

# 微灌用叠片式砂过滤器性能试验研究

肖新棉<sup>1,2</sup>, 董文楚<sup>2</sup>, 杨金忠<sup>2</sup>, 罗金耀<sup>2</sup>

(1. 华中农业大学工程技术学院, 武汉 430070; 2. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉 430072)

**摘要:** 针对微灌工程中灌水器堵塞的问题, 在分析现有砂过滤器基础上, 研究设计了叠片式砂过滤器。通过大量的水力性能测试和反冲洗抗堵塞性能试验以及对比试验, 探讨了一定滤管直径的最佳叠片数, 即滤管直径  $\Phi=20\text{ mm}$  时, 叠片数为 48 片为宜; 并提出叠片式砂过滤器水力性能特性曲线方程和过滤水头损失经验公式。试验结果表明: 叠片式砂过滤器水力性能良好, 过滤能力大, 水头损失小, 即在设计流量为  $10\text{ m}^3/\text{h}$  下, 叠片式砂过滤器的清洁压降比滤头式砂过滤器小 37%; 过滤与反冲洗效果好, 是节水灌溉系统中理想的防堵塞设备。

**关键词:** 砂过滤器; 叠片; 堵塞; 水力性能

中图分类号: S275.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)05-0081-04

肖新棉, 董文楚, 杨金忠, 等. 微灌用叠片式砂过滤器性能试验研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(5): 81-84

Xiao Ximmian, Dong Wenchu, Yang Jinzhong, et al. Experimental study on characteristics of laminated sand filter for micro-irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(5): 81-84 (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

微灌系统中常用的过滤器有水力旋流过滤器、筛网过滤器、砂石过滤器和叠片式过滤器<sup>[1]</sup>。水力旋流过滤器一般作初级过滤或配合其他过滤器使用, 以减轻次级过滤的负担; 筛网过滤器能除掉水中的大尺寸固体污物如砂粒、动植物残体, 但对水中的粘粒、藻类、微生物、细菌团和各种化学絮凝物等污物不能完全除掉, 常用作末级过滤装置。根据对现有的微灌工程调查, 砂过滤器是微灌工程中使用最广泛且过滤效果良好的过滤设备, 其主要优点是三维过滤, 有较强的截获污物的能力。在微灌工程中最先使用的砂过滤器是澳大利亚的路易斯过滤器<sup>[2]</sup>, 即单罐砂过滤器, 但这种砂过滤器的缺点是使用不方便, 反冲洗时不能向系统供水, 且在反冲洗时若操作不当, 会导致整个砂床移动而使过滤失效。微灌系统中的第二代砂过滤器是砂盘式双罐反冲洗砂过滤器, 其特点是将其罐体下部的承托层做成透水砂盘的形式, 即砂盘下部由一层耐腐蚀的金属板作托盘, 上面用粒径为 2~8 mm 的粗砂作骨料, 用耐腐蚀粘结剂将其制作成透水的固体砂盘。这种双罐反冲洗砂过滤器克服了路易斯过滤器反冲洗时不能向系统供水的不足, 但缺点是其承托砂盘易被穿过砂盘的“污物”堵死, 反冲洗时很难将截流在砂盘空隙中的“污物”冲掉。后出现了安装塑料滤头的第三代砂过滤器, 这种过滤器是在托盘上布置塑料制的缝隙式滤头(滤头的形状像帽子, 所以又称滤帽), 灌溉水经过一定厚度的石英砂滤层后, 通过缝隙滤头(滤帽)进入集水室, 再由集水室进入灌溉管道, 以除

掉灌溉水源中的固体污物和各种藻类、微生物等杂质。第三代砂过滤器的过滤和反冲洗性能比前二种好, 但缺点是当缝隙式滤头中某一缝隙损坏后, 就需要全部拆除该滤头(滤帽), 否则过滤失效<sup>[3]</sup>。而叠片式砂过滤器是在第三代砂过滤器的基础上研究出来的一种新型节水灌溉用砂过滤器, 不但具有第三代砂过滤器的优点, 而且克服了滤头损坏维修困难的缺点。通过水力性能试验验证, 证明其过滤和反冲洗抗堵塞性能良好。

## 1 叠片式砂过滤器的试验与分析

### 1.1 叠片式砂过滤器结构与工作原理

根据过滤水力学<sup>[4]</sup>和滤层冲洗的水力学原理<sup>[5,6]</sup>设计的叠片式砂过滤器界定为: 在砂过滤装置内采用叠片式滤头收集滤后水体的一种压力式砂过滤器, 其外部结构与滤头式砂过滤器相似, 主要区别是将缝隙式滤头改为叠片式滤头(管), 具体结构见图 1。

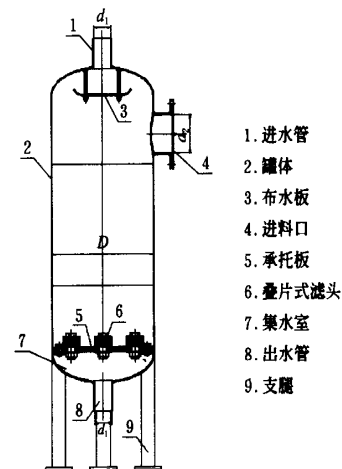


图 1 叠片式砂过滤器

Fig 1 Laminated sand filter

灌溉水从进水管流入, 通过布水板将水均匀地分布

收稿日期: 2004-09-08 修订日期: 2005-01-15

基金项目: 农业科技成果转化资金资助项目(02EFN216800692)

作者简介: 肖新棉(1956-), 女, 湖北武汉人, 副教授, 主要从事设施农业、能源工程和节水灌溉技术研究。武汉 华中农业大学工程技术学院, 430070。Email: xiaoximmian@mail.hzau.edu.cn

到罐体,经过滤砂层后由叠片式滤头收集到集水室,再通过出水管送入灌溉管道。叠片式滤头(管)是叠片式砂过滤器的重要集水装置,也是其关键性的元件,它是用一定数量的带有凹槽的塑料环形盘叠在一起组成圆柱形滤管(滤芯)。当水流流经叠片(见图 2)时,利用外片壁和凹槽来聚集及截取杂物,以达到过滤的目的。反冲洗时有压水流经滤芯到叠片,利用内片壁和凹槽冲洗滤层中被截留的污物,以达到消除堵塞的目的。

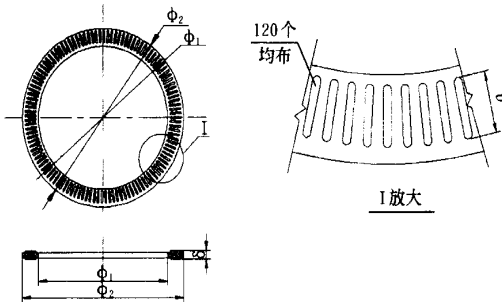


图 2 叠片示意图

Fig 2 Sketch map of lamination

### 1.2 叠片式滤头(管)的水力性能试验

叠片式滤头(管)水力性能的好坏决定了叠片式砂过滤器水力性能的优劣。为了探讨叠片式滤头(管)的水力性能以及研究一定滤头(管)直径下的叠片组合数目,本文进行了大量的水力性能测试试验,取滤头(管)直径  $\Phi_1 = 20 \text{ mm}$ , 分别对叠片数为 12、24、36 和 48 的滤头(管)进行水力性能试验,并根据测试数据进行回归分析计算,得出不同叠片数滤头(管)的计算水头损失的经验公式(表 1)以及流量与水头损失的曲线(图 3)。

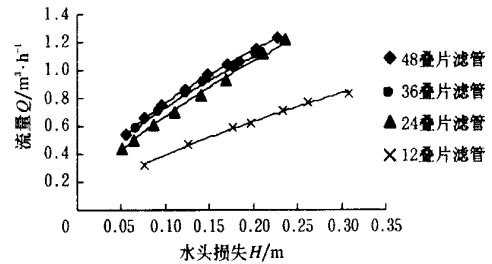


图 3 不同叠片数滤头(管)水力性能曲线

Fig 3 Curves of hydraulic characteristics for different numbers of lamination

表 1 不同叠片数滤头(管)水力性能测试

Table 1 Hydraulic characteristics test of different numbers of lamination

		1	2	3	4	5	6	7	8
12 叠 片	进口压力 $H_1/\text{m}$	0.486	0.652	0.560	0.618	0.538	1.175	0.924	
	出口压力 $H_2/\text{m}$	0.178	0.390	0.327	0.420	0.361	1.050	0.848	
	水头损失 $H/\text{m}$	0.308	0.262	0.233	0.198	0.177	0.125	0.076	
	流量 $Q/\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	0.811	0.767	0.715	0.617	0.589	0.473	0.320	
水力特性曲线方程		$H = 0.3929Q^{1.49}$							
24 叠 片	进口压力 $H_1/\text{m}$	0.478	1.164	0.503	1.171	1.267	0.680	0.777	0.689
	出口压力 $H_2/\text{m}$	0.242	0.958	0.334	1.030	1.157	0.590	0.713	0.638
	水头损失 $H/\text{m}$	0.236	0.206	0.169	0.141	0.110	0.087	0.064	0.051
	流量 $Q/\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	1.337	1.127	0.881	0.806	0.703	0.613	0.504	0.439
水力特性曲线方程		$H = 0.1780Q^{1.45}$							
36 叠 片	进口压力 $H_1/\text{m}$	1.133	1.088	0.256	0.774	1.007	1.260	1.085	
	出口压力 $H_2/\text{m}$	0.93	0.902	0.077	0.630	0.883	1.168	1.018	
	水头损失 $H/\text{m}$	0.203	0.186	0.179	0.144	0.124	0.092	0.067	
	流量 $Q/\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	1.106	1.046	1.013	0.907	0.831	0.701	0.581	
水力特性曲线方程		$H = 0.1717Q^{1.75}$							
48 叠 片	进口压力 $H_1/\text{m}$	1.057	0.991	0.879	0.800	0.697	0.585	0.492	0.379
	出口压力 $H_2/\text{m}$	0.830	0.787	0.708	0.652	0.575	0.489	0.415	0.324
	水头损失 $H/\text{m}$	0.227	0.204	0.171	0.148	0.122	0.096	0.077	0.055
	流量 $Q/\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	1.232	1.150	1.038	0.967	0.860	0.751	0.661	0.541
水力特性曲线方程		$H = 0.1573Q^{1.75}$							

### 1.3 叠片式滤头(管)的试验结果与分析

1) 从图 3 可知过滤流量相同时, 48 叠片滤头的水力性能最好, 即过滤水头损失最小, 36 叠片滤头次之, 24 叠片滤头再次之, 12 叠片滤头水力性能较差。

2) 当滤管直径相同时, 24、36 和 48 叠片滤头的水力特性相差不大, 特别是 36 和 48 叠片滤头的水力特性曲线几乎重合。叠片数成倍增加, 其水力性能特性变化不大, 因此再增加叠片数对改善水力性能意义不大(见图 3)。

3) 当叠片滤头(管)直径  $\Phi_1 = 20 \text{ mm}$  时, 叠片数为 48 片的组合形式为好。

### 1.4 叠片式砂过滤器的过滤与反冲洗性能试验

叠片式滤头(管)的水力性能试验结果, 只能反映水流通过叠片式滤头(管)的水力特性, 即过流量与水头损失的关系, 若要得到水流经滤砂层后再通过叠片式滤头(管)进行砂过滤的水力特性方程, 必须进行砂过滤的水力性能试验。国内外不少研究者提出了有关过滤方程表达式, 但由于影响过滤的因素十分复杂, 其过滤方程表

达式中有关参数不能确定, 故至今还没有可直接用于计算过滤阻力的理论公式<sup>[7]</sup>。对于不同结构形式的砂过滤器, 只有进行水力性能试验, 才能确定具体的参数, 得出相应的水头损失计算公式。过滤器工作到一定的时间, 因截流污物而出现堵塞现象, 通常采用反冲洗的方法消除滤层中截流的污物<sup>[8]</sup>。即利用有压清洁水对滤层进行反过滤流向冲洗, 使滤层松动膨胀, 冲去滤层中被截流的污物, 以达到消除堵塞的目的<sup>[5, 9]</sup>。为了探讨叠片式砂过滤器的过滤与反冲洗性能, 找出其过流量与水头损失的关系, 以确定对应的参数, 继叠片式滤头(管)的水力性能试验后, 又分别选取水力性能较好的叠片数为 36 和 48 的滤头进行砂过滤及反冲洗的水力性能试验。试验用砂直径为  $d = 0.3 \sim 1.3 \text{ mm}$  的石英砂, 滤砂层厚度为 34 cm, 反冲洗强度为  $0.8 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min}$ , 反冲洗的时间为  $10 \text{ min}$ <sup>[7]</sup>, 试验测试结果见表 2。根据试验测试的数

据, 经回归分析后得到砂过滤流量与水头损失的曲线和反冲洗后的流量与水头损失的曲线(见图 4), 同时得出相应的水头损失经验公式(见表 2)。

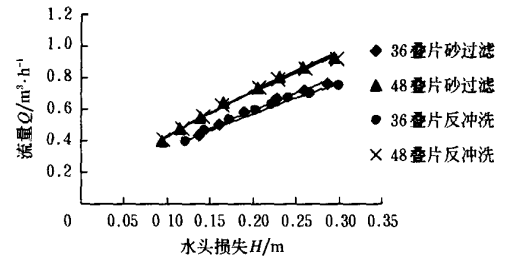


图 4 不同叠片的砂过滤与反冲洗性能曲线  
Fig 4 Curves of filter and reverse-flushing for different numbers of lamination

表 2 砂过滤与反冲洗水力性能测试

Table 2 Hydraulic characteristics test of filter and reverse-flushing

			1	2	3	4	5	6	7	8	
36 叠 片	砂 过 滤	水头损失 $H/\text{m}$	0.286	0.259	0.228	0.190	0.160	0.137			
		流量 $Q/\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	0.763	0.725	0.681	0.602	0.502	0.438			
		水力特性曲线方程	$H = 0.3914Q^{1.32}$								
	反 冲 洗	水头损失 $H/\text{m}$	0.300	0.267	0.242	0.223	0.204	0.173	0.145	0.122	
		流量 $Q/\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	0.744	0.697	0.670	0.647	0.605	0.532	0.457	0.388	
		水力特性曲线方程	$H = 0.4305Q^{1.37}$								
48 叠 片	砂 过 滤	水头损失 $H/\text{m}$	0.294	0.258	0.230	0.206	0.166	0.138	0.115	0.094	
		流量 $Q/\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	0.932	0.870	0.810	0.742	0.645	0.551	0.475	0.399	
		水力特性曲线方程	$H = 0.3116Q^{1.35}$								
	反 冲 洗	水头损失 $H/\text{m}$	0.297	0.261	0.229	0.207	0.164	0.142	0.118	0.096	
		流量 $Q/\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	0.922	0.860	0.788	0.737	0.622	0.559	0.482	0.409	
		水力特性曲线方程	$H = 0.3203Q^{1.39}$								

### 1.5 叠片式砂过滤器的试验结果与分析

1) 表 2 所示的 36 和 48 叠片式砂过滤器的水力性能特性方程符合过滤水力学计算规律, 其砂过滤与反冲洗的水头损失计算公式与水力学公式  $H = kQ^\alpha$  形式一致<sup>[10, 11]</sup>, 通过试验, 得出不同状态下的系数  $k$  值和指数  $\alpha$  值。

2) 由图 4 可知, 36 和 48 叠片式砂过滤器的反冲洗效果均很好, 砂过滤水力性能曲线与反冲洗后水力性能曲线非常接近, 而 48 叠片式砂过滤器比 36 叠片式砂过滤器的反冲洗效果更佳, 其反冲洗后的水力性能曲线几乎与原过滤水力性能曲线重合。

### 2 叠片式砂过滤器与滤头式砂过滤器性能比较

取相同规格的叠片式砂过滤器和滤头式砂过滤器各一台, 采用同样的砂石滤料, 取相同的滤层厚度, 并根据微灌对水质的要求, 试验取过滤流速为  $0.018 \text{ m/s}$ <sup>[8]</sup>, 经过计算当叠片数为 48 片时, 一个叠片滤头(管)的过流面积(缝隙面积)为  $314.4 \text{ mm}^2$ , 而一个缝隙滤头的过流面积为  $320 \text{ mm}^2$ <sup>[13]</sup>, 即在近似相同的过流面积条件下, 进行清水砂过滤和污水模拟过滤堵塞水力性能对比

试验, 而污水模拟过滤堵塞水力性能试验是在两种过滤器过滤同样浓度的污水, 当通过设计流量  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  时, 过滤水头损失达到 7 m 的条件下进行的。经过测试、计算和回归分析处理, 绘出两种不同类型过滤器的砂过滤性能曲线和过滤堵塞性能曲线(见图 5), 并得出两种砂过滤器的性能及流量计算公式(见表 3)。由对比试验分析可知:

1) 叠片式砂过滤器的水力性能优于滤头式砂过滤器的水力性能, 在相同的设计流量 ( $Q = 10 \text{ m}^3/\text{h}$ ) 下, 叠片式砂过滤器的清洁压降 ( $H = 1.02 \text{ m}$ ) 比滤头式砂过滤器的清洁压降 ( $H = 1.62 \text{ m}$ ) 小, 即水头损失小 37% (见图 5)。

2) 叠片式砂过滤器的堵塞过滤性能略好于滤头式砂过滤器的过滤堵塞性能, 在相同的设计流量 ( $10 \text{ m}^3/\text{h}$ ) 下, 叠片式砂过滤器的过滤堵塞压降为  $7.11 \text{ m}$ , 而滤头式砂过滤器的过滤堵塞压降为  $7.72 \text{ m}$ , 过滤堵塞的水头损失小 7.9% (见图 5)。

3) 试验经回归分析得出的叠片式砂过滤器的流量计算公式  $Q = 9.89H^{0.50}$  (见表 3) 变换为过滤水头损失经验公式, 即  $H = 0.01022Q^2$  与过滤水力学中的罗斯经验公式<sup>[4]</sup>相吻合, 也与水力学中水头损失的基本计算

公式  $H = \zeta v^2 / 2g$  的形式相一致。

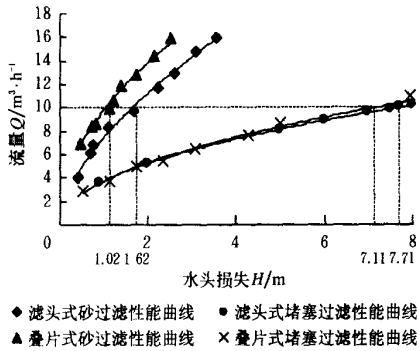


图 5 两种过滤器的砂过滤与堵塞性能曲线

Fig. 5 Curves of filter and clog for two sand filters

表 3 两种砂过滤器的性能对比

Table 3 Comparison of characteristics for two sand filters

	滤头式砂过滤器(双罐)	叠片式砂过滤器(双罐)
罐体直径 $D/mm$	315	315
设计流量 $Q/m^3 \cdot h^{-1}$	10	10
清洁压降 $H/m$	1.62	1.02
堵塞压降 $H/m$	7.72	7.11
砂过滤流量公式	$Q = 7.55H^{0.58}$	$Q = 9.89H^{0.50}$
过滤堵塞流量公式	$Q = 3.75H^{0.48}$	$Q = 3.57H^{0.50}$

### 3 结论与讨论

1) 叠片式滤头(管)集水装置是叠片式砂过滤器的关键元件,通过水力性能试验和回归分析得出,在相同的进、出水管以及同一规格过滤罐体的条件下,当叠片滤头(管)直径  $\Phi = 20\text{ mm}$  时,叠片数为 48 片的组合形式最好。

2) 现有的微灌用砂过滤器中,叠片式砂过滤器的砂过滤水力性能优于缝隙式滤头砂过滤器,在相同的设计流量 ( $Q = 10\text{ m}^3/\text{h}$ ) 下,叠片式砂过滤器的清洁压降(清洁滤层的过滤阻力)比滤头式砂过滤器的清洁压降小 37%;即过滤能力大,水头损失小。

3) 叠片式砂过滤器的堵塞过滤性能比滤头式砂过

滤器的过滤堵塞性能好,在相同的设计流量 ( $10\text{ m}^3/\text{h}$ ) 下,叠片式砂过滤器的过滤堵塞压降比滤头式砂过滤器的过滤堵塞压降小 7.9%。即抗堵塞性能良好。

4) 由试验经回归分析得出的砂过滤水头损失的计算公式  $H = 0.01022Q^2$  与过滤水力学公式  $H = kQ^\alpha$  形式相吻合,试验确定的系数  $k$  和指数  $\alpha$ ,可供计算砂过滤器的过滤水头损失参考。

5) 叠片式砂过滤器设计合理,结构简单,安装使用和维修方便,并可根据不同的罐体直径选取不同叠片数的滤头(管)进行优化组合,有利于产品规格系列化。

通过水力性能试验和回归分析研究,叠片式砂过滤器具有筛滤、沉淀和接触絮凝功能,能有效清除灌溉水源中的砂粒、粘粒、藻类和微生物等各种污物,是节水灌溉系统中理想的防堵塞设备。

#### [参考文献]

[1] 王军,刘焕芳,成玉彪,等 国内微灌用过滤器的研究与发展现状综述[J] 节水灌溉, 2003, (5): 34- 35

[2] 董文楚 微灌、滴灌用砂过滤器设计与制造[J] 中国科技成果, 2004, (13): 39- 40

[3] 钱蕴璧,李英能,杨刚,等 节水农业新技术研究[M] 郑州:黄河水利出版社, 2002, 12: 128- 131

[4] 王乃忠,滕兰珍 水处理理论基础[M] 四川:西南交通大学出版社, 1988, 8: 91- 100

[5] 董文楚 微灌用砂过滤器堵塞与反冲洗效果研究[J] 武汉水利电力大学学报, 1996, (6): 30- 34

[6] 高湘,张建锋 给水工程技术及工程实例[M] 北京:化学工业出版社, 2002, 5: 156- 159

[7] 林出哲夫(日)著,张自杰等译 水处理工程理论与应用[M] 北京:中国建筑工业出版社, 1986, 10: 77- 95

[8] 严熙世,范谨初 给水工程[M] 北京:中国建筑工业出版社, 1999, 12: 316- 333

[9] 董文楚 滴灌用砂过滤器堵塞与反冲洗性能试验研究[J] 水利学报, 1997, (12): 72- 78

[10] 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

[11] 徐茂云 微灌系统过滤器性能的试验研究[J] 水利学报, 1995, (11): 84- 89

## Experimental study on characteristics of laminated sand filter for micro-irrigation

Xiao Ximian<sup>1,2</sup>, Dong Wenchu<sup>2</sup>, Yang Jinzhong<sup>2</sup>, Luo Jinyao<sup>2</sup>

(1. College of Engineering and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract** Based on irrigator blocking problem for micro-irrigation, lamination sand filter was studied and designed by analyzing the existing sand filters. Through a great number of tests on hydraulic characteristics, experiments of characteristics of reverse-flushing and anti-blocking and control experiments, the optimum number of lamination was discussed and determined: with fixed diameter  $\Phi = 20\text{ mm}$ , the optimum lamination number is 48. The property curve equation of hydraulic characteristics and an empirical equation of head-loss of filtering were put forward. The experiments showed that laminated sand filter was of better hydraulic characteristics with bigger filtering capacity and smaller head-loss. With specified flow  $10\text{ m}^3/\text{h}$ , differential pressure of laminated sand filter was 37% smaller than that of filter-head sand filter; with effective filtering and reverse-flushing performance, laminated sand filter was optimum anti-blocking equipment for water-saving irrigation.

**Key words:** sand filter; lamination; blocking; hydraulic characteristics

