doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.05.023

自清洗网式过滤器水头损失和排污时间研究*

刘 飞¹ 刘焕芳² 宗全利^{1,2} 谷趁趁³ (1. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室,武汉 430072;

2. 石河子大学水利建筑工程学院,石河子 832003;

3. 上海航天科工电器研究院有限公司,上海 200436)

摘要:通过室内模型试验,对 80 目和 120 目自清洗网式过滤器在清水过滤时的水头损失和排污状态下的最佳排污时间进行了试验研究。清水过滤状态时,通过对试验用过滤器的进水口和出水口建立伯努利方程,推导出过滤器 清水水头损失的通用表达式,在不同的进水流量下(0~220 m³/h),结合试验数据得出了 2 种目数滤网水头损失的 经验表达式;排污状态时,在对 2 种滤网各自设置 5 个不同排污压差及 3 个相应不同进水含沙量条件下,得出了排污口含沙量随排污时间的变化曲线规律为先变大后减小,15 s 时出现拐点,20 s 以后趋于稳定,为保证过滤器的排污效果及节约水资源,确定过滤器的最佳理论排污时间段为 20~30 s,结合试验数据和误差分析,理论推导出 120 目滤网的最佳排污时间计算表达式,计算结果表明:理论值与试验值吻合较好。

关键词:微灌 网式过滤器 水头损失 排污时间

中图分类号: TV142; S275.6 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2013)05-0127-08

Experiment on Head Loss and Discharge Time of Self-cleaning Screen Filter

Liu Fei¹ Liu Huanfang² Zong Quanli^{1,2} Gu Chenchen³

State Key Laboratory of Water Resource and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China
 College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Shihezi University, Shihezi 832003, China

lege of water Conservancy and Architectural Engineering, Sninezi Oniversity, Sninezi 652505, Chi

3. Shanghai Institute of Aerospace and Industry Electric Co., Ltd., Shanghai 200436, China)

Abstract: Based on the indoor model test, the head loss in the clear water filtration and optimal drainage time in the pollution state of the 80 mesh and 120 mesh self-cleaning screen filter was studied. The results showed that in the filtering state, general expression of clean water head loss was deduced through establishing Bernoulli equation from inlet to outlet of the filter. Two mesh head loss experience expression was obtained under different water flows $(0 \sim 220 \text{ m}^3/\text{h})$. In the drainage conditions of two filters with five different discharge pressure differentials and three corresponding different sediment concentration, the rule of the curve showed that water sediment concentration of the drain changes with drainage time increasing at first and then decreasing. An inflection point appeared at 15 s, and the outfall's sediment tended to stabilization when the discharge time reached to 20 s. To ensure the effect of discharge of the filter and saving water, the optimal discharge time of the filter was set to $20 \sim 30$ s in theory. Based on the experiments and error analysis, the optimal discharge time expression of 120 mesh filter's was deduced. The results showed that the values of theory and test agreed well.

Key words: Micro-irrigation Screen filter Head loss Discharge time

引言

自清洗网式过滤器在西北干旱地区微灌系统中

应用广泛,以新疆为代表,此网式过滤器能有效净化 和处理水源中大量的泥沙颗粒及其他地表杂质。当 过滤器运行一定时间段,滤网会被泥沙堵塞致使内

*国家自然科学基金资助项目(50909062)

通讯作者:刘焕芳,教授,博士生导师,主要从事工程水力学与节水灌溉研究,E-mail: Lhf0818@ shz. edu. cn

收稿日期: 2012-06-05 修回日期: 2012-07-23

作者简介:刘飞,博士生,主要从事水力学与河流动力学研究,E-mail: lf512512@163.com

外压差变大,水头损失变大,为保证其过滤效率,需 对过滤器实施排污,因此对过滤器进行水头损失和 排污时间研究十分重要^[1]。在这两方面,已有研究 成果报道^[2~13]。但前人对自清洗网式过滤器清水 状态下的水头损失通用表达式没有系统研究,且过 滤器排污时间的研究介于过长和模糊的2个状态, 过长排污时间是在其他固定影响因素作用下确定 的,并没有确定出常用过滤器的最佳排污时间,若其 他因素改变,排污时间仍会变化。结合新疆实施节 水灌溉技术的背景,确定自清洗网式过滤器的最佳 排污时间可节省因排污时间过长而浪费的水源,因 此本文对过滤器的排污过程进行研究,确定其最佳 排污时间,以期为过滤器在实际工程中的应用提供 技术指导。

1 试验设计

1.1 试验原理

试验用自清洗网式过滤器的整体结构包含2两 个过滤室:一级过滤室内部是10目(孔径1.7 mm) 粗过滤网,主要截取大颗粒粒径、残膜和树枝等;结 合新疆灌溉水源多泥沙特性,二级过滤室滤网常用 80目(孔径0.18 mm)和120目(孔径0.125 mm)。 具体结构见图1所示,其过滤过程:含沙浑水先通过 粗过滤网过滤较大颗粒的泥沙,过滤后的水通过细 滤网过滤较细泥沙。自清洗过程为:泥沙积聚在细 滤网内表面形成的压差达到预设值时,排污口阀门 自动打开,吸沙组件通过旋转吸走泥沙,经排沙管排 出。当达到设定排污时间时,自动清洗完成。具体 过程如图1b所示。

1.2 试验装置

试验供水装置为尺寸5m×4m×1.5m的蓄水 池,在进水管处置有直径1.2m、高度1m的圆柱形 搅拌池一个,可保证浑水试验过程中进水含沙量的





(a) 正视图 (b) 自清洗装置正视图 (c) 旋喷管俯视图
1. 进水口 2. 粗过滤网 3. 细过滤网进口 4. 压力表 5. 出水口 6. 电子阀门 7. 水力旋喷出水口 8. 水力旋喷管 9. 排污口 10. 吸沙组件 11. 壳体 12. 细过滤网 13. 排沙管

稳定。其余试验设备性能参数见表1。

此试验装置按实际模型1:1制造,图2、3分别 为试验装置示意图和室内模型图。

1.3 试验内容和方案

清水条件下,自清洗网式过滤器的滤网不会发 生堵塞,故主要测量细过滤网的局部水头损失随流 量的变化关系。试验方案如下:试验装置运行稳定 后,利用便携式超声波流量计测定过滤器进水口流 量,并读取对应流量条件下细过滤网内、外压力,量 取进出水口的高程差,最后对细过滤网的进水口和 出水口列取能量方程,计算可得水头损失。然后通 过改变进水管和出水管的蝶阀开度对流量进行调 节,对应压力表差值变化即为水头损失的变化情况。

表1 自清洗网式过滤器设备性能参数

 Tab. 1 Equipment performance parameters of self-cleaning screen filter

构件名称	型号	数量/个	备注
压力传感器		4	置于进、出、排水口 和过滤器内部
压力表	MC 晋制 03000128	4	精度为0.2%
流量计	TDS - 100P	1	便携式
交流低压 配电柜	DZB300B0015L4A	1	用于离心泵变频
自动控制柜		1	控制过滤器自清洗
离心泵	ISWR125 – 200B	1	额定流量 138 m ³ /h
三相异步 电动机	Y180M - 2	1	额定功率 22 k₩(配 套离心泵)
蝶阀		2	调节流量
TST 阀门 电动装置	QB – 0	2	置于出水口和排污 口
三相异步 电动机	Y90L-4	1	额定功率 1.5 kW (置于搅拌池内)



 Fig. 2
 Schematic of experimental device

 1. 蓄水池
 2. 电动机
 3. 排污管
 4. TST 电动控制阀
 5. 压力

 表
 6. 过滤器
 7. 自动控制柜
 8. 变频柜
 9. 离心泵
 10. 蝶阀

 11. 进水口
 12. 流量计
 13. 出水管
 14. 搅拌池

在大田实际灌溉过程中,滤网容易被灌溉水源 中的泥沙颗粒堵塞,当堵塞到一定程度时,过滤器的 有效过滤面积降低,出水量也随之降低,严重影响下 游大田作物的供水量,需要对其实施排污。在预备



图 3 室内模型图 Fig. 3 Indoor model

试验中发现自清洗网式过滤器(结构见图1)的排污 口含沙量变化趋势不随进水含沙量变化而改变:均 由小变大之后又很快变清至稳定。参照这一现象, 可在排污口,随时间取不同排污时间下对应的含沙 水样,通过测取含沙水样的含沙量对应求出过滤器 在不同排污时间下对应的含沙量变化,即排污口含 沙量随排污时间的变化曲线,定义曲线拐点对应的 时间即为最佳排污时间。

共进行 2 个组次试验,80 目滤网和 120 目滤网 各一组。试验过程中,80 目滤网和 120 目过滤器在 过滤过程中的进水流量控制在 220 m³/h(本试验用 离心泵的额定流量为 138 m³/h,运行过程中其最大 流量达到 220 m³/h,根据实际调研,用户在作物灌水 周期为保证灌水量,离心泵均按最大功率运行,故试 验参照实际运行情况按最大进水流量 220 m³/h 运 行),对每个滤网的预设压差值各设置 5 个,每个预 设压差值下又分别改变 3 个进水含沙量(泥沙质量 浓度),总共进行 30 组排污试验。

因试验用过滤器的排污时间由继电器来控制, 其调节范围是0~99s,故每组排污试验历时设置为 最大值:99s,当过滤器达到预设压差后,开始排污 过程,然后在排污口取含沙水样,每5s取一瓶水 样,直到排污结束,共20瓶水样。通过后期对含沙 水样进行含沙量的测取,可反映出排污口含沙量的 变化,进而得出过滤器在不同情况下的最佳排污时 间。试验组次及相应参数变化见表2。

		12 III. 10	出八八岁奴	
ŗ	Гаb.2 E	xperimental g	group and paramet	ter list
试验 组次	滤网筛 分粒度 /目	进水口流量 <i>Q_j/</i> m ³ ·h ⁻¹	预设压差 Δ <i>p</i> /MPa	排污时间 T/s
1	80	220	0. 06 \0. 07 \0. 08 \ 0. 09 \0. 10	99

去? 试验细次及参数

1.4 试验泥沙

2

120

排污试验所用的泥沙来源于玛纳斯河河床泥

0.07,0.08,0.09,

0.10,0.11

99



2 水头损失试验

2.1 清水水头损失试验

参照图 3 的实物图,当水流流经各个变径口、蝶 阀和滤网等设备时,水流内部各质点的流速发生改 变,同时其机械能也在转化,即势能与动能相互转化 并伴有能量损失,故当水流流经这些部位时都要产 生水头损失。

对过滤器设备本身而言,当正常过滤时,水流从 进水口流入、出水口流出,整个流程所产生的水头损 失 h_w 是各段沿程水头损失 $\sum h_j$ 和各个局部水头 损失 $\sum h_j$ 的代数和。其局部水头损失 $\sum h_j$ 包 括:变径口断面、蝶阀端口处和过滤器罐体内部过滤 元件——滤网产生的局部水头损失,故对过滤器局 部水头损失应采用: $\sum h_j = \sum \zeta_j \frac{v_j^2}{2g}$ 计算,式中 ζ_j 表示局部水头损失系数, v_j 表示管径进口流速。对 于自清洗网式过滤器,由于从进水口到出水口水流 较复杂,且路程较短,无长直流段,因此可忽略其沿 程水头损失,主要考虑局部水头损失,即

$$h_w = \sum h_j = \sum \zeta_j \frac{v_j^2}{2g} \tag{1}$$

本试验研究的局部水头损失主要考虑由过滤元 件(滤网)产生。在实际过滤过程中,滤网(粗过滤 网和细过滤网)被灌溉水源中的泥沙颗粒堵塞,其 有效过滤面积逐渐减小,穿过滤网网孔的过滤流速 增大而产生额外水头损失。由图1可知,过滤元件 包括一级粗过滤网和二级细过滤网,在相同进水流 量下,水流穿过一级粗过滤网网孔产生的水头损失 远小于二级细过滤网产生的水头损失,故试验研究 局部水头损失的对象主要以二级细过滤网为主。

2.2 清水水头损失方程式

取过滤器细过滤网进水口为1-1 断面,出水口 附近为2-2 断面,0-0 为基准面,如图5 所示。对 1-1 断面和2-2 断面列能量方程,有

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w \qquad (2)$$





Fig. 5 Schemes of filter head loss calculation

由式(2)变形得

$$\begin{aligned} h_w &= z_1 - z_2 + \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \quad (3) \\ &\boxplus v_1 = \frac{Q_j}{A_1}, v_2 = \frac{Q_j}{A_2}, A_1 = \pi \frac{D_1^2}{4}, A_2 = \pi \frac{D_2^2}{4} \stackrel{\blacksquare}{\overleftarrow{\Box}} \\ &\qquad \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = \frac{8Q_j^2 (\alpha_1 D_2^4 - \alpha_2 D_1^4)}{g \pi^2 D_1^4 D_2^4} \\ &\diamondsuit z_1 - z_2 = \Delta z; \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = \frac{\Delta p}{\gamma}; \Downarrow \overrightarrow{\Box} (3) \overrightarrow{\Box} \overrightarrow{\overleftarrow{\Box}} \overrightarrow{\Box} \overrightarrow{D} \\ &h_w = \Delta z + \frac{\Delta p}{\gamma} + \frac{8Q_j^2 (\alpha_1 D_2^4 - \alpha_2 D_1^4)}{g \pi^2 D_1^4 D_2^4} \quad (4) \end{aligned}$$

式中 D₁——细过滤网进水口的直径,m

D₂——过滤器出水口直径,m

通过对试验用过滤器的测量,易得 $\Delta z = -0.415 \text{ m}, 若令 \alpha_1 = \alpha_2 = 1, 并将 D_1 = 0.54 \text{ m}, D_2 = 0.12 \text{ m}, \gamma = \rho g = 9800 \text{ N/m}^3 代入式(4)易得$

 $h_w = -0.415 + 102.041 \Delta p - 398.308 Q_j^2$ (5)

综上,式(5)即为本试验用过滤器细过滤网清 水局部水头损失值的通用表达式。

2.3 试验结果分析

清水作为过滤水源时,不会对过滤器的滤网造 成堵塞。通过控制进、出水管的蝶阀和控制水泵流 量的变频柜来测量不同流量下的清水水头损失,此 曲线可作为过滤器的清洁压降曲线^[14],为用户提供 技术参考。

试验过程中,将进水口流量从小到大进行调节, 每 10 m³/s 为一个间隔,结合试验过程中内外压力 表示数差值 Δ*p*,最后由式(5)得出细过滤网的局部 水头损失。本试验分别对 80 目和 120 目的细过滤 网进行了研究,具体见表 3 和表 4。

表 3 80 目细过滤网水头损失统计

Tab. 3 Tab of 80 mesh fine mesh head loss

Q_j	Q_j^2	p_1	p_2	Δp	h_w
$/m^3 \cdot s^{-1}$	$/m^6 \cdot s^{-2}$	/MPa	/MPa	/MPa	/m
0.004 306	1.853 8 $\times 10^{-5}$	0.031	0.026	0.005	0.087
0.005 189	2. 692 5 $\times 10^{-5}$	0.040	0.034	0.006	0.186
0.007 442	5. 537 8 $\times 10^{-5}$	0.077	0.070	0.007	0.277
0.012 600	0.00015876	0.018	0.010	0.008	0.338
0.014 817	0.00021953	0.075	0.067	0.008	0.313
0.016 836	0.00028345	0.038	0.030	0.008	0.288
0.021319	0.00045452	0.042	0.030	0.012	0.628
0.026367	0.000 695 2	0.025	0.012	0.013	0.634
0.028 842	0.000 831 84	0.038	0.024	0.014	0.682
0.031664	0.001 002 6	0.038	0.022	0.016	0.818
0. 033 936	0.001 151 66	0.038	0.018	0.020	1.167
0.037 028	0.001 371 06	0.038	0.016	0.022	1.283
0.03915	0.001 532 72	0.041	0.017	0.024	1.423
0.040364	0.001 629 24	0. 293	0.262	0.031	2.099
0.047 807	0.002 285 53	0.062	0.024	0.038	2.552
0.051904	0.002 694 07	0.068	0.026	0.042	2.797
0.055303	0. 003 058 4	0.202	0.156	0.046	3.060
0. 059 922	0.003 590 67	0.074	0.026	0.048	3.052
0.060867	0.00370475	0.114	0.064	0.046	2.803

表 4 120 目细过滤网水头损失统计 Tab. 4 Tab of 120 mesh fine mesh head loss

Q_j	Q_j^2	p_1	p_2	Δp	h_w
$/m^3 \cdot s^{-1}$	$/m^6 \cdot s^{-2}$	/MPa	/MPa	/MPa	/m
0.005 694	3. 242 $\times 10^{-5}$	0.030	0.025	0.005	0.082
0.008 251	6. 809 $\times 10^{-5}$	0.053	0.047	0.006	0.170
0.010117	0.0001024	0.074	0.068	0.006	0.156
0. 012 239	0.0001498	0.094	0.088	0.006	0.137
0. 013 425	0.000 180 2	0.110	0.103	0.007	0. 227
0.014169	0.000 200 8	0.124	0.116	0.008	0.321
0.018 244	0.000 332 8	0.020	0.011	0.009	0.370
0. 020 761	0.0004310	0.022	0.012	0.010	0.433
0.023355	0.000 545 5	0.023	0.012	0.011	0.490
0.027479	0.0007551	0.028	0.014	0.014	0.712
0.029 882	0.000 892 9	0.032	0.014	0.018	1.066
0. 031 937	0.001 020 0	0.037	0.016	0.021	1.321
0.036023	0.001 297 6	0.041	0.016	0.025	1.619
0.038450	0.001 478 4	0.046	0.018	0.028	1.853
0. 039 101	0.001 528 9	0.048	0.018	0.030	2.037
0. 041 658	0.0017354	0.053	0.019	0.034	2.363
0.042763	0.001 828 7	0.057	0.020	0.037	2.632
0.044 403	0.0019716	0.060	0.020	0.040	2.881
0.045051	0.002 029 6	0.065	0.021	0.044	3.266
0.005 694	0.002 386 9	0.070	0.022	0.048	3. 532
0.008 251	0.0026620	0.074	0.024	0.050	3.626
0.010117	0.0029761	0.078	0.026	0.052	3.705
0. 012 239	0.003 405 3	0.080	0.026	0.054	3.738
0. 013 425	0.003 651 3	0.082	0.026	0.056	3.844

结合表 3 和表 4 易知,随进水口流量的增大, 80 目和 120 目细过滤网的水头损失均逐渐增大;相 同过滤流量条件下,80 目细滤网产生的水头损失要 小于 120 目细滤网,这在相同流量下,穿过网孔面积 小的水流流速要大。

由上分析,清水条件下的过滤器水头损失是指 过滤器内部细过滤网进、出水口的总水头降,结合 式(1)易知,过滤器细滤网的局部水头损失系数 Σζ_i不会随时间发生变化,其局部水头损失只与 流量有关。因过滤器中的水流状态较复杂,很难确 定过滤器水头损失系数,为更好地确定水头损失的 变化情况,可将过滤器的水头损失表示为

$$h_{w} = kQ_{j}^{x}$$
 (6)
式中 k ——过滤器的水头损失系数
 x ——指数

结合表 3 和表 4,可作出不同流量下滤网的局部水头损失变化曲线,并拟合出 80 目和 120 目细过滤网的水头损失经验公式分别为 $h_w = 0.002 \ 8 Q_j^{1.2657}$ 和 $h_w = 0.002 \ Q_i^{1.8406}$,见图 6。

结合图 6 和 $h_w = \sum \zeta_j \frac{v_j^2}{2g}$ 可知,进水流量小, 单位时间内水流穿过滤网的流速小,引起过滤器的 初始水头损失变化比较缓慢,故引起滤网内外压差 变小;当进水流量超过 140 m³/h,随着流量的增大, 流速也随之增大,其初始水头损失便急剧增加。结 合工程实际,为降低过滤器的局部水头损失,本试验 用过滤器的流量控制在 180 m³/h 左右较好,其水头 损失在 3 m 左右。



3 排污试验

3.1 80 目细过滤网的排污试验

试验前,对80目过滤器设置5个预设压差: 0.06、0.07、0.08、0.09、0.10 MPa,在每个预设压 差下,分别改变3个进水含沙量进行最佳排污时间 试验。待细过滤网达到预设压差时,过滤系统开始 排污,此时在排污管处按试验方案接取含沙水样,通 过后期对排污口含沙量的测量,作出如图7所示的 排污口含沙量在进水含沙量一定的情况下随时间的 变化曲线。

由图 7 得出:在 5 个不同预设压差基础上各改 变 3 个不同进水含沙量后,曲线在排污时间达到 15 s时出现拐点,20 s 后的排污口含沙量开始趋于 稳定,这说明,过滤器的排污时间设为 20 s 时,排污 效果非常明显。为进一步提高过滤器的清洗效果, 排污时间可设 20~30 s 之间,此时间段即为最佳排 污时间。

由图7发现:在5个不同预设压差条件下,排污 口含沙量随排污时间的变化规律是一致的。排污口 初始含沙量要远小于峰值含沙量,因在过滤过程中, 排污管的出口处于关闭状态,罐体内部压力大于排 污室,未过滤水流便通过自清洗装置的吸沙组件进 入排污室,当系统进行排污时,预先在排污室的水流 便通过排污口,结合自清洗原理易知,随着排污的进 行,被滤网截取的泥沙颗粒便被吸沙组件吸走。通 过试验测量,排污时,水力旋喷管转速为165 r/min, 截留在滤网表面的泥沙颗粒3 s 内全部排出,此时 间段发生在排污过程中的第7 秒至第9秒,其余排 污时间段的出口含沙量相对较小。

结合图 7 易知,在不同预设压差条件下,随进水 含沙量的增加,排污口含沙量也随之增加,之后,排 污时间经过 5 s 后,排污口含沙量达到最大,在 15 s 时,曲线出现拐点,20 s 以后含沙量趋于稳定。为保 证高效率排沙和下一个过滤周期的稳定运行,排污 时间控制在 20~30 s 之间较好。

通过对 80 目自清洗网式过滤器的室内排污试 验研究表明:改变不同预设压差和进水含沙量,排污 时间控制在 20~30 s之间,排污效果达到最佳。

3.2 120 目细过滤网的排污试验

同理,在此基础之上,用120目细过滤网更换原 80目细过滤网继续进行室内试验。由前期的水头 损失变化情况可看出,在相同进水流量下,120目细 过滤网的初始水头损失比80目的要高出近1m^[15]。 若仍然按照80目细过滤网的设置第一个预设压差 0.06 MPa,则细过滤网很快达到排污状态,不易读取



图 7 不同预设压差条件下排污口含沙量随排污时间的变化曲线(80 目)

Fig. 7 Curve of drainage sediment's change with time in different default value of pressure difference (80mesh) (a) 0.06 MPa (b) 0.07 MPa (c) 0.08 MPa (d) 0.09 MPa (e) 0.10 MPa

试验参数和含沙水样的取样工作,故预设压差分别为:0.07、0.08、0.09、0.10、0.11 MPa,最终可得出不同预设压差情况下排污口含沙量的变化曲线,如图 8 所示。

结合曲线的变化情况,很容易看出其规律同 80 目细过滤网的结论相同,从而得出预设压差和进 水含沙量不影响过滤器的排污效果,将排污时间控 制在20~30s时间段内对实际应用过程中排污时间 的设定具有指导作用。

4 理论研究

4.1 排污公式推导过程

试验用自清洗网式过滤器的排污时间由时间继 电器控制,其设置范围是0~99 s。文献[16~17]定 义清洗99%的污物所需的时间为排污时间,故需要 知道在一个过滤周期 t 内,细过滤网所截取的泥沙 质量 M_j,排污时,利用公式 M_p=0.99M_j便可算出排 污所用的时间 T。因滤网截取的泥沙颗粒总量与进 水含沙量、进水流量和泥沙颗粒级配有关,故容易算 出一个过滤周期 t 内细过滤网截取大于网孔泥沙颗 粒的质量为

$$M_j = Q_j S_j P_m t$$
 (7)
式中 P_m ——粒径大于孔径的泥沙质量分数,%

 S_{j} ——进水含沙量,g/L 排污装置的吸沙组件吸取泥沙质量为 $M_{p} = Q_{p}S_{p}T$ (8)

将式(7)和式(8)代入 M_n=0.99M_i变形后得出

$$T = \frac{0.99 Q_j S_j P_m t}{Q_p S_p}$$
(9)

在实际灌溉过程中,过滤器均以最大流量工作, 故本试验用过滤器的进水流量取 $Q_j = 220 \text{ m}^3/\text{h}$,排 污过程中用流量计测得排污口流量 $Q_p = 80 \text{ m}^3/\text{h}$ 。 结合图 4 可读出, 120 目细过滤网 $P_m = 80\%$ 。将数 值代入式(9)可得出

$$T_{120} = 2.18 \frac{S_j t}{S_p} \tag{10}$$

试验中,通过测取 120 目细过滤网 5 个预设压 差下对应 3 个不同含沙量、过滤时间和排污口含沙 量,代入式(10)来验证表达式的正确性。试验过程 中的 *S_i* 为一个过滤周期的初始、中期和排污前 3 个 阶段取样的平均值,*S_p* 为排污过程第 10 秒对应的 排污含沙量,这是因为通过对排污口含沙量的测量, 其值在第 10 秒时最大,而其余时刻的排污含沙量很 小。将试验测得数据代入式(10),得出滤网的排污 时间见表 5。

4.2 误差分析

从表5数据易发现,最佳表达式计算出的排污



图 8 不同预设压差条件下排污口含沙量随排污时间的变化曲线(120 目)

Fig. 8 Curve of drainage sediment's change with time in different default value of pressure difference (120 mesh) (a) 0.07 MPa (b) 0.08 MPa (c) 0.09 MPa (d) 0.10 MPa (e) 0.11 MPa

表5 120	目细过滤网排污时间理论计算及修正值
--------	-------------------

Tab. 5	Theoretical	calculate and	correction value of	f

drainage time in 120 mesh filter					
预设压	进水含	过滤	排污口含	排污	修正后排
$差 \Delta p$	沙量 S_j	周期	沙量 S_p	时间	污时间
/MPa	$/g \cdot L^{-1}$	t∕s	∕g•L ⁻¹	$T_{120}/{\rm s}$	$T'_{\rm 120}/{\rm s}$
	0.0879	1 182	2.6517	85.42	52.27
0.07	0.0895	970	2.4638	76.81	47.01
	0.1160	1 103	2.6795	104.10	63.71
	0. 127 7	979	2.4928	109.33	66.90
0.08	0.1342	1 099	3. 204 7	100.33	61.40
	0.1428	979	3.4661	87.93	53.81
	0.1370	782	4.0814	57.22	35.01
0.09	0. 185 3	619	2.3662	105.67	64.67
	0.2041	446	3. 386 3	58.60	35.86
0. 10	0. 178 6	406	4. 203 5	37.61	23.01
	0. 189 0	674	2.9002	95.75	58.59
	0.2109	765	3.9014	90.15	55.17
0.11	0.2113	321	4.1441	35.68	21.83
	0.2045	884	2.9118	135.34	82.82
	0. 223 3	918	2. 261 4	197.61	120.93

时间偏大,故需对式(10)进行修正。结合试验过程 及数据分析,主要从泥沙级配角度进行修正:在进行 泥沙颗粒级配过程中,称取的泥沙颗粒总质量为 500g,测取泥沙颗粒粒径在 0.075~0.25 mm 范围 内的质量为 194g,故此部分质量分数是 38.8%,过 滤过程中,与滤网的孔径相等的泥沙颗粒会卡在滤 网的网孔上,导致排污时吸沙组件只能将细过滤网 的内表面 61.2% 泥沙颗粒清洗干净,故取修正系数 为λ=0.612。则式(10)变为

$$T'_{120} = \lambda \cdot 2. \ 18 \ \frac{S_j t}{S_p} = 1. \ 33 \ \frac{S_j t}{S_p}$$
(11)

对式(11)进行计算,结果列表 5,容易看出修正 后的排污时间,除预设压差设为 0.11 MPa 时对应的 2 个排污时间较大外,其余排污时间在 50 s 左右变 化(实际大田灌溉中,为保证过滤器排污彻底,均设 置排污时间在 1 min 左右),结合所取瓶装含沙水样 容易漏水、目读水样在量筒中的体积以及称量泥沙 所用的电子天平存在的误差等因素考虑,修正后的 排污时间与试验值分析出的理论最佳排污时间20 ~ 30 s 基本接近,此试验和计算结果与以色列生产的 吸污式自清洗过滤器和刷(刮)式自清洗过滤器的 清洗时间相吻合^[18],证明试验用的国产过滤器水力 性能可以达到国外过滤器的使用标准,进而说明 式(11)可以作为计算自清洗网式过滤器最佳排污 时间的基本公式。

5 结论

(1) 理论推导出过滤器清水水头损失的通用表

达式和2种常用目数滤网水头损失的经验表达式。

(2)通过排污试验,得出 2 种滤网过滤器在不同来水来沙条件和不同预设排污压差下的排污时间变化曲线,通过曲线得出其最佳排污时间段在 20~

 $30 \mathrm{s}_{\circ}$

(3) 理论推导出并修正了 120 目自清洗网式过 滤器的最佳排污时间表达式,其值与试验值基本吻 合。

参考文献

1 刘飞,刘焕芳,郑铁刚,等. 微灌用自吸式自动过滤器滤网内外工作压差的设置研究[J]. 中国农村水利水电,2010(4): 50~53.

Liu Fei, Liu Huanfang, Zheng Tiegang, et al. A study of set up on the work pressure difference between the internal and the external automatic self-suction filter screen in micro-irrigation [J]. China Rural Water and Hydropower, $2010(4):50 \sim 53$. (in Chinese)

- 2 杨万龙,宋世良. 叠片式自动反冲洗过滤器的研制[J]. 中国农村水利水电,2005(1):115~117. Yang Wanlong, Song Shiliang. Research and development on disc automatic reverse wash filter[J]. China Rural Water and Hydropower, 2005(1):115~117. (in Chinese)
- 3 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 Xinmian, Dong Wenchu, Yang Jinzhong, et al. Experimental study on characteristics of laminated sand filter for microirrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2005,21(5):81~84. (in Chinese)
- 4 郑铁刚,刘焕芳,宗全利,等. 微灌用自吸自动网式过滤器水头损失的试验研究[J]. 石河子大学学报,2008,26(6):772~775. Zheng Tiegang, Liu Huanfang, Zong Quanli, et al. Experimental studies on head loss of self cleaning water screen filter in microirrigation[J]. Journal of Shihezi University,2008,26(6):772~775. (in Chinese)
- 5 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. Liu Huanfang, Zheng Tiegang, Liu Fei, et al. Analysis of filtering time and sewage time for automatic suction screen filter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(7):80~83. (in Chinese)
- 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 DuranRos M, Arbat G, Barraga'n 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.
- 8 Capra, Scicolone. Emitter and filter tests for waster water reuse by drip irrigation [J]. Agricultural Water Management, 2004, 68(2):135~149.
- 9 董文楚. 滴灌用砂过滤器的过滤与反冲洗性能试验研究[J]. 水利学报, 1997(12):72~77. Dong Wenchu. A study on the filtration and backflushing performance of the filters with crushed quartz sand for drip-irrigation[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1997 (12):72~77. (in Chinese)
- 10 翟国亮,陈刚. 微灌用石英砂滤料的过滤与反冲洗试验[J]. 农业工程学报,2007,23(12):1~5. Zhai Guoliang, Chen Gang. Experimental study on filtrating and backwashing of sandy beds in micro-irrigation filter[J]. Transactions of the CSAE,2007, 23(12):1~5. (in Chinese)
- 11 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. Liu Huanfang, Wang Jun, Hu Jiuying, et al. The experimental study on local head loss of screen filter in micro-irrigation[J]. China Rural Water and Hydropower, 2006(6):57~60. (in Chinese)
- 12 赵红书.石英砂滤料的过滤与反冲洗性能研究[D].北京:中国农业科学院,2010. Zhao Hongshu. Performance of filtration and flushing of quartz sand media for micro-irrigation[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2010. (in Chinese)
- 13 邓忠,翟国亮,仵峰,等. 微灌过滤器石英砂滤料过滤与反冲洗研究[J]. 水资源与水土工程学报,2008,19(2):34~37. Deng Zhong, Zhai Guoliang, Wu Feng, et al. Study on the filtration and backwashing for the quartz filter in micro-irrigation[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2008,19(2):34~37. (in Chinese)
- 14 王军. 微灌用过滤器水力性能的试验研究[D]. 石河子:石河子大学,2004.
- 15 刘飞. 微灌自清洗网式过滤器运行特性研究[D]. 石河子:石河子大学,2008.
- 16 于忠臣,王松,吴国忠,等. 压力过滤器理论反冲洗时间的确定[J]. 哈尔滨工业大学学报,2006,38(8):1267~1269.
 Yu Zhongchen, Wang Song, Wu Guozhong, et al. Determination of theoretical backwashing time in pressure filter[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2006,38(8):1267~1269. (in Chinese)
- 17 Adin A, Dean L, Nasser A, et al. Characterization and destabilization of spent filter backwash water particles [J]. Wat. Sci. Tech.: Water Supply, 2002,45(2):115~122. (in Chinese)
- 18 王爱伟.吸污式自清洗过滤器的开发与理论研究[D].北京:北京化工大学,2008.
 Wang Aiwei. Development and theoretical research of suction filter[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2008. (in Chinese)