灌溉,2007(4):23-27. (ZONG Quanli, LIU Huanfang, TANG hua, et al. Experimental study on calculation method for sand sedimentation in sedimentation basin for micro irrigation system [J]. Water Saving Irrigation. 2007(4): 23-27. (in Chinese))
- [6] 王华生,刘祖文.沉淀工艺的研究现状及发展趋势[J].铜业工程,2004(1):54-56. (WANG Huasheng, LIU

The research on a new separator device for water-sediment
[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2007, 30
(1):68-70. (in Chinese))

- (收稿日期:2012-11-26 编辑:熊水斌)

field in 180° curved duct with rectangular cross-section by LDV [J]. Journal of Experiments in Fluid Mechanics, 2010, 24(1):36-41. (in Chinese))

- (收稿日期:2012-11-09 编辑:熊水斌)