

流量对微压过滤冲洗池过滤性能的影响研究

杨圆坤, 陶洪飞, 牧振伟, 李巧, 马合木江·艾合买提, 杨文新, 姜有为
(新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 为研究微压过滤冲洗池在不同流量下的过滤性能,开展了流量为 5.4、9.1、12.4、15.4、18.5 m³/h 下的物理模型试验。结果表明:不同流量下,微压过滤冲洗池的过滤情况可分为滤网过滤、滤饼过滤和挤压过滤 3 个阶段;流量对微压过滤冲洗池的泥沙去除效率影响不大,均为 66% 左右;0.125 mm 以上泥沙的粒级效率达到 100%,符合微灌或喷灌对水质的要求;流量为 5.4 m³/h 下的过滤时间和拦截的泥沙质量分别为 18.5 m³/h 的 3.44 倍和 2.32 倍,一旦超过对应流量下的过滤时间,则需进行排污,否则易损坏滤网;流量越小,微压过滤冲洗池的过滤时间越长,滤网能拦截的泥沙越多,尤其是小于滤网孔径的细小颗粒。

关键词: 微灌系统; 网式过滤器; 微压过滤冲洗池; 过滤性能; 流量; 含沙量

中图分类号: S275.5

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2019)04-0244-06

Research on influence of flow on filtration performance of filtering and washing pool under micro-pressure

YANG Yuankun, TAO Hongfei, MU Zhenwei, LI Qiao, Mahemujiango Aihemaiti,
YANG Wenxin, JIANG Youwei

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

Abstract: In order to study the filtration performance of the filtering and washing pool under micro-pressure (PFWMP) in different flow conditions, The physical model tests with flow rates of 5.4, 9.1, 12.4, 15.4 and 18.5 m³/h were carried out. The results showed that under different flow rates, that filtration situation of the PFWMP can be divided into three stages: the filter screen filter, filter cake filter and squeeze filter. The sediment removal rate of the PFWMP was about 66%. The grain size efficiency of sediment above 0.125 mm was 100%, which met the requirement of micro-irrigation or sprinkler irrigation for water quality. Its filtration time and interception of sediment weight of the situation under 5.4 m³/h flow was as 3.44 times and 2.32 times as the situation under 18.5 m³/h flow. Once the corresponding flow can be carried out to filter work time, filtration screen needed blowdown, otherwise easy damaged to the filter screen. Flow rate had little effect on sediment removal efficiency of the PFWMP. The smaller the flow, the longer the filtration time of the PFWMP, the more sediment can be intercepted by the filter screen, especially for the fine particles smaller than the aperture of the filter screen.

Key words: micro-irrigation system; screen filter; filtering and washing pool under micro-pressure; filtration performance; flow; sediment concentration

1 研究背景

我国农业灌溉用水紧张,节水灌溉技术的推广

显得尤为重要。新疆的农业灌溉用水 80% 以上来自地面水源,它们携带的大量泥沙极易堵塞灌水器,过滤设备则起到清除水中杂质,保证微灌系统正常

收稿日期:2019-03-04; 修回日期:2019-05-06

基金项目:新疆维吾尔自治区高校科研计划应用技术与转化项目(技术推广)(XJEDU2017A002);新疆维吾尔自治区高校科研计划创新团队项目(XJEDU2017T004);新疆水利工程重点学科研究项目及新疆水利科技项目;新疆农业大学研究生科研创新项目(XJAUGRI2018-005)

作者简介:杨圆坤(1994-),男,新疆阿克苏人,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,讲师,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。

运行的作用^[1-3]。

网式过滤器是一种常见的过滤设备,国内外诸多学者对其水力性能及内部流场做了相关研究。刘飞等^[4]通过自清洗网式过滤器在清水和浑水条件下,拟合出80和120目的水头损失计算公式。刘晓初等^[5]得出清水条件下120目的Y型筛网式过滤器在 $5.65 \text{ m}^3/\text{h}$ 下的水头损失达1.5 m。阿力甫江·阿不里米提等^[6-7]研究了鱼雷网式过滤器水头损失,该过滤器在清水条件、 $300 \text{ m}^3/\text{h}$ 情况下120目滤网的水头损失达3.2 m,并且水头损失会随过滤时间的推移不断增加。Puig-Bargués等^[8]采用量纲分析方法建立了微灌用网式过滤器水头损失计算的通用数学模型。Duran-Ros等^[9]基于Puig-Bargués等^[8]和Yurdem等^[10]的研究成果,采用量纲分析方法推导和建立了新的水头损失数学模型。Wu Wenyong等^[11]考虑网式过滤器结构尺寸和影响滤网过滤介质的因素,结合试验数据和量纲分析方法,建立了水头损失改进的计算数学模型。在以上研究结果基础上,Zong Quanli等^[12]结合试验数据和考虑11个影响水头损失的影响因素,分别建立了计算清水和浑水条件下自清洗网式过滤器水头损失方程。在对微灌用网式过滤器做流场分析时,计算流体动力学(CFD)得以广泛应用。王新坤等^[13]采用多孔介质模型对进水口直径为50mm的阿素德(AZUD)普通微灌网式过滤器内部进行数值模拟,得到了其内部的速度分布和水力特性。李浩等^[14]通过研究发现微灌网式过滤器的压力水头损失主要发生在滤网两侧。陶洪飞等^[15-17]模拟了网式过滤器中的清水流场,探讨了流量及滤网孔径对其内部流场的影响,在此基础上进行了结构优化,提出了渐缩式网式过滤器。喻黎明等^[18-19]以CFD-DEM耦合模拟Y型网式过滤器内部的流场和泥沙,得出其出口侧上端面有更好的过滤性能及压差主要发生在滤网两侧。通过对网式过滤器流场进行分析,了解其工作时的水力特性,可以更好地优化网式过滤器的内部结构,使其更好地应用于微灌系统中。

网式过滤器属于泵后高压过滤,会产生较大的水头损失,在处理高含沙量的地表水时,网式过滤器极易堵塞,造成出水量无法满足下游灌水量要求。因此,陶洪飞等^[20-21]提出了一种新型、泵前、绿色环保的处理泥沙的工程措施,即微压过滤冲洗池,目前已获发明专利,专利号为:ZL201610063409.7。并已对微压过滤冲洗池的过滤能力和排污方式进行了探究,得出微压过滤冲洗池的污物处理能力较高,过滤

后的水能够满足灌溉需水及其水质的要求,同时也给出了定时冲洗和连续冲洗这两种排污方式在实际工程中应用的建议。流量是影响微压过滤冲洗池的一个关键因素,本文在前期研究的基础上,探讨了流量对其过滤性能的影响,从而为微压过滤冲洗池的结构优化和推广应用提供理论依据和技术支撑。

2 试验装置及其工作原理

本试验的室内试验装置由浑水池、进水箱及微压过滤冲洗池构成,如图1所示。微压过滤冲洗池的长度、宽度、高度分别为70、50、70 cm,其核心过滤元件为绵纶过滤网,孔径0.125 mm,面积为 2400 cm^2 ,孔隙率为15%。此次试验采用定时冲洗的排污方式^[21],故将过滤网一头绑扎在连接管上,另一头封闭。进水管、回水管、连接管、出水管的内径分别为5、5、11、11 cm。试验装置的工作原理^[21]是搅水泵使浑水池中的泥沙和水充分搅拌,吸水泵将搅拌均匀的浑水通过进水管抽入进水箱中,回水阀可以调节流量。待进水箱水位升高,通过连接管进入微压过滤冲洗池中,在微压(水箱中的水头)作用下,利用柔性滤网,实现由内向外的过滤,泥沙被截留在过滤网内。过滤的清水经出水管回到浑水池中,过滤结束后,取下滤网进行清洗。

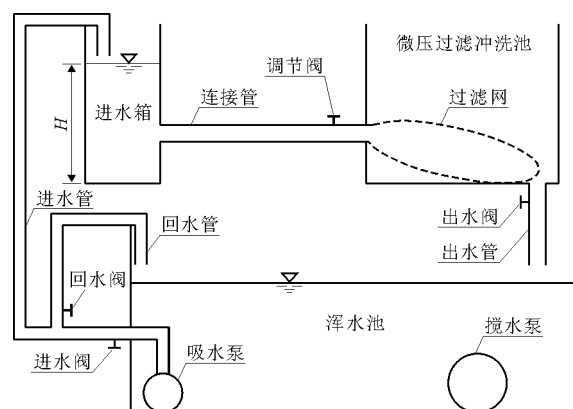


图1 微压过滤冲洗池结构示意图

3 材料与方法

3.1 试验沙样

试验用的泥沙颗粒级配曲线如图2所示:大于0.05 mm的泥沙含量占87.1%,0.002~0.05 mm的泥沙占12.5%,泥沙的粗端粒径 D_{98} 为0.47 mm,其中,大于滤网孔径(0.125 mm)的泥沙占59%以上。

3.2 试验方案

为探究微压过滤冲洗池在不同流量下的过滤性

能,在过滤网处于非淹没自由出流状态、浑水含沙量为 0.4 kg/m^3 ,开展了 5 组不同流量(5.4、9.1、12.4、15.4、18.5 m^3/h)的试验。具体步骤如下:将称量好的泥沙倒入盛有清水的浑水池中,启动搅水泵,经充分搅拌后,量测浑水的含沙量;待含沙量满足试验设计要求时,开启进水阀;通过吸水泵将浑水抽入微压过滤冲洗池中,同时测出进水流量的大小(该流量可根据进水阀和回水阀共同调节);然后开始计时,并利用钢尺量测水箱和微压过滤冲洗池的水深。而后,同步量测出浑水池和滤液的含沙量;当浑水池中的含沙量低于试验设计含沙量时,加入一定量的泥沙;当过滤网达到极限状态时,试验结束。之后,量测过滤网及湿样泥沙的重量,清洗滤网,换下组流量,重复以上步骤。利用数码相机记录整个试验过程的试验现象。

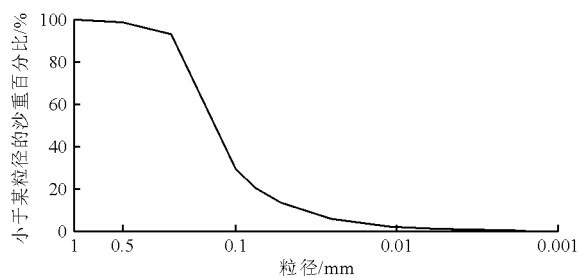


图2 试验沙样颗分曲线

3.3 含沙量的测量方法

本次试验采用置换法原理获得含沙量,既能保证精度,又能提高试验效率。试验时用 0.8 L 的玻璃烧杯、0.5 L 带毛玻璃片的锥形瓶、分度值为 0.01 g 的电子天平和量程 $0 \sim 50^\circ\text{C}$ 的水银温度计获得相关数值,代入公式(1)便得含沙量^[20]。

$$S = \frac{(\rho_m - \rho) \cdot \rho_s}{\rho_s - \rho} = \frac{\left(\frac{m_{\text{瓶+水}} - m_{\text{瓶}}}{V_{\text{瓶}}} - \rho\right) \cdot \rho_s}{\rho_s - \rho} \quad (1)$$

式中: S 为含沙量, kg/m^3 ; ρ 为清水密度, kg/m^3 ; ρ_s 为试验用沙密度, kg/m^3 ; ρ_m 为浑水密度, kg/m^3 ; $m_{\text{瓶+水}}$ 为锥形瓶和浑水总质量, kg ; $m_{\text{瓶}}$ 为锥形瓶质量, kg ; $V_{\text{瓶}}$ 为锥形瓶体积, m^3 。

3.4 流量的测量方法

采用称重法获得流量,使用秒表、60 L 的水桶、一台最大称量为 100 kg、分度值为 20 g 的电子秤和电子天平来获得相关数据,代入公式(2),从而求得流量^[20]。

$$Q = \frac{V}{T} = \frac{(M_{\text{桶+水}} - M_{\text{桶}}) V_{\text{瓶}}}{(m_{\text{瓶+水}} - m_{\text{瓶}}) T} \quad (2)$$

式中: $M_{\text{桶+水}}$ 为水桶和浑水的总质量, kg ; $M_{\text{桶}}$ 为水桶质量, kg ; T 为时间, s ; Q 为出水流量, m^3/h ; $m_{\text{瓶+水}}$ 为锥形瓶和浑水总质量, kg ; $m_{\text{瓶}}$ 为锥形瓶质量, kg ; $V_{\text{瓶}}$ 为锥形瓶体积, m^3 。

3.5 试验现象

数码相机记录了试验过程中的现象,图 3 为相同时刻不同流量下微压过滤冲洗池的试验现象。从图 3(a)中可以看出:当 $t = 0 \text{ min}$ 时,3 个不同流量下的整体试验现象类似,滤网都因出水口边界影响,朝向了出水口处;流量为 5.4 和 12.4 m^3/h 时,滤网未能在水流作用下完全鼓起,大部分浸泡在池中,过滤集中在滤网头部,而流量为 18.5 m^3/h 时的滤网呈柱形,可看到大量的气体随水流进入滤网内,过滤主要集中在滤网下部。

从图 3(b)中可以看出:当 $t = 30 \text{ min}$ 、流量为 5.4 和 12.4 m^3/h 时,部分细颗粒泥沙黏附在滤网头部和尾部的内表面处,而流量为 18.5 m^3/h 时,泥沙颗粒被带至滤网尾部,且在水流作用下滤网尾部进入了出水口。3 种不同流量下可观察到有一部分泥沙在水流作用下在滤网内旋转运动。从图 3(c)中可以看出:当 $t = 42 \text{ min}$ 、流量为 5.4 和 12.4 m^3/h 时,滤网头部和尾部拦截了较多的细颗粒泥沙,但过滤仍在继续,而流量为 18.5 m^3/h 时,滤网头部泥沙分布较多,其他区域泥沙分布较均匀,滤网被水沙混合物充满,已膨胀到极限,滤网颜色加深变黄,内部气体被完全排出,仅有少量泥沙在滤网中旋滚,说明滤网过滤已达极限状态。

4 结果与讨论

4.1 进水箱水深随时间的变化规律

进水箱水深度会随着流量、过滤时间的变化而发生改变,不同流量下水箱中水深随时间的变化曲线如图 4 所示,从图 4 中可以得出以下主要结论:

(1) 不同流量下,水深随时间的变化规律相同,都包含水深恒定、水深快速增加和水深急速增加三个阶段,在小流量下这三个阶段更加明显。如流量为 5.4 m^3/h 下,在 $0 \sim 70 \text{ min}$ 内水深保持恒定在 24.5 cm;在 $70 \sim 141 \text{ min}$ 内,水箱水深快速增加;在 $141 \sim 147 \text{ min}$ 内,水箱水深急速增加。

(2) 不同流量下,水深恒定时间不同,流量越小,水深恒定的时间越长。如流量为 5.4、9.1、12.4、15.4、18.5 m^3/h 的水深恒定时间分别为 70、

60、55、35、30 min。

(3)不同流量下,当水深处于快速和急速增加的这两个阶段,水深的增加速率是不同的,流量越大,水深增加速率就会越大。如在快速增加阶段,流量为 5.4、9.1、12.4、15.4、18.5 m³/h 时,水箱水深的增加速率分别为 0.09、0.18、0.46、1.00、1.17 cm/min;在急速增加阶段,流量为 5.4、9.1、12.4、15.4、18.5 m³/h 时,水深的增加速率分别为 0.67、0.92、1.60、4.00、9.00 cm/min。

(4)不同流量下,过滤时间(水深快速增加阶段结束的時刻)不同,流量越小,过滤时间就越长。如流量为 5.4、9.1、12.4、15.4、18.5 m³/h 的过滤时间分别为 141、89、69、48、41 min,其中 5.4 m³/h 下的过滤时间比 18.5 m³/h 的长 100 min,两者相差约 2.44 倍。一旦超过过滤时间不进行排污,则水深会随时间急速增加,滤网会急速膨胀,从而达到滤网过滤的极限,势必会影响滤网寿命,同时也不利于滤网中泥沙的排出。

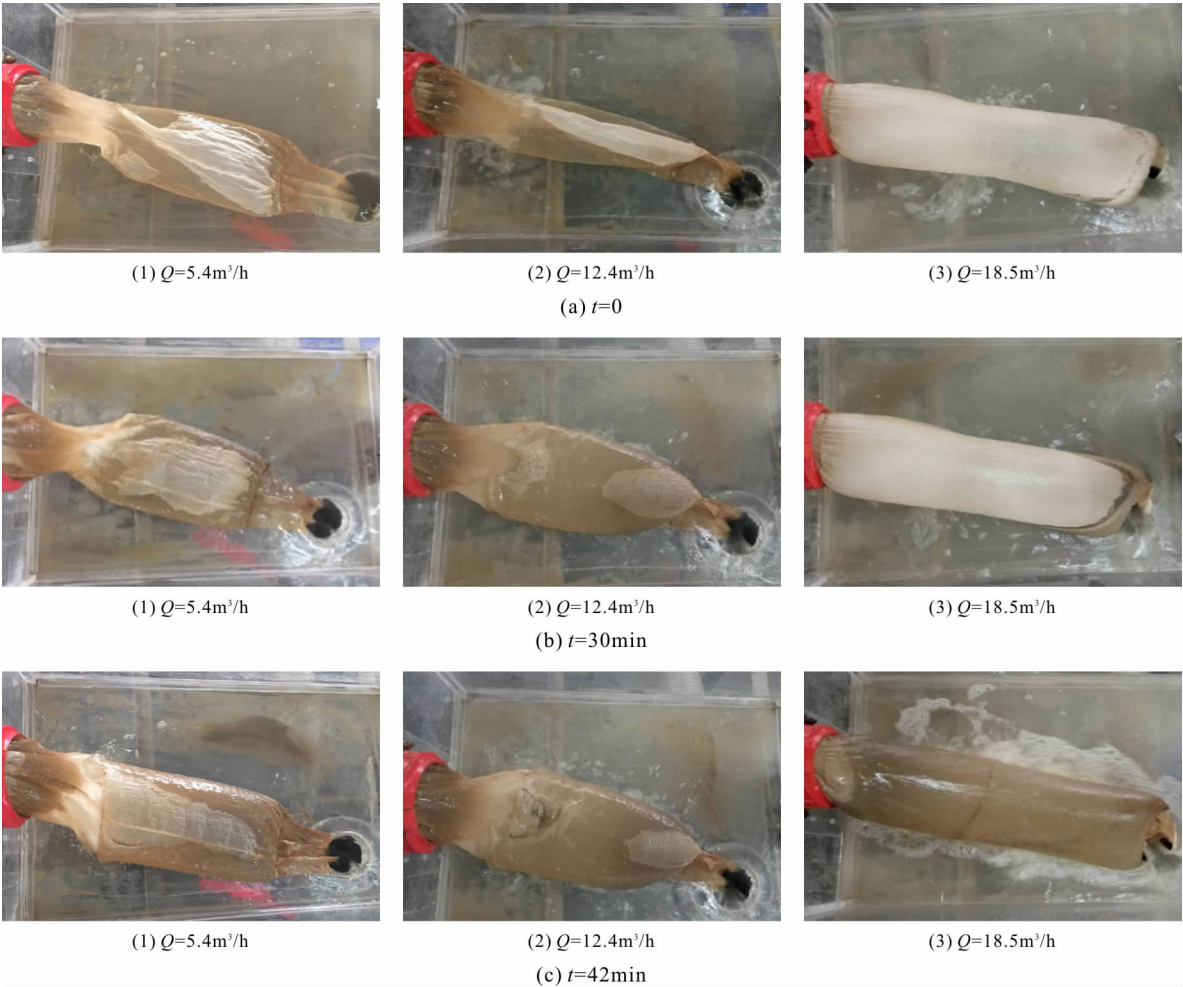


图 3 相同时刻不同流量下微压过滤冲洗池的试验现象

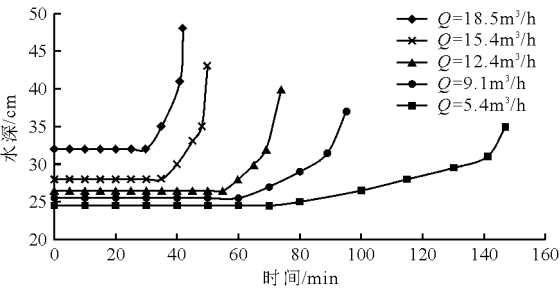


图 4 不同流量下进水箱中水深随时间的变化曲线

水箱中水深随时间变化的规律是滤网堵塞程度的表现,可将其分为介质过滤、滤饼过滤和挤压过滤这 3 个阶段。水深恒定阶段主要以滤网过滤为主,过滤阻力主要是滤网本身,滤网孔堵塞率较小,滤网内表面泥沙沉积和滤网内外含沙量差几乎不存在,因而过滤阻力相对较小。流量越大,单位流量的含沙量便越大,携带的泥沙颗粒就越多,被拦截在滤网内表面的泥沙也就越多,则保持水深恒定的时间相

对就越短。水深快速增加阶段则主要以滤饼过滤为主,在渗透流的作用下,一些细小的泥沙颗粒,因吸附、扩散和惯性冲撞等而不断被截留在滤网内,导致滤网过滤不通畅。之后,泥沙粒径比滤网孔径大或者与之相当的颗粒,在渗流曳力作用下,会因吸附作用被滤网截留而沉积在滤网内,形成滤网内表面沉积层,此时由滤网过滤进入到以滤饼过滤为主的阶段,滤饼层会不断快速变厚,表现为水深快速增加。流量越大,渗透流作用也越大,细颗粒泥沙被滤网捕集的几率增加,易形成滤饼,故滤饼过滤时期越短,即水深增加速率越大。

随着过滤的进一步进行,滤网内外含沙量相差较大,产生极化现象,增大了过滤阻力,细颗粒泥沙很难再穿过滤饼及滤网,导致水沙混合物淤积在滤网内,滤网出水量很少,滤网进入到挤压过滤时期,表现为水深急速增加。流量越大,过滤阻力也越大,水深急速增加的速率就越大。

4.2 泥沙颗分曲线对比

图5为原砂样与滤液(经滤网过滤后的液体)中泥沙及流量为5.4和18.5 m³/h下滤网内拦截泥沙的颗分曲线。其中,滤液中泥沙的颗分曲线是在完成5种不同流量下,收集过滤池中沉淀的泥沙得到的。从图5中可看出:

(1)微压过滤冲洗池将泥沙的粗端粒径D₉₈从0.47 mm过滤至0.11 mm,说明浑水中0.125 mm以上的泥沙完全被滤网拦截,该范围内的粒径效率(指某一级别粒度颗粒的分离效率)达100%,满足灌溉用水对水质的要求,不会造成灌水器堵塞。

(2)两种流量下滤网内拦截的泥沙都集中在0.095~0.276 mm这一粒组范围内;但18.5 m³/h下滤网内泥沙粒径小于0.095 mm仅占5%,而5.4 m³/h的占27%,说明在小流量下,滤网内拦截的细颗粒泥沙较多。这是因为流量越小,微压过滤冲洗池处于滤饼过滤阶段的时间就越长,滤网内拦截的细颗粒泥沙含量也就越高。

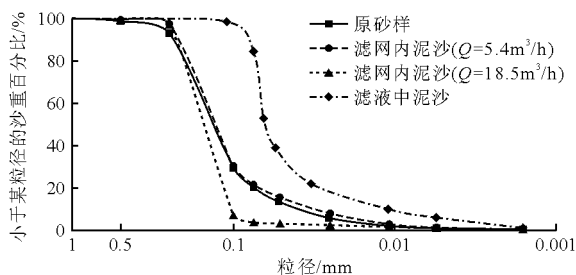


图5 泥沙颗分曲线对比

4.3 泥沙去除率及滤网中泥沙质量对比

泥沙去除率是衡量微压过滤冲洗池过滤性能的重要指标,其为进口与出口含沙量之间差值与进口含沙量的比值,表1为不同流量下微压过滤冲洗池的泥沙去除率和滤网内泥沙质量的对比。表1中,进口含沙量为零时刻下测得浑水池中的含沙量;出口含沙量为微压过滤冲洗池在过滤初期、中期、后期所测得的含沙量平均值。由表1可知,不同流量下微压过滤冲洗池的泥沙去除率均为66%左右,相差不大,这说明不同流量下微压过滤冲洗池可拦截浑水中大部分的泥沙,从而降低了出水管中水流的含沙量,以满足下游灌水要求。流量越小,过滤时间便越长,滤网中拦截的泥沙也越多,如5.4 m³/h流量下拦截的泥沙质量比18.5 m³/h流量下多106.34 g,前者是后者的2.32倍。

表1 不同流量下泥沙去除率和滤网内的泥沙质量对比

流量/ (m ³ ·h ⁻¹)	进口含沙量/ (kg·m ⁻³)	出口含沙量/ (kg·m ⁻³)	泥沙去 除率/%	滤网内泥沙 质量/g
5.4	0.407	0.137	66.35	186.78
9.1	0.406	0.137	66.31	143.62
12.4	0.405	0.133	67.08	121.66
15.4	0.397	0.134	66.37	109.69
18.5	0.399	0.138	65.34	80.44

5 结 论

(1)根据水箱中水深随时间的变化规律(包含水深恒定、水深快速增加及水深急速增加3个阶段),可知滤网过滤、滤饼过滤和挤压过滤构成了微压过滤冲洗池的过滤状态。

(2)流量越小,微压过滤冲洗池的过滤时间越长,拦截的泥沙就越多,流量为5.4 m³/h的过滤时间和拦截泥沙质量是18.5 m³/h的3.44和2.32倍。超过对应流量下的过滤时间,则需进行排污,否则会损坏滤网。

(3)不同流量下微压过滤冲洗池的泥沙去除率均为66%左右,粗端粒径D₉₈从0.47 mm过滤为0.11 mm,0.125 mm以上的泥沙粒径效率达100%,符合灌溉水对水质的要求。

(4)不同流量下微压过滤冲洗池中滤网内拦截的泥沙集中在0.095~0.276 mm范围内;但5.4 m³/h流量下滤网拦截的粒径小于0.095 mm的泥沙占27%,而18.5 m³/h流量下占5%。

参考文献:

- [1] 孙景生,康绍忠.我国水资源利用现状与节水灌溉发展对策[J].农业工程学报,2000,16(2):1-5.
- [2] 彭致功,张宝忠,刘钰,等.基于灌溉制度优化和种植结构调整的用水总量控制[J].农业工程学报,2018,34(3):103-109.
- [3] 杨洪飞,宗全利,刘贞姬,等.大田滴灌用网式过滤器滤网堵塞成因分析[J].节水灌溉,2017(2):94-98.
- [4] 刘飞,刘焕芳,宗全利,等.自清洗网式过滤器水头损失和排污时间研究[J].农业机械学报,2013,44(5):127-134.
- [5] 刘晓初,谈世松,何铨鹏,等.Y型筛网式过滤器水头损失研究[J].中国农村水利水电,2015(11):24-26+31.
- [6] 阿力甫江·阿不里米提,虎胆·吐马尔白,木拉提·玉赛音,等.清水条件下鱼雷网式过滤器水头损失试验研究[J].灌溉排水学报,2018,37(2):64-71.
- [7] 阿力甫江·阿不里米提,虎胆·吐马尔白,木拉提·玉赛音,等.浑水条件下鱼雷网式过滤器的试验研究[J].灌溉排水学报,2018,37(9):79-83.
- [8] PUIG-BARGUÉS J, BARRAGÁN J, DE CARTAGENA F R. Development of equations for calculating the head loss in effluent filtration in microirrigation systems using dimensional analysis[J]. Biosystems Engineering, 2005,92(3):383-390.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] ZONG Quangli, 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.
- [13] 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.
- [14] 李浩,韩启彪,黄修桥,等.基于多孔介质模型下微灌网式过滤器CFD湍流模型选择及流场分析[J].灌溉排水学报,2016,35(4):14-19.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 陶洪飞,滕晓静,马英杰,等.直冲洗网式过滤器的流场模拟及结构优化[J].水电能源科学,2017,35(8):98-102.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 陶洪飞,马英杰,洪明,等.微压过滤器冲洗池的污物处理能力研究[J].节水灌溉,2017(2):39-43+47.
- [21] 陶洪飞,宋漫,章雅丽,等.不同排污方式下微压过滤冲洗池的泥沙处理能力研究[J].节水灌溉,2017(6):30-33+37.