

旋转网筒过滤器转速变化规律及影响因素研究

周洋, 陶洪飞, 杨文新, 马合木江·艾合买提, 李巧, 姜有为, 李莎

(新疆农业大学水利与土木工程学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

摘要: 为了探索网筒转动对延缓过滤器堵塞问题的影响以及转速的影响因素, 分别在不同流量和含沙量条件下进行室内物理模型试验, 分析了转速随过滤时间的变化规律及其影响因素。试验结果表明: 浑水条件下转速随流量的增大幅度低于清水条件, 含沙量对网筒转速有重要影响; 网筒转速随流量的增大而增大, 流量增大的初始时刻网筒转速加快, 网筒转动持续时间延长; 相反, 网筒转速随含沙量的增大而减小, 含沙量越大, 初始时刻网筒转速越低, 网筒转速下降越快, 网筒停止转动时间提前。分析认为, 进水流量和含沙量的共同作用导致了网筒转速的变化。通过对过滤池内泥沙质量对比分析可知, 网筒转动有利于延缓堵塞、提高过滤效率。因此, 在实际工程中可以考虑利用网筒转动来达到延缓堵塞的目的。

关键词: 微灌系统; 旋转网筒过滤器; 堵塞; 含沙量; 流量; 转速

中图分类号: TV93; S275.5

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2020)06-0243-06

Variation law of the rotational speed of rotating mesh cylinder filters and its influencing factors

ZHOU Yang, TAO Hongfei, YANG Wenxin, Mahemujiang · AIHEMAITI,

LI Qiao, JIANG Youwei, LI Sha

(College of Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: In order to explore the influence of the rotation of the mesh cylinder on delaying the clogging of the filter and the factors affecting the rotational speed, indoor physical model tests were carried out under the conditions of different flow rate and sediment content, and the variation of rotational speed with the filtration time and its influencing factors were analyzed. The test results show that the rotational speed of the mesh cylinder increases with the increase of flow rate, but the increase under muddy water condition is much lower than that under clean water condition, and the sand content also has an important effect on the rotational speed of the mesh cylinder. With the increase of the flow rate, the rotational speed of the mesh cylinder increases at the initial moment, and the duration of the rotation of the mesh cylinder is prolonged. On the contrary, the rotational speed of the mesh cylinder gradually decreases with the increase of the sand content. The larger the sand content, the lower the rotational speed of the mesh cylinder at the initial moment, the faster the rotational speed drop of the mesh cylinder, so the termination time of the rotation is brought forward. The analysis suggests that the combined effect of influent flow and sediment content causes changes in rotational speed. According to the comparative analysis of the sediment quality in the filter tank, it can be known that the rotation of the mesh cylinder is conducive to delaying clogging and improving filtration efficiency. Therefore, in practical engineering, the rotation of the mesh cylinder can be taken advantage of in order to delay the clogging.

Key words: micro-irrigation system; rotating mesh cylinder filter; clogging; sand content; flow rate; rota-

收稿日期: 2020-02-05; 修回日期: 2020-06-09

基金项目: 新疆维吾尔自治区创新环境(人才、基地)建设专项-自然科学基金项目(2020D01B33); 国家自然科学基金项目(41762018); 新疆水利工程重点学科研究项目(SLXK2017-01、SLXK2018-05); “天山青年计划”项目(青年博士科技人才)

作者简介: 周洋(1997-), 男, 新疆库车人, 硕士研究生, 主要从事节水新技术和新设备研究。

通讯作者: 陶洪飞(1987-), 男, 四川南充人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事节水新技术和新设备及计算水力学研究。

tional speed

1 研究背景

水资源短缺、利用效率低等问题严重制约着我国国民经济的快速发展,解决水资源短缺问题的主要途径就是发展节水农业^[1]。微灌作为一种先进的高效节水灌溉方式,因其具有明显的节水增产效果,在新疆地区得到广泛应用。新疆地区灌溉水源多为地表水,含有不同程度的污物及杂质,容易造成灌水器的堵塞。过滤器作为微灌系统的关键设备,能够对灌溉水源进行净化处理,从而保证微灌系统安全稳定运行。网式过滤器具有结构简单,造价低,反冲洗方便等优点在新疆地区得到广泛应用。

现有网式过滤器的研究主要包括水力性能、流场、过滤机理以及综合评价指标等。例如:刘焕芳等^[2]对自吸网式过滤器进行水力性能试验,发现过滤时间的变化规律并非呈线性,并对自清洗时间进行了计算。郑铁刚等^[3]对自吸自动网式过滤器进行水力性能试验,得出了水头损失随流量的变化规律,通过试验研究和回归分析得出自吸自动网式过滤器的水头损失计算公式。宗全利等^[4]对自清洗网式过滤器排污压差进行了计算,分析了流量、含沙情况、过滤时间等对排污压差的影响规律,获得了清水和浑水水头损失变化曲线,给出了过滤器最佳排污压差值。Wu 等^[5]、Yurdem 等^[6]、Zong 等^[7]和 Duran - Ros 等^[8]采用量纲分析法建立了过滤器的水头损失预测模型,模型具有较好的预测精度。Ali 等^[9]设计了两种水轮驱动的工业用滚筒过滤机,并对其性能进行分析,发现流量对过滤器表面积和转速影响较大,水轮驱动方式节能效果显著。阿力甫江·阿不里米提等^[10]对鱼雷网式过滤器内部全流场进行数值模拟,结果表明,鱼雷部件和出水口边界条件对过滤器的速度场和压力场分布规律影响很大。王新坤等^[11]以阿速德(AZUD)网式过滤器为研究对象,采用多孔介质模型对过滤器内部流场进行数值模拟,优化了过滤器筒体形状、进出口位置和进出口角度,改善了过滤器内部流场分布。陶洪飞等^[12-14]研究了流量、滤网孔径、出水管角度对网式过滤器内部流场的影响,并为过滤器的优化设计提出了建议。喻黎明等^[15-16]采用 CFD - DEM 耦合模型模拟了网式过滤器内部流场、沙粒的运动及分布,为过滤器的结构优化提供参考。宗全利等^[17]对网式过滤器滤网堵塞的成因及压降进行了分析计算,结果表明,滤网孔径和水流含沙量是影响滤网堵塞

的重要因素,并根据试验结果建立了滤网内外压降与滤网孔径、厚度、孔隙率和滤饼厚度等的定量关系式。王新坤等^[18]为降低微灌过滤装置造价与运行费用,建立了单体过滤器优化选型与单级组合过滤装置优化配置的数学模型。

现有网式过滤器多采用泵后过滤,即水泵将沉沙池尾部的水流抽入过滤器后,进行过滤和冲洗,这种强压过滤和冲洗方式存在水头损失大和过滤效率低的问题。针对现有网式过滤器的不足,将泵后强压过滤冲洗改为泵前过滤,以降低水头损失,并通过低功率水泵驱动使以前固定在罐体内的滤网发生转动,以提高效率,从而发明了旋转网筒过滤器(专利号:ZL 201820770880.4)。由于该过滤器与现有过滤器的结构及运行方式不同,因此对其进行专门的研究很有必要。本文选用的旋转网筒过滤器主要采用 80 目不锈钢滤网进行过滤,通过改变 5 种不同进水含沙量($S = 0.5、0.8、1.2、1.5、2.5 \text{ g/L}$)及 5 种不同流量($Q = 1.2、1.7、2.4、3.0、3.5 \text{ m}^3/\text{h}$)对旋转网筒过滤器转速的变化规律和过滤池内的泥沙质量进行探讨,为进一步降低网式过滤器的水头损失、延缓堵塞提供依据。

2 材料与方法

2.1 试验装置及工作原理

旋转网筒过滤器布置在沉砂池的尾部位置,通过支撑杆轴悬挂于过滤池的上部,过滤筒体不与过滤池内的滤后水流相接触。这种布置方式的优点在于操作简单,拆卸方便,同时还可以避免滤后水流对网筒转速的影响,从而节约能源。旋转网筒过滤器由过滤筒体、滤网、叶片、转轴构成,网筒前端开有圆孔,滤网外侧安装有支撑杆轴,网筒尾部安装有排污阀门。本次试验所用过滤器相关参数如下:网筒直径为 21 cm,长为 51.5 cm,滤网为 80 目,有效长度为 25.5 cm。叶片的参数及布置方式会影响过滤网筒的转速,本次试验叶片为长 10 cm,宽 2.5 cm 的矩形叶片,叶片间距为 3.5 cm,以与杆轴线方向呈 15° 的夹角布置于网筒内部。图 1 为旋转网筒过滤器的结构图。

试验装置由蓄水池、过滤池、集污池 3 大部分组成,蓄水池由长方形蓄水桶代替,用于向过滤池供水,其长度为 67.5 cm,宽 46 cm,高 35.5 cm。过滤池长 60.5 cm、宽 42.5 cm、高 51 cm,集污池长 22 cm,宽 42.5 cm,高 51 cm,过滤池及集污池为一整

体,其材料为有机玻璃,整个试验装置为一循环系统,图2为试验循环系统示意图。

试验装置的工作原理:蓄水池内的搅水泵将浑水充分搅拌均匀后,打开抽水泵(低功率水泵,模拟沉沙池尾部水流所具有的微小水头),浑水通过进水管均匀的进入过滤器,水流冲击叶片带动整个过滤网筒转动,由内而外进行水沙分离。分离后的清水以及小于滤网孔径的泥沙颗粒进入过滤池底部,过滤器内部的泥沙颗粒由排污管排至集污池内,循环水泵将滤后水抽至蓄水池内,重新混合后进入下一个循环。

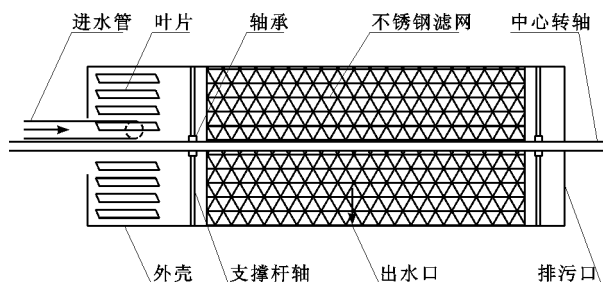


图1 旋转网筒过滤器结构图

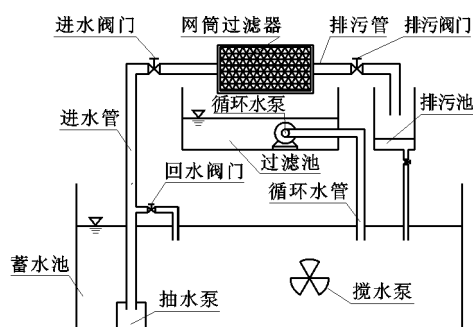


图2 试验循环系统示意图

2.2 试验方法

试验分为清水试验和浑水试验。清水试验条件下,滤网不会发生堵塞,主要测取网筒转速随进水流量的变化关系。在浑水试验中,由于泥沙颗粒在网筒内部聚集并逐渐堵塞过滤网孔,随着过滤时间的延长,网筒转速逐渐减小直至停止。为了探究浑水条件下转速随过滤时间的变化规律以及网筒转动对过滤效果的影响,分别在相同含沙量和相同流量条件下进行试验。

相同含沙量试验为保持进水含沙量一定时,测取不同流量($Q = 1.2、1.7、2.4、3.0、3.5 \text{ m}^3/\text{h}$)对应的转速随过滤时间的变化关系;相同流量试验为进水流量一定时,测取不同进水含沙量($S = 0.5、0.8、1.2、1.5、2.5 \text{ g/L}$)条件下,网筒转速随过滤时

间的变化关系。每次试验结束后,对过滤池内聚集的泥沙颗粒进行收集、分析,将滤网及过滤池冲洗干净,再进行下一次试验。

2.3 试验材料

由于本试验所用滤网为80目,故选取较大粒径泥沙进行试验,图3为试验泥沙粒径级配曲线,小于 0.075 mm 的泥沙含量占 2.47% ,其中值粒径 $D_{50} = 0.28 \text{ mm}$,大于 0.315 mm 的约占 39% 。

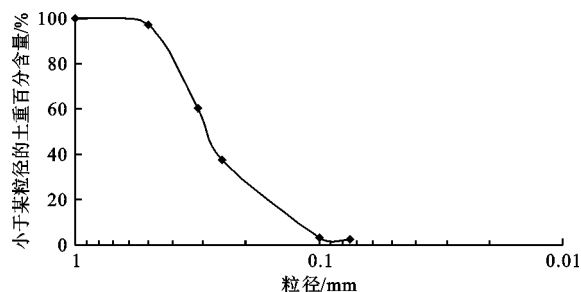


图3 试验泥沙粒径级配曲线

试验所用的仪器主要有:过滤器1个、电子天平1个、搅水泵1台、抽水泵2台、泥浆泵1台、500 mL锥形瓶1个、玻璃烧杯2个、秒表2个、红外测温仪1个、蓄水桶1个、1 000 mL量杯10个。

3 结果与分析

3.1 清水条件下网筒转速与流量的关系

清水试验分别在流量为 $1.2、1.7、2.4、3.0、3.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 条件下进行,每个流量条件下进行3次重复试验,记录过滤网筒所转圈数,采用秒表记录相应时间,计算出各个流量条件下网筒的转速。对试验数据处理后进行线性回归分析,图4为清水条件下过滤网筒转速与流量的关系。

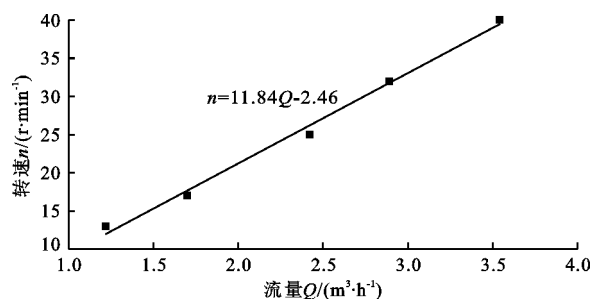


图4 清水条件下过滤网筒转速与流量的关系

由图4可知,过滤网筒转速随流量的增大而增大。对试验数据点进行了线性拟合,拟合方程为 $n = 11.84Q - 2.46$,其决定系数 R^2 为 0.99 ,拟合度较高,表明清水条件下,过滤网筒转速与流量具有较强的相关性。

3.2 浑水条件下进水流量对网筒转速的影响

在相同进水含沙量条件下进行试验,改变进水流量分别为 1.2、1.7、2.4、3.0、3.5 m^3/h ,通过对网

筒转速和过滤时间的测定,绘制了转速随过滤时间的变化曲线,图 5 为进水水流不同含沙量时,各进水流量下网筒转速随过滤时间的变化曲线。

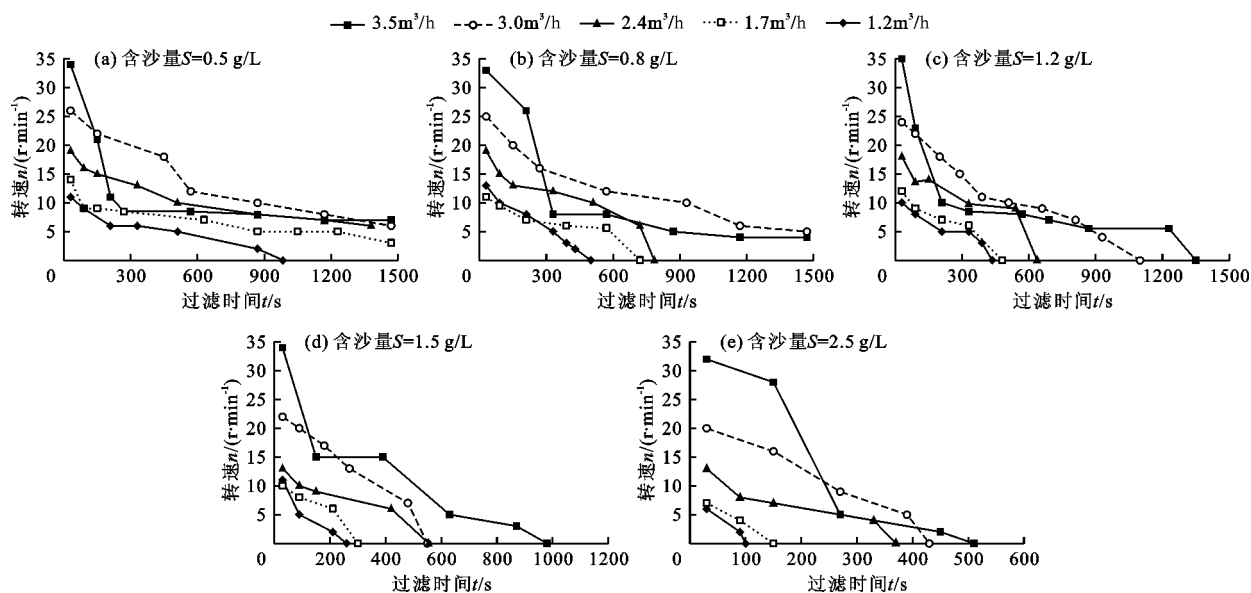


图 5 不同含沙量各进水流量下网筒转速随过滤时间的变化曲线

由图 5 可知,不同含沙量的各进水流量条件下,网筒转速总体上均随过滤时间的延长而逐渐减小。当进水流量由 1.2 m^3/h 逐渐增长到 3.5 m^3/h 时,网筒转速随流量的增大而增大,但试验发现,在整个过滤周期内,流量为 3.5 m^3/h 时对应的网筒转速并不一直处于最大。这表明浑水条件下转速与流量的关系不同于清水条件,主要原因在于,清水条件下,流量的增大会直接导致网筒驱动力的增大,从而转速得到显著的提升。而浑水条件下,流量的增大不但增大了网筒驱动力,而且增加了网筒内的泥沙质量,由于泥沙颗粒在网筒内表面的不均匀分布,导致浑水条件下转速的不稳定性。

由图 5 还可以看出,在含沙量一定的条件下,流量增大,初始时刻网筒转速会增大,网筒转动的持续时间会延长。以含沙量为 1.2 g/L 为例,流量从 1.2 m^3/h 增大到 3.5 m^3/h 时,初始时刻网筒转速增大了 2.5 倍,网筒转动持续时间延长了 2.15 倍。试验发现,在最小含沙量(0.5 g/L)和最大含沙量(2.5 g/L)时,随着流量的逐渐增大,网筒转动的持续时间增加幅度不大。主要原因是,在最小含沙量时,随着流量的增大,网筒质量缓慢增加,从而对转动持续时间影响不大,而含沙量增大到最大时,网筒质量显著增加,而驱动力有限,使网筒在较短时间内停止转动,从而导致网筒转动持续时间差异微小。

3.3 浑水条件下进水流量对网筒转速的影响

在相同进水流量条件下进行试验,改变进水含沙量分别为 0.5、0.8、1.2、1.5、2.5 g/L ,通过对转速和过滤时间的测定,绘制了转速随过滤时间的变化曲线,图 6 为不同进水流量时,各含沙量下网筒转速随过滤时间的变化曲线。

由图 6 可知,不同进水流量各含沙量条件下,网筒转速随过滤时间的延长而逐渐降低。在流量一定条件下,随着进水含沙量的逐渐增大,网筒转速变化曲线逐渐由缓变陡,转速的下降速度加快,网筒转动持续时间明显缩短。以流量为 1.7 m^3/h 为例,含沙量为 0.5 g/L 时网筒转动持续时间为 2.5 g/L 时的 16.3 倍,这表明,进水含沙量对网筒转速有重要影响。这是因为,当进水流量一定时,装置的驱动力大小不变,随着进水含沙量的逐渐增大,单位时间进入网筒内部的泥沙颗粒会增多,引起网筒质量的增加,从而导致网筒转动持续时间的缩短。

分析图 6 可知,在不同进水含沙量条件下,在过滤开始的初始时刻,网筒转速迅速达到最大值,随后,转速随时间的延长逐渐降低直至停止转动。初始时刻网筒转速差异明显,总的来说,进水含沙量越大,初始时刻网筒转速越小。并且由含沙量引起的初始时刻网筒转速的差异会随着流量的增大而逐渐减小。例如,当流量为 1.2 m^3/h 时,不同含沙量条

件下,初始时刻最大转速为最小转速的 2.2 倍,当流量增大到 $3.5\text{ m}^3/\text{h}$ 时,初始时刻最大转速为最小转速的 1.09 倍。这表明,网筒初始时刻转速受到含沙量和流量的共同影响,两者的共同作用决定了初始转速的大小。

由图 6 还可看出,网筒停止转动的时间与进水

含沙量有关,进水含沙量增大,网筒停止转动的时间将会提前。其主要原因是,流量一定时,网筒驱动力大小不变,含沙量的增大会引起网筒质量的增加,当网筒重力和摩擦力之和超过驱动力时,网筒停止转动。试验表明,进水含沙量对网筒初始转速和停止转动的时间有影响。

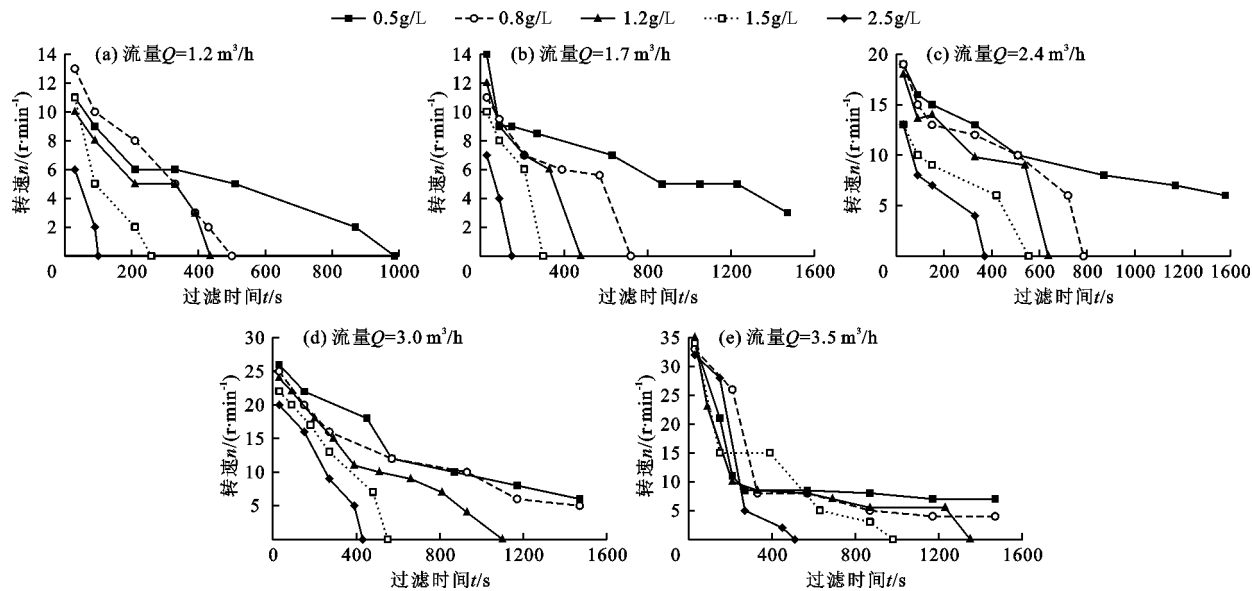


图 6 不同进水流量各含沙量下网筒转速随过滤时间的变化曲线

3.4 过滤池底部泥沙质量分析

浑水试验在不同流量和不同含沙量条件下进行,每组试验结束后,对过滤池内的泥沙颗粒进行收集,分别进行烘干、称重、筛分后得到其泥沙质量分布情况,表 1 为不同进水流量及含沙量条件下出水泥沙各粒径质量分布。

表 1 不同进水流量及含沙量条件下出水泥沙各粒径质量分布

进水 流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	进水 含沙量/ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	出水泥沙各粒径质量/g				总计
		≥ 0.18 mm	0.1 ~ 0.18mm	0.075 ~ 0.1mm	0.0385 ~ 0.075mm	
1.7	0.5	15.90	7.47	3.66	1.13	28.16
2.4	0.5	16.71	5.46	3.04	1.41	26.62
3.0	0.5	12.14	2.36	1.01	0.81	16.32
1.7	1.2	24.33	6.81	6.84	2.00	39.98
2.4	1.2	23.21	6.89	4.90	1.05	36.05
3.0	1.2	14.75	3.15	4.15	0.64	22.69
1.7	1.5	30.51	9.04	7.98	1.36	48.89
3.0	1.5	27.04	10.80	3.77	1.25	42.86
3.5	1.5	26.57	7.51	2.22	0.72	37.02

由表 1 可知,在进水流量一定的情况下,随着进水含沙量的增大,过滤后水体的总含沙质量逐渐增大,符合质量守恒定律。并且在过滤池底部的泥沙颗粒中,粒径大于等于 0.18 mm 的泥沙占主要部分(超过 50%)。而在进水含沙量一定的条件下,随着进水流量的逐渐增大,过滤后水体的总含沙质量逐渐减小。当进水含沙量相同时,流量增大使网筒转速加快,增大了泥沙颗粒与滤网接触的面积及频率,从而增大了泥沙颗粒的捕集效率,出现过滤池内的泥沙质量随网筒转速的增加而逐渐降低的现象。这表明,增大网筒转速可以降低出水含沙量。

4 结 论

(1)清水试验结果表明,进水流量的大小对网筒转速有显著影响,进水流量越大,则网筒转速越快。拟合得到了清水条件下网筒转速与流量的关系式为 $n = 11.84Q - 2.46$ 。

(2)浑水试验结果表明,进水流量和含沙量均对网筒转速有重要影响。网筒转速随进水流量的增大而增大,增大进水流量,可以增加初始时刻网筒转速,延长网筒转动的持续时间。网筒转速随进水含沙量的增大

而减小,当进水含沙量增大时,网筒初始时刻转速降低、转速下降速度加快、网筒停止转动的时间提前。试验表明,网筒转速变化是进水流量和含沙量共同作用的结果。

(3)网筒的转动增大了泥沙颗粒与滤网接触的面积以及频率,延缓了网孔堵塞,增大了泥沙颗粒被捕集的可能性,从而提高了过滤效率。

参考文献:

- [1] 李云开,冯吉,宋鹏,等. 低碳环保型滴灌技术体系构建与研究现状分析[J]. 农业机械学报, 2016,47(6): 83-92.
- [2] 刘焕芳,郑铁刚,刘飞,等. 自吸网式过滤器过滤时间与自清洗时间变化规律分析[J]. 农业机械学报, 2010,41(7): 80-83.
- [3] 郑铁刚,刘焕芳,刘飞,等. 自清洗过滤器排污系统的水力计算[J]. 水利水电科技进展, 2010,30(3): 8-11.
- [4] 宗全利,刘飞,刘焕芳,等. 滴灌用自清洗网式过滤器排污压差计算方法[J]. 农业机械学报, 2012,43(11): 107-112.
- [5] WU Wenyong, CHEN Wei, LIU Honglu, et al. A new model for head loss assessment of screen filters developed with dimensional analysis in drip irrigation systems[J]. Irrigation and Drainage, 2014,63(4): 523-531.
- [6] YURDEM H, DEMIR V, DEGIRMENCIOGLU A. Development of a mathematical model to predict head losses from disc filters in drip irrigation systems using dimensional analysis[J]. Biosystems Engineering, 2008,100(1): 14-23.
- [7] ZONG Quanli, ZHENG Tiegang, LIU Huanfang, et al. Development of head loss equations for self-cleaning screen filters in drip irrigation systems using dimensional analysis[J]. Biosystems Engineering, 2015,133: 116-127.
- [8] DURAN-ROS M, ARBAT G, BARRAGÁN J, et al. Assessment of head loss equations developed with dimensional analysis for micro irrigation filters using effluents[J]. Biosystems Engineering, 2010,106(4): 521-526.
- [9] ALI S A. Design and evaluate a drum screen filter driven by undershot waterwheel for aquaculture recirculating systems[J]. Aquacultural Engineering, 2013,54: 38-44.
- [10] 阿力甫江·阿不里米提,虎胆·吐马尔白,木拉提·玉赛音,等. 微灌鱼雷网式过滤器全流场数值模拟[J]. 农业工程学报, 2017,33(3): 107-112.
- [11] 王新坤,高世凯,夏立平,等. 微灌用网式过滤器数值模拟与结构优化[J]. 排灌机械工程学报, 2013,31(8): 719-723.
- [12] 陶洪飞,滕晓静,赵经华,等. 不同流量下全自动网式过滤器内部流场的数值模拟[J]. 水电能源科学, 2016, 34(12): 180-185.
- [13] 陶洪飞,朱玲玲,马英杰,等. 滤网孔径对网式过滤器内部流场的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017,36(12): 68-74.
- [14] 陶洪飞,滕晓静,马英杰,等. 出水管角度对网式过滤器内部流场影响研究[J]. 节水灌溉, 2017(8): 21-25+29.
- [15] 喻黎明,徐洲,杨具瑞,等. CFD-DEM 耦合模拟网式过滤器局部堵塞[J]. 农业工程学报, 2018,34(18): 130-137.
- [16] 喻黎明,徐洲,杨具瑞,等. 基于 CFD-DEM 耦合的网式过滤器水沙运动数值模拟[J]. 农业机械学报, 2018,49(3): 303-308.
- [17] 宗全利,杨洪飞,刘贞姬,等. 网式过滤器滤网堵塞成因分析与压降计算[J]. 农业机械学报, 2017,48(9): 215-222.
- [18] 王新坤,许颖,涂琴. 微灌系统过滤装置优化选型与配置[J]. 农业工程学报, 2011,27(10): 160-163.