

滴灌系统网式和叠片式过滤器水力性能试验研究

秦天云, 王文娥, 胡笑涛

(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:滴灌系统过滤器的性能直接影响系统正常运行及使用寿命,以网式和叠片式过滤器为研究对象,进行了不同流量下清水和3种质量浓度浑水工况下,不同目数的2种过滤器水头损失和过滤性能试验,分析了过滤器水力性能的影响因素及其相互关系。结果表明,在清水条件下,过滤器的局部水头损失 h_f 与流量 Q 成正比,随着系统过流量的增加而增加;相同流量下,高目数过滤器产生的水头损失大于低目数;浑水条件下,过滤器的水头损失与系统过流量、含沙量有关。随流量、含沙量的增大,过滤器初始水头损失增大,过滤周期变短。相同条件下,叠片式过滤器的水头损失明显大于网式过滤器,除沙率高于网式过滤器,即网式过滤器水力性能优于叠网式片过滤器,叠片过滤器的过滤效果优于网式过滤器。

关键词: 过滤器; 水头损失; 堵塞; 滴灌

中图分类号: S277.9

文献标志码: A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.01.010

秦天云,王文娥,胡笑涛. 滴灌系统网式和叠片式过滤器水力性能试验研究[J]. 灌溉排水学报,2017,36(1):57-62.

0 引言

滴灌是一种先进的节水灌溉技术,但由于滴灌灌水器的流道或孔口直径比较小,一般仅为1 mm左右,灌溉时对水质要求比较高^[1-3]。而实际上任何水源都含有一定杂质及颗粒物,很容易导致滴灌系统堵塞。过滤器是消除堵塞的关键因素,是清除水中各种污物和杂质,保证灌水器正常工作的关键设备^[4-5],其水力性能直接影响灌溉系统的使用寿命。研究滴灌系统中典型过滤器的水力性能,对优化过滤器结构,进一步解决滴灌堵塞问题和推动节水农业发展有重大意义。目前国内对于过滤器的研究主要集中在网式过滤器,董文楚^[6]提出了确定过滤器设计的相关参数、滤网过滤器的大小和水力性能的计算方法。徐茂云^[6]首次对我国现有微灌用筛网式过滤器水力性能进行了较系统的试验研究,提出了推求滤网在不同堵塞情况下过滤器局部水头损失系数的经验公式,并对过滤器的设计问题提出了建议。刘焕芳等^[7]通过系统的水力性能试验,指出过滤器的局部水头损失变化与过滤流量、过滤时间、水源含沙量有关,并提出了在含沙水条件下计算局部水头损失的经验关系式。梁菊荣等^[8]通过试验分析了局部水头损失与过滤元件清洁度的关系。宗全利等^[9]分析了2种目数对应网式过滤器水头损失变化规律,研究了浑水条件下网式过滤器水头损失计算方法,得出了不同条件下水头损失计算公式。宗全利等^[10]还对自清洗网式过滤器内部水流结构和特性进行了全流场数值模拟,分析了过滤器结构设计的不足和自清洗系统的不足。叠片过滤器是滴灌系统常用的过滤器,由于其结构复杂,目前对其水力特性及影响因素研究较少。网式过滤器和叠片过滤器在过滤元件和水流运动方式方面存在较大差异,所以2类过滤器在运行过程中的水力性能存在较大的差异^[11]。过滤器过滤元件(如滤网或叠片)的目数对过滤效果及水头损失影响很大,目数越大则过滤的杂质尺寸越微小,过滤后的水流越不易引起滴头堵塞,但相应的水头损失也越大。在滴灌系统设计中需要根据水源的具体情况,确定适宜的过滤器,达到过滤效果好且水头损失小的效果,提高系统水力性能、降低运行成本。兹以网式过滤器和叠片过滤器为研究对象,研究这2种过滤器在清水和浑水条件下局部水头损失变化规律和其对除沙率的影响,为滴灌系统设计和运行过程中确定过滤设备及过滤效果提供一定参考。

收稿日期:2016-03-16

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(201503125);国家自然科学基金项目(51179163)

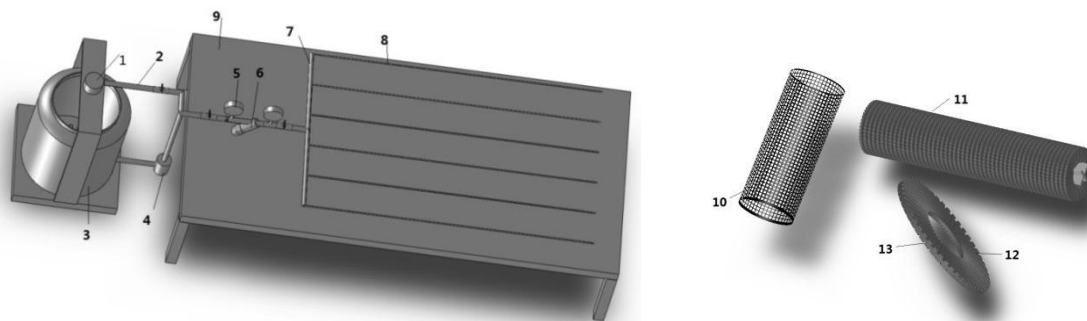
作者简介:秦天云(1993-),女。硕士研究生。E-mail: 435111763@qq.com

通信作者:王文娥(1975-),女。副教授,硕士生导师。E-mail: wangwene@nwsuaf.edu.cn

1 材料与方方法

1.1 试验材料

试验在西北农林科技大学节水灌溉试验站进行,试验装置如图1所示,由具有搅拌功能的蓄水箱、过滤器、水泵、精密压力表、干管、支管等设备构成。其中,水箱为直径0.78 m、高0.8 m的圆柱形箱体,箱体底部设有排水阀以便试验结束后清洗水箱;水泵额定扬程为35 m;精密压力表的精度等级为0.25级,量程为0~0.25 MPa。过滤器包括网式过滤器和叠片过滤器二类,每类有120目和150目2个规格共4种过滤器。试验用水为经过比较完善的过滤处理且水质良好的自来水,泥沙颗粒选用河沙并经过严格逐级水筛法制备。配置含沙水所需土样为天然河沙,取自渭河,其颗粒级配为:粒径小于0.045 mm的颗粒占33.42%,在0.045~0.075 mm的颗粒占45.66%,粒径为0.075~0.1 mm的颗粒占8.63%,粒径为0.1~2 mm的颗粒占12.29%。



1-搅拌器;2-回水管;3-蓄水桶;4-水泵;5-精密压力表;6-过滤器;7-支管;8-毛管;9-试验台;10-网式过滤器筛网;11-叠片式过滤器滤芯;12-叠片;13-滤孔

图1 试验装置示意图

1.2 试验设计

水质分为清水和浑水2种,试验用过滤器可通过的最大流量为5 m³/h,根据滴灌系统田间布置及通过流量的实际情况,在试验中设定系统过流量为1.5~4.5 m³/h,对应管首压强为0.04~0.06 MPa,通过控制进出水球阀从大到小调节进水口流量。

通过清水时,分别测定网式120目、网式150目、叠片120目、叠片150目4种过滤器在7种流量(1.5、2、2.5、3、3.5、4、4.5 m³/h)时的局部水头损失,每次试验持续5 min,每隔1 min读取过滤器前后管道压强值,重复3次。

浑水条件下,采用3因素完全试验设计,在系统过流量为1.5、3、4.5 m³/h;在蓄水桶内按照加沙量为120、160、200 g配置浑水,实际测得过滤器进口处对应含沙量为250、340、440 mg/L。通过搅拌器及回水装置使水沙混合均匀,每隔5 s记录过滤器前后压强值,对4种过滤器的水头损失变化情况进行测定。以试验开始作为过滤的初时段,经过重复试验得出的过滤周期推算出过滤的中间时段,以局部水头损失出现拐点作为过滤的末时段,在试验的这3个时段在过滤器首端和末端分别取1 L过滤前后水样,以压强差超过4 m作为判别过滤器严重堵塞的依据^[12],达到该指标即结束本次试验。试验结束后,对水样进行沉淀、烘干,称质量测量其含沙量。

2 结果与分析

2.1 清水条件下过滤器局部水头损失变化规律

通过设计流量时,过滤器进出水口之间的总水头差为过滤器的水头损失,是评价其运行好坏的主要参数^[9]。试验中,压强测量位置设置在过滤器进出口,过滤器长度较短,沿程水头损失 h_f 所占比例较小,认为水头损失为过滤器产生的局部水头损失。过滤器的局部水头损失由进出口处产生的水头损失和水流通过滤芯时产生的水头损失二部分组成。在试验中,过滤器的进出口形式未发生改变,所以不同过滤器产生的局部水头损失不同是由于滤芯的差异造成的。

依据水头损失公式 $h_j = \zeta \frac{V^2}{2g}$ 和流速公式 $v = Q/A$ 可知^[13],过滤器的局部水头损失 h_j 与 Q^2 成正比,即 $h_j = kQ^2$ ($k = \frac{\zeta}{2A^2g}$)。水源为清水时不会对过滤器的滤芯造成堵塞。试验中测量不同流量下清水水头损失值,得到清水条件下各过滤器水头损失随系统过流量的变化规律,如图2所示。

从图2可以看出,4种过滤器的局部水头损失均随着系统流量的增加而增加。将各过滤器不同流量下的水头损失进行拟合,结果如表1所示。由表1可知,决定系数 R^2 均大于0.97,相关程度较高。从图2还可以看出,相同流量下,高目数过滤器产生的水头损失大于低目数的。相同条件下,叠片过滤器的局部水头损失明显大于网式过滤器,且随着流量的增大对应的差值越大。当流量为 $3.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,4种过滤器对应水头损失分别为1.233、1.270、1.527、1.533 m;流量从 $1.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 到 $4.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 变化时,相同目数的叠片类过滤器与网式过滤器的水头损失差从0.2 m增大到0.75 m左右。相同条件下,局部水头为: $h_{j\text{叠}150} > h_{j\text{叠}120} > h_{j\text{网}150} > h_{j\text{网}120}$ 。

表1 清水条件下各过滤器水头损失拟合公式		
过滤器	拟合公式	R^2
网120	$h_f=0.1009Q^2$	0.9878
网150	$h_f=0.1092Q^2$	0.9898
叠120	$h_f=0.1366Q^2$	0.9791
叠150	$h_f=0.1406Q^2$	0.9904

中流经的距离较长,产生的是三维立体过滤^[14]。由于网式过滤器和叠片过滤器的过滤元件结构存在较大差异,2类过滤器在运行过程中的水力性能存在较大的差异。

2.2 浑水条件下局部水头损失变化规律

滴灌系统实际运行过程中水源中不可避免地会包含各种杂质,较常见的杂质是泥沙和黏土颗粒等,这些杂质一旦进入滴头流道,在流道内流速较低的部位将产生沉积,使流道变窄、堵塞,降低了水力性能和灌水均匀度,发生严重堵塞时,需要更换滴灌管,使投资或运行成本增加。因此,在水流进入滴灌管前必须严格过滤,以保证系统能够正常运行。试验对水源泥沙质量浓度不同时,4种过滤器前后管道中水流泥沙质量浓度及压强进行了观测,根据试验结果对过滤器水头损失的变化规律进行了分析。

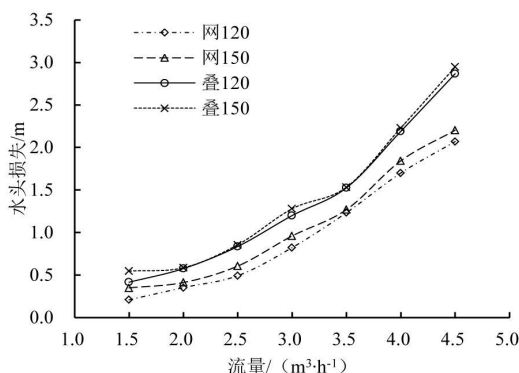


图2 清水条件下各过滤器水头损失随流量变化

试验中,4种过滤器采用同一种外壳,所以系数 K 的差异只是由滤芯的不同所产生的。由表1可以明显看出,叠片过滤器拟合的公式比网式过滤器系数 K 大,这是因为叠片过滤器与网式过滤器的滤芯具有很大的不同。在网式过滤器中,水流在网孔中流经的距离较短,产生二维过滤;而叠片过滤器中,水流在叠片凹槽

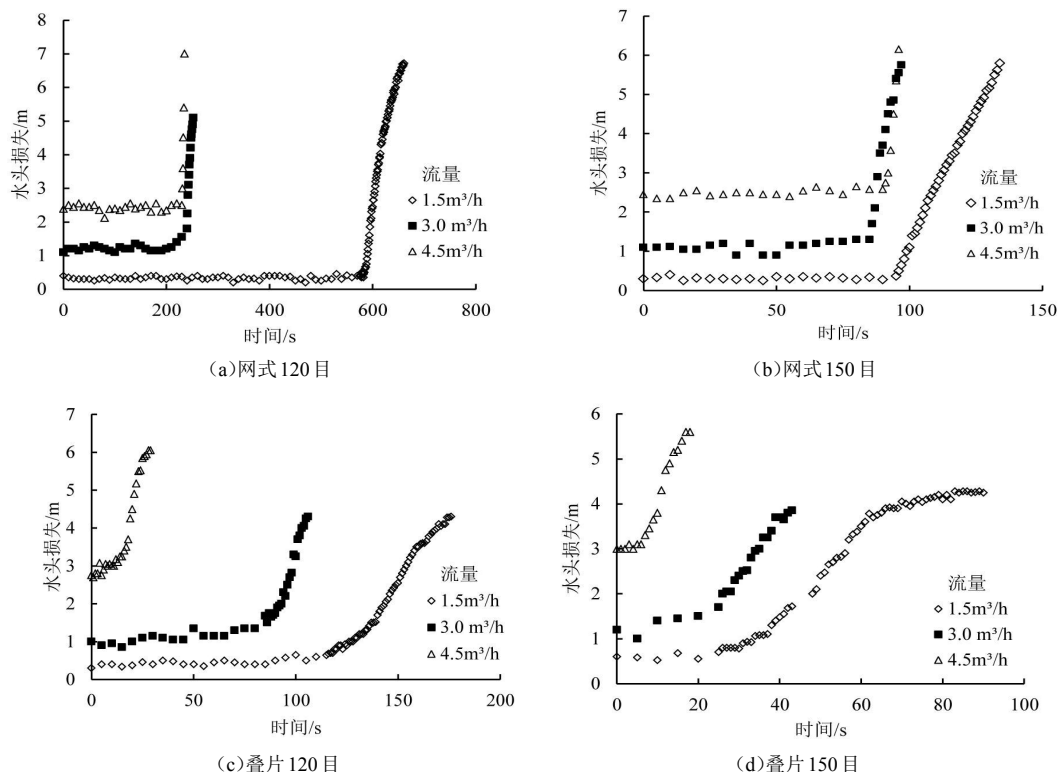


图3 含沙量250 mg/L不同流量下各过滤器水头损失变化

2.2.1 水头损失与流量的关系

流量越大,通过过滤器单位面积的水量也越大,需要过滤的泥沙等杂质的量也越大,产生的水头损失也将越大。以含沙量 250 mg/L 的浑水为例,说明流量对过滤器水头损失的影响。图 3 为 250 mg/L 含沙量 3 种不同流量下各过滤器水头损失变化曲线。从图 3 可以看出,不同进水流量条件下,过滤器初始水头损失及过滤周期是不同的。过滤器运行时间相同时,流量越大局部水头损失越大,叠片过滤器的水头损失高于网式过滤器。

同一过滤器,过滤周期随着流量增大而缩短。相同条件下,过滤周期为网式 120 目>网式 150 目>叠片 120 目>叠片 150 目。流量为 3 m³/h 时,网式 120 目水头损失出现拐点的时间为 $t=7\text{ min}$,网式 150 目出现拐点时间为 $t=85\text{ s}$,叠片 120 目拐点时间为 $t=80\text{ s}$,叠片 150 目拐点时间为 $t=25\text{ s}$,过滤周期差异较大。实际运行过程中,在水源处设置有沉沙池,大颗粒泥沙会沉积在沉沙池,进入过滤器的小粒径泥沙大多数会穿过滤孔,短时间内不会造成堵塞。所以试验中过滤器运行周期较实际短,但试验结果仍能够反映出 4 种过滤器的运行周期长短,对实际应用并无影响。表 2 为不同流量下过滤器的初始水头损失。

表 2 含沙量 250 mg/L 各过滤器初始水头损失					m
处理	网 120	网 150	叠 120	叠 150	
1.5 m³/h	0.30	0.35	0.30	0.60	
3.0 m³/h	1.10	1.10	1.00	1.20	
4.5 m³/h	2.39	2.45	2.75	3.00	

从表 2 可以看出,同目数叠片过滤器的初始水头损失明显高于网式过滤器,当含沙量一定时,随着流量的增大,过滤器初始水头损失增大,流量越大,增加的幅度越大。其主要原因为:过滤器水头损失主要与过滤器滤芯及内部结构有关。流量增大时,通过滤孔的流速增大,过滤器内流态变化及流体质点间碰撞越大;单位时间内积聚在滤芯内的泥沙颗粒越多,过滤器水头损失会在较短时间内急剧上升,即过滤周期较短。

2.2.2 水头损失与含沙量的关系

图 4 为流量 1.5 m³/h 时 3 种不同含沙量条件下各过滤器水头损失变化曲线。

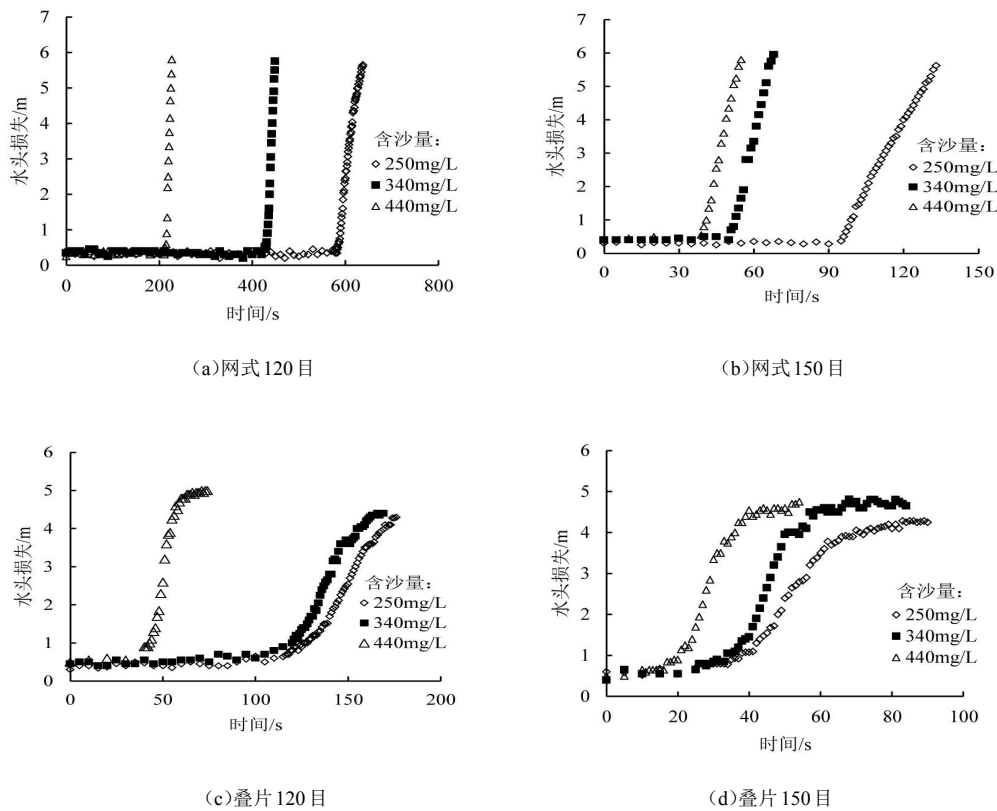


图 4 三种不同含沙量下各过滤器水头损失变化(流量 1.5 m³/h)

由图 4 可以看出,水质对过滤器的初始水头损失影响不明显。在浑水条件下,过滤器水头损失和过滤周

期与水源含沙量有关。随着含沙量增大,过滤器水头损失变化较快,过滤周期相应变短。在图4(a)中,水头损失出现拐点的时间分别为 $t=210、430、577\text{ s}$;图4(c)中在 $t=30、100、115\text{ s}$ 时出现拐点;3种水质条件下,网式120目过滤器比叠片120目的运行周期长。网式150目的运行周期比叠片150目长。可见相同目数,叠片式过滤器比网式过滤器的过滤周期短。

液体的黏滞性是产生液体能量损失的根源,液体在流动过程中克服内摩擦阻力做功从而引起液体能量损失^[11]。水流的密度随着含沙量的增加而增大,其对应的黏度 μ 增大,水流的运动黏滞系数也会增大,水流运动消耗的能量越大,即水头损失越大。另外,含沙量增大,进入过滤器的泥沙颗粒数量增多,粒径较大的颗粒会被拦截在滤网内,单位时间内积聚在滤芯内的颗粒增多,长期运行会导致有效过滤面积较少,过滤器的水头损失会在较短时间内急剧增大。

2.3 过滤器除沙率比较

过滤器的除沙率是指通过过滤器前后含沙量之差与过滤前含沙量的比值,是过滤器一项重要性能指标^[15]。表3为各过滤器在不同流量不同水质条件下3个时段的除沙率。

表3 不同水源含沙量时4种过滤器的除沙率										%
过滤器	流量/($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$)	250 mg/L 含沙水			340 mg/L 含沙水			440 mg/L 含沙水		
		初	中	末	初	中	末	初	中	末
S120	1.5	23.0	53.1	61.3	6.30	27.5	84.4	38.1	25.8	79.9
	3.0	28.1	34.1	83.6	12.1	27.2	57.9	20.3	23.6	80.9
	4.5	21.9	22.9	28.2	12.3	14.9	28.1	10.1	12.1	31.5
S150	1.5	17.9	38.6	81.0	39.9	42.7	96.9	41.2	67.1	85.8
	3.0	10.9	35.6	85.0	28.5	24	96.3	10.9	61.6	90.6
	4.5	11.8	12.4	46.9	15.2	20.7	41.3	7.60	11.7	50.3
D120	1.5	41.3	77.8	71.6	9.4	56.7	86.3	14.2	47.7	96.8
	3.0	42.6	59.3	54.0	37.2	51.1	50.9	12.6	11.6	39.8
	4.5	17.7	31.0	44.8	22.7	52.6	57.1	20.7	16.3	39.7
D150	1.5	75.6	92.9	82.1	73.5	88.9	78.9	59.8	71.6	66.8
	3.0	41.7	68.2	65.3	23.9	59.8	62.4	27.3	35.0	41.0
	4.5	34.6	20.7	59.5	11.2	21.3	24.6	2.2	12.9	35.9

由表3可以看出,同种过滤器,高目数过滤器除沙率高于低目数的;叠片式过滤器的过滤效率总体高于网式的。流量为 $1.5\text{ m}^3/\text{h}$ 时,叠片150目过滤器的除沙率均在59.8%以上,而叠片120目的平均除沙率为55.76%,网式150目过滤器的为56.79%,均小于叠片150目过滤器。分析其原因,认为高目数过滤器过滤元件滤孔较小,能将较细小泥沙颗粒阻隔在过滤器内不随水流进入下级管道;而叠片式过滤器除沙率高于网式主要是因为水流通过滤片过滤器过滤元件的距离较长,泥沙颗粒容易受到较大的阻力从而滞留在过滤器内,从而提高了除沙率。

随系统运行时间增大,过滤器除沙率相对增加;相同过滤器,不同时段除沙率随流量的增大而减小,含沙率对除沙率的影响变化并不明显。叠片120目过滤器流量 $1.5\text{ m}^3/\text{h}$ 时的平均除沙率比流量 $4.5\text{ m}^3/\text{h}$ 时高26.18%,而叠片150目过滤器大流量的平均除沙率比小流量时高45.25%。分析认为,随着过滤系统运行,附着在过滤元件滤孔的泥沙颗粒逐渐增多,使得滤孔尺寸变小,能够过滤孔的泥沙颗粒数量减少,除沙率增大。相对于高流速,低流速时,泥沙颗粒易沉积,易吸附在滤芯上,造成除沙率明显增加。

3 结 论

1)通过过滤器水力性能试验,得到了清水条件下4种过滤器水头损失随流量变化的曲线,并拟合得到了清水条件下水头损失与流量的关系式,决定系数均大于0.97,精度较高,均可用于实际计算。4种过滤器的局部水头损失均随着系统过流量的增加而增加。相同条件下,局部水头为: $h_{j\text{叠}150}>h_{j\text{叠}120}>h_{j\text{网}150}>h_{j\text{网}120}$ 。

2)浑水条件下,过滤器的初始水头损失随着流量的增大而增大,水质对初始水头损失影响性并不明显。相同条件下,同目数叠片式过滤的水头损失大于网式过滤器,即网式过滤器的水力性能优于叠片过滤器。

3)浑水条件下过滤器的局部水头损失随运行时间呈现先缓慢后急剧增加的趋势。系统运行时间随流量,含沙量的增加变短。试验中网式120目适宜允许运行时间较长,在实际灌水过程中,会在水源处设置沉

沙池,过滤周期比本试验较长,一般情况下能满足一次灌水要求,无需进行冲洗。

4)从过滤器对本试验泥沙处理的过滤效果情况来看,过滤器的除沙率随流量增大而减小,除沙率在不同含沙量下变化并不明显,高目数过滤器除沙率大于低目数的,叠片过滤器的除沙率高于网式过滤器。

参考文献:

- [1] 李久生,张建军,薛克宗. 滴灌施肥灌溉原理与应用[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2003:15.
- [2] 张承林,邓兰生. 水肥一体化[M]. 北京:中国农业出版社,2012:98.
- [3] 邓忠,翟国亮,宗洁,等. 微灌系统堵塞机理分析与微灌过滤器研究进展[J]. 节水灌溉,2014(8):71-74.
- [4] 王军,刘焕芳,成玉彪,等. 国内微灌用过滤器的研究与发展综述[J]. 节水灌溉,2003(5):34-35.
- [5] 董楚文. 微灌用滤网过滤器设计原理与方法[J]. 喷灌技术,1989(3):7-14.
- [6] 徐茂云. 微灌用筛网过滤器水力性能的试验研究[J]. 水利学报,1992,23(3):54-56.
- [7] 刘焕芳,王军,胡九英,等. 微灌用网式过滤器局部水头损失的试验研究[J]. 中国农村水利水电,2006,(6):57-60.
- [8] 梁菊荣,华根福,郭永昌,等. 微灌用滤网过滤器水力性能的分析研究[J]. 节水灌溉,2011(11):34-36,40.
- [9] 宗全利,刘飞,刘焕芳,等. 大田滴灌自清洗网式过滤器水头损失试验[J]. 农业工程学报,2012,28(16):86-92.
- [10] 宗全利,郑钢铁,刘焕芳,等. 滴灌自清洗网式过滤器全场数值模拟与分析[J]. 农业工程学报,2013,29(16):57-65.
- [11] 叶成恒. 典型过滤器水力学特性及其对典型过滤器水力学特性及其对泥沙处理能力研究[D]. 北京:中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心),2010.
- [12] 涂攀峰,邓兰生,龚林,等. 水溶肥中水不溶物含量对滴灌施肥系统过滤器堵塞的影响[J]. 磷肥与复肥,2012,27(1):72-73.
- [13] 吕宏兴,裴国霞,杨玲霞. 水力学[M]. 北京:中国农业出版社,2002.
- [14] 崔春亮,阿不都沙拉木,申祥民,等. 自主研发的叠片过滤器与国外同类产品的性能比较研究[J]. 节水灌溉,2010(12):16-18.
- [15] 聂新山. 高效网式过滤器的试验研究与特点分析[J]. 新疆水利,2011(3):25-27.

Hydraulic Performance of Screen and Disc Filters for Drip Irrigation

QIN Tianyun, WANG Wen'e, HU Xiaotao

(College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: The normal operation and service life of drip irrigation system were directly affected by the performance of the filter. The disc and screen filter were taken as the subjects. The head loss and filtration performances experiments of two kinds of filters with different meshes were conducted under the conditions of clean water and three kinds of muddy water with different flows. Factors and mutual relations that influenced the filter's hydraulic performance were analyzed. The results showed that under the clean water condition, the filter's head loss increased with the increase of the flow that could be described with a quadratic parabola, head loss of filter with larger mesh number was greater when the flow rate was constant. Under muddy water conditions, the filter's head loss was related to the flow variation and sediment concentration. With the increase of flow and sediment concentration, the higher the initial head loss was, the shorter the filtration cycle was. Under the same conditions, the disc filter's head loss and sediment removal rate were both obviously higher than the screen's. In a conclusion, the hydraulic performances of screen filters were better than the disc filter's, and the sediment removal capacity of disc filter are better than screen filter.

Key words: filter; head loss; clogging; drip irrigation

责任编辑:赵宇龙