

DOI :10.3880/j. issn. 1006-7647. 2011. 01. 019

梭锥管内锥圈对水沙分离的影响

谭义海^{1 2} 李 琳^{1 2} 邱秀云^{1 2} 葛旭峰^{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. 新疆农业大学农业节水与水资源研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要 :介绍一种新型水沙分离装置梭锥管混浊流体分离装置(简称梭锥管)的初步研究成果。梭锥管是一种新型的低耗水率、动态水力分离水沙两相流的装置。为了探明梭锥管内特有结构——锥圈对泥沙沉降速度的影响 ,针对结构尺寸相同的有锥圈和无锥圈的梭锥管进行浑水质量浓度分别为 30 kg/m³、60 kg/m³、80 kg/m³ 的泥沙静水沉降试验。试验结果表明 ,与无锥圈梭锥管相比 ,泥沙在有锥圈梭锥管中沉降的速度较快 ,锥圈的存在改变了泥沙的沉降方向 ,缩短了沉降距离 ,增加了沉降面积 ,提高了泥沙的沉降速度。因此 ,为了提高泥沙的沉降速度 ,可以适当增加梭锥管内的锥圈数量以增强其水沙分离性能。

关键词 :水沙两相流 ;泥沙沉降试验 ;锥圈 ;固液分离

中图分类号 :TV142 文献标识码 :B 文章编号 :1006-7647(2011)01-0079-04

Influences of conical circles in shuttle-conical tube on separation of water and sediment /TAN Yi-hai^{1,2}, LI Lin^{1,2}, QIU Xiu-yun^{1,2}, GE Xu-feng^{1,2} (1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China ; 2. Agricultural and Water Saving Centre, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract :The tentative research achievements of a new device for separation of water and sediment , shuttle-conical tube isolation device for turbid flows , were introduced. The shuttle-conical tube is a new device with low water consumption and dynamic hydraulic separation for water-sediment two-phase flows. In order to study the influences of conical circles , a special structure of the shuttle-conical tube , on the settling velocity of sediment , the stagnant water settlement tests on the shuttle-conical tube with turbid water concentration of 30 , 60 and 80 kg/m³ were performed under the same structural sizes with and without conical circles. The test results show that the settling velocity of sediment in the shuttle-conical tube with conical circles is faster than that in the shuttle-conical tube without conical circles. The existence of the conical circles changes the direction of sediment settlement , reduces the settlement distance , increases the settlement area , and improves the settling velocity of sediment. Accordingly , in order to increase the settling velocity of sediment , the number of conical circles should be raised so as to improve the separation of water and sediment in the shuttle-conical tube.

Key words : water-sediment two-phase flow ; sediment settlement test ; conical circle ; soil-water separation

我国是世界上河流泥沙最多的国家 ,特别是北方河流 ,水流含沙量高而且泥沙颗粒细 ,用地表水进行大田喷、滴灌常常会引起喷头或滴头流道严重堵塞。因此 ,对灌溉水进行严格的净化和过滤处理是微灌系统的首要工作。目前 ,灌区采用的过滤技术主要有沉淀池、砂过滤器(介质过滤器)和水力旋流式过滤器^[1-6]。沉淀池结构简单 ,在静态条件下依靠重力沉降作用使泥沙沉降 ,实现水沙分离。设计的沉降粒径越小 ,沉淀池占地面积越大。沉降在池内的泥沙需要大量的机械或人工清除 ,耗水量大。砂

过滤器和水力旋流式过滤器依靠环流离心力作用形成三维强旋转剪切湍流运动 ,通过高速旋转将颗粒从浆液中分离出来。这 2 种过滤器的主要优点是三维过滤 ,具有较强的截获污物的能力 ,但造价较高 ,正常运行需要耗费大量的电能 ,同时由于砂石过滤器采用过滤与回洗方法 ,当水流含沙量较大时回洗频繁 ,耗水量大 ,几乎无使用价值。而笔者研究的梭锥管混浊流体分离装置(专利号为 L200720146643.2 ,简称梭锥管 ,见图 1)是一种新型的低耗水率动态水力分离(无需外加动力和化学药

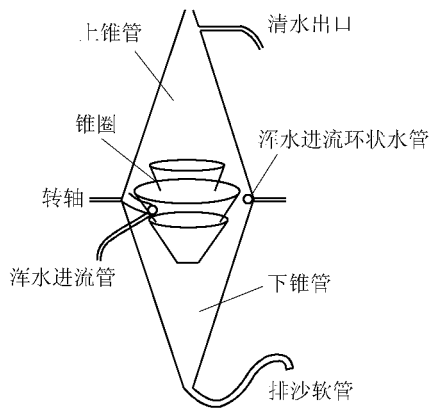


图1 梭锥管混浊流体分离装置示意图

剂、水沙两相流的装置。该装置具有水沙分离效率高、耗水率低、无能耗、无化学污染的特点。前期研究发现其内部的特殊结构形式使水沙两相流进入梭锥管后被分组进入不同沉降通道,在锥圈的作用下水沙分离速度较快。为了探明锥圈对泥沙沉降速度的影响以及锥圈加速水沙分离所起的作用,针对结构尺寸相同的有锥圈和无锥圈梭锥管,对泥沙质量浓度分别为 30 kg/m^3 、 60 kg/m^3 、 80 kg/m^3 的浑水进行泥沙静水沉降试验研究,为优化梭锥管的结构形式和探明其高效率分离水沙机理奠定基础。

1 梭锥管工作原理

梭锥管混浊流体分离装置采取的是混浊流体重力分离技术。如图1所示,浑水从浑水进水管进入环状布水管,并由环状布水管上的出水孔均匀地流入上锥管和下锥管腔内,上锥管和下锥管连接形成的腔内轴向固定多个相互套叠的锥圈,锥圈与上锥管和下锥管内壁有间隙,当浑水充满装置时,通过锥管、锥圈和锥角的作用将水沙分离,泥沙通过锥圈的内侧下沉至下锥管锥底,然后从排沙管排出。清水通过锥圈与上锥管壁间的通道上升,并从上锥管顶部流出。

2 试验方案及试验现象

2.1 试验方案

为了探明梭锥管内特有结构——锥圈对泥沙沉降速度的影响,分别制作了2个结构尺寸相同的有锥圈和无锥圈的梭锥管,选用新疆乌鲁木齐鲤鱼山的天然黄土作为试验沙。鲤鱼山黄土颗粒粒径大于 0.007 mm 的沙粒质量分数为 79.61% ,大于 0.250 mm 的沙粒质量分数为 0.16% ,中值粒径为 0.019 mm 。将黄土和水配制成泥沙质量浓度分别为 30 kg/m^3 、 60 kg/m^3 、 80 kg/m^3 的浑水,把搅拌均匀的含沙浑水通过浑水泵同时泵入置于水平台上的有锥圈和无锥

圈的梭锥管中进行静水沉降试验,试验装置如图2所示。利用秒表每经过 5 min 记录2个梭锥管内浑液面下降的位置,当泥沙基本下沉到梭锥管底部后试验结束。试验中注意观察不同梭锥管中浑液面下降时所发生的现象,并利用数码相机拍摄下来。通过观测泥沙沉降速度来研究锥圈存在与否对泥沙沉降速度的影响,为探明动态浑水水力条件下梭锥管内固液两相流的分离机理奠定基础。

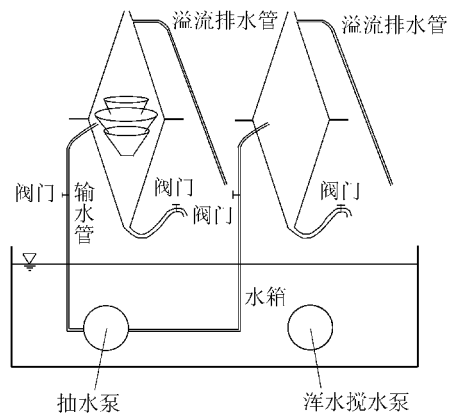


图2 试验装置示意图

试验所用的仪器主要有电子天平、玻璃烧杯、锥形瓶、量筒、秒表、刻度尺、数码相机。

2.2 试验现象及分析

2.2.1 有锥圈和无锥圈梭锥管内泥沙絮凝现象

当混合沙中不包含细颗粒时,不存在絮凝现象,如果包含细颗粒成分则存在絮凝现象。随着含沙量的加大,絮凝现象表现为沉降容器内有一极其缓慢下降的清浑水交界面,即浑液面^[7-8]。3组试验在沉降之初没有出现清晰的浑液面(如图3(a)所示),在经过一段时间后浑液面才出现,且出现位置都在上下2个锥管交界附近,但浑液面出现的时间在有锥圈和无锥圈梭锥管中相差很大。由表1可以看出,泥沙质量浓度为 30 kg/m^3 的浑水进行自由沉降,有锥圈梭锥管经过 17 min 出现浑液面,而无锥圈梭锥管中出现浑液面需要 24 min ,随着泥沙质量浓度不同,出现浑液面的时间也各不相同。泥沙质量浓度越大,出现浑液面的时间越短。笔者认为沉降之初没有出现浑液面的主要原因是上锥管的结构为圆锥形,泥沙在上锥管沉降过程中,从上一断面下沉到下一断面,断面面积是不断扩大的,以至于泥沙不易积聚形成絮团,因而观测不到浑液面。而下锥管为倒

表1 不同泥沙质量浓度的浑水中出现浑液面用时

质量浓度/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	出现浑液面用时/ min	
	有锥圈	无锥圈
30	17	24
60	13	20
80	5	11

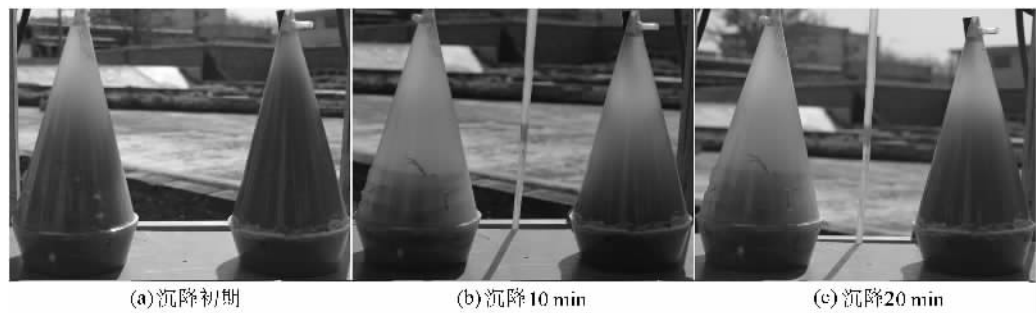


图3 沉降试验观察情况

圆锥形,断面面积逐渐减小,泥沙颗粒之间碰撞几率增大,泥沙更易发生积聚^[9],因而浑液面在上下锥管交界附近出现,如图3(b)(c)所示。

2.2.2 锥圈对泥沙沉降速度的影响

3组试验都观察到相同的现象:当浑水充满2个梭锥管后泥沙开始沉降,上锥管顶部浑水颜色由深变浅(如图3(a)所示),随着时间增长,上锥管顶部浑水由深变浅的范围由顶部向下逐渐扩大(如图3(c)所示)。由图3可知:2个梭锥管同时充满水,经过相同时间后,有锥圈的梭锥管顶部浑水颜色变化比无锥圈梭锥管明显,其范围也更大,说明有锥圈的梭锥管泥沙沉降速度明显较快。

为了比较有锥圈和无锥圈的梭锥管对泥沙沉降速度的影响,在初始条件和边界条件相同情况下对2个梭锥管做了对比试验,结果见表2和图4。图4中 t 为沉降时间, T 为单颗粒泥沙在梭锥管内自由沉降所用的时间, h 为沉降距离, H 为清水溢流出口到底孔的距离。由图4可知在相同时间里,泥沙在有锥圈梭锥管中沉降的距离比在无锥圈梭锥管中沉降的距离大。

试验过程及结果均表明,锥圈存在对加速泥沙的沉降起到了重要的作用,主要是因为液体受到的边界约束不同。根据不同沙粒间的相对位置,它们的沉降速度可能因其他沙粒的运动而加快,也可能

表2 不同时间浑液面下降距离

泥沙质量浓度为 30 kg/m^3			泥沙质量浓度为 60 kg/m^3			泥沙质量浓度为 80 kg/m^3		
沉降时间/ min	有锥圈梭锥管 中混液面下降 距离/cm	无锥圈梭锥管 中混液面下降 距离/cm	沉降时间/ min	有锥圈梭锥管 中混液面下降 距离/cm	无锥圈梭锥管 中混液面下降 距离/cm	沉降时间/ min	有锥圈梭锥管 中混液面下降 距离/cm	无锥圈梭锥管 中混液面下降 距离/cm
17	38.37		13	34.47		5	29.61	
19	38.85		16	35.35		10	32.04	
22	39.34		18	35.93		11	33.01	29.61
24	39.53	38.37	20	36.23	34.67	14	33.60	31.07
30	40.07	39.34	22	36.52	35.25	20	34.67	32.92
35	40.46	39.83	24	36.71	35.64	25	35.35	33.81
40	40.90	40.32	30	37.49	36.52	30	35.93	34.57
45	41.27	40.70	35	37.98	37.10	35	36.32	35.20
50	41.58	41.09	40	38.37	37.59	40	36.71	35.59
55	41.80	41.39	45	38.76	38.08	45	37.15	36.03
60	41.97	41.69	50	39.15	38.37	50	37.49	36.91
65	42.07	41.95	55	39.34	38.66	55	37.88	36.81
			60	39.59	39.00	60	38.17	37.10
			65	39.65	39.32	65	38.61	37.49
			70	39.68	39.63	70	38.76	37.74
						75	39.00	38.03

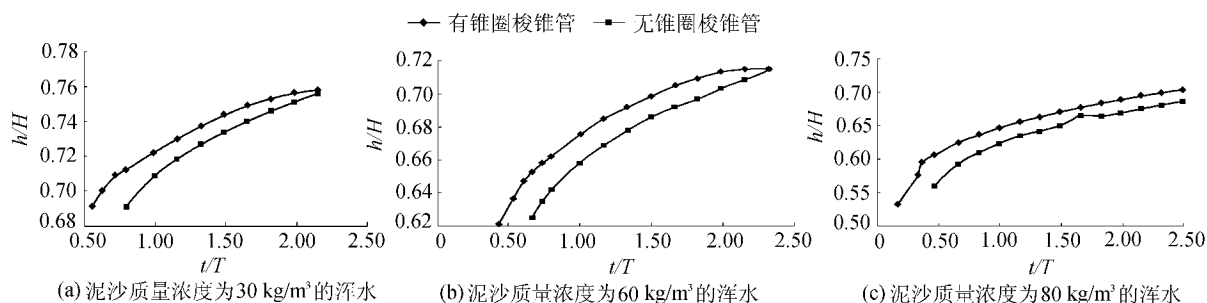


图4 有锥圈及无锥圈梭锥管内 $t/T \sim h/H$ 关系曲线

受其他沙粒运动的影响而变慢。因此,在常见的条件下,时常可能遇到2种情况 ①如果一团聚集成群的泥沙在水体中下沉,周围相当大的范围内都是清水,使得泥沙不再受到外力影响而只在其自身受重力的作用下下沉,则它们的下沉速度要比单颗粒泥沙在无限范围水体中的下沉速度快。②若泥沙均匀地分布在水体中同时下沉,则沙粒之间的相互阻尼使每颗泥沙的沉速都将降低。含沙质量浓度越高,泥沙的沉降速度越小^[7]。

与无锥圈的梭锥管相比,有锥圈梭锥管中布设了多个锥圈,锥圈间有一定间距,泥沙沉降至锥圈壁面上时沉降方向由原来的竖直向下变成与锥圈倾角相同的贴壁流动。随着时间增长,锥圈壁面近区内泥沙浓度逐渐增大,远离壁面区的泥沙浓度逐渐减小,同一水平面上泥沙浓度大小不同,随着锥圈壁面上泥沙的聚集,经过絮凝作用聚集成絮团沿着锥圈外壁面以较大速度流动,根据连续性原理,远离壁面处的“清水”以较大速度沿相邻锥圈的壁面向上流动。而无锥圈的梭锥管内泥沙始终沿着竖直方向沉降,使同一水平面上各点泥沙浓度基本相同,泥沙沙粒间的相互阻尼作用减小了泥沙的自由沉降速度。

另外,根据沉淀理论,沉淀效率是沉淀面积的函数,面积越大,沉淀效率越高^[10-12]。在梭锥管中装设了相互套叠的锥圈后,锥圈的水平投影面积就是所增加的沉淀面积。由图5(a)可以看出,无锥圈的普通梭锥管的泥沙沉淀面积为下锥管壁面在水平面的投影面积,即 $S_1 = \pi D^2/4$;有锥圈梭锥管的泥沙沉淀面积(图5(b))为下锥管壁面与锥圈壁面在水平面的投影之和,即 $S_2 = \pi D^2/4 + \pi d^2/4 - \pi a^2/4$ 。显然 $S_1 < S_2$,有锥圈的梭锥管沉淀效率更高。由于锥圈存在,泥沙不是沿着锥管竖直方向流动,而是在2个锥圈之间沿着壁面流动,使泥沙沉降距离缩短,即由原高度缩短为2个锥圈间的垂直距离,从而减少了沉降时间。

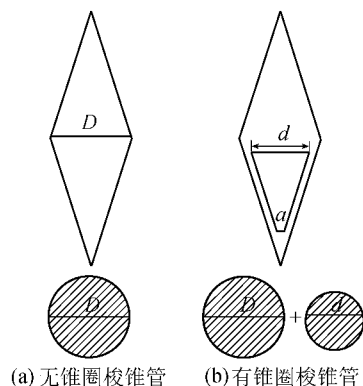


图5 梭锥管沉淀面积示意图

3 结 语

对有锥圈和无锥圈梭锥管对含不同质量浓度泥沙的浑水进行了沉降试验,结果表明,有锥圈梭锥管中泥沙的沉降速度比无锥圈梭锥管中的快。笔者认为,锥圈的存在改变了泥沙的沉降方向,缩短了沉降距离,提高了其沉降速度,此外,增加了沉降面积,有利于加速泥沙的沉降。因此,在后续的动水沉降试验中,为了提高泥沙的沉降速度,可以适当增加锥圈数量,以提高梭锥管的水沙分离性能。

参考文献:

- [1] 王华生,刘祖文.沉淀工艺的现状及其发展趋势[J].铜业工程,2004(1):54-56.
- [2] 段龙武.改善斜管沉淀池沉淀效果的工程措施[J].沈阳大学学报,2003,14(9):10-12.
- [3] 刘振中.斜板沉淀池优化设计研究[J].南昌大学学报,2006,28(4):401-404.
- [4] 董文楚.微灌用砂过滤器水力性能研究[J].喷灌技术,1996(1):7-14.
- [5] 宗全利,刘焕芳,吴均.连续冲洗式沉沙池截沙率试验研究[J].水利水电科技进展,2008,28(1):16-19.
- [6] 周鑫根.平流式沉淀池设计新方法[J].中国给水排水,1988(6):43-46.
- [7] 钱宁,万兆惠.泥沙运动力学[M].北京:科学出版社,1983.
- [8] 朱超,邱秀云,严跃成.垂向异重流式水沙分离器水沙分离机理浅析[J].水利水电科技进展,2009,29(5):20-23.
- [9] 李九发.长江河口絮凝泥沙颗粒粒径与浮泥形成现场观测[J].泥沙研究,2008(1):26-32.
- [10] 王大成,付振强.异向流斜板沉淀池及其尺寸的确定[J].四川水利,1993,14(6):40-42.
- [11] 于尔捷,张杰.给水排水工程快速设计手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1996.
- [12] BANDROWSKI J, HEHLMANN J, MERTA H, et al. Studies of sedimentation in settlers with packing[J]. Chem Eng Process, 1997, 36(3):219-229.

(收稿日期:2010-05-14 编辑:高建群)

