

doi:10.3969/j.issn.1674-8530.14.0020

卧式自清洗网式过滤器排污时间试验及计算

李强强¹, 宗全利¹, 刘贞姬¹, 蓝军²

(1. 石河子大学水利建筑工程学院, 新疆 石河子 832000; 2. 石河子市天露节水设备有限公司, 新疆 石河子 832000)



李强强

摘要: 通过对型号为 8GWZ-200 的卧式自清洗过滤器排污时间进行试验, 获得了 4 种流量 (220, 200, 180, 160 m³/h)、6 种含沙量 (0.006, 0.013, 0.015, 0.018, 0.027, 0.063 kg/m³) 这 2 种条件下排污口含沙量随排污时间变化的试验结果. 分别分析了相同流量不同含沙量以及相同含沙量不同流量条件下, 排污口含沙量随排污时间的变化规律, 结果表明: 排污口含沙量均随排污时间先增大后减小, 最后趋于稳定, 进而得到排污时间的最小值应为 14 s. 根据质量守恒建立了排污时间的计算方法, 并根据试验结果, 对排污时间进行了计算, 结果表明: 计算得到的过滤器排污时间为 15~47 s. 结合排污时间试验结果, 最终确定卧式自清洗过滤器排污时间为 15~30 s. 该结果与已有过滤器试验结果和实际工程运行结果均一致, 完全可以用于实际工程中卧式自清洗网式过滤器排污时间的确定.

关键词: 卧式自清洗网式过滤器; 排污时间; 流量; 含沙量; 理论计算

中图分类号: S277.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-8530(2014)12-1098-07

李强强, 宗全利, 刘贞姬, 等. 卧式自清洗网式过滤器排污时间试验及计算[J]. 排灌机械工程学报, 2014, 32(12): 1098-1104.

Li Qiangqiang, Zong Quanli, Liu Zhenji, et al. Experiment and calculation of discharge time for horizontal type self-cleaning screen filter[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering (JDIME), 2014, 32(12): 1098-1104. (in Chinese)

Experiment and calculation of discharge time for horizontal type self-cleaning screen filter

Li Qiangqiang¹, Zong Quanli¹, Liu Zhenji¹, Lan Jun²

(1. College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China; 2. Shihezi Tianlu Water-Saving Equipment Company, Shihezi, Xinjiang 832000, China)

Abstract: Through the experiment of discharge time of horizontal type self-cleaning screen filter, the relationships between sediment content at outlet and discharge time were obtained, with six different sediment content of inlet, which are $S = 0.006, 0.013, 0.015, 0.018, 0.027, 0.063 \text{ kg/m}^3$, and four different flow rates, which are $Q = 220, 200, 180, 160 \text{ m}^3/\text{h}$. The changes of sediment content at outlet with discharge time are analyzed respectively such as different sediment content at same flow rate, and same sediment content at different flow rate. The results show that the sediment content at outlet rise to the maximum first, then decrease until reaching a steady value. Therefore, the minimum of discharge time is 14 s. According to the law of conservation of mass, the calculation method of discharge time is also established. Based on the experimental results, the discharge time of filter is calculated, and the value of calculated discharge time is 15-47 s. Combined experimental results of discharge time, the value of discharge time for horizontal type self-cleaning screen filter is determined, which is 15-30 s. The results are consistent with the existing filter test results and actual operating results, which can be

收稿日期: 2014-03-02; 网络出版时间: 2014-12-26

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1814.TH.20141226.1117.014.html>

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50909062, 51269028)

作者简介: 李强强(1987—), 男, 新疆乌苏人, 硕士研究生(1140617660@qq.com), 主要从事水力学及河流动力学研究.

宗全利(1979—), 男, 山东临朐人, 副教授(通信作者, quanli1871@126.com), 主要从事水力学及河流动力学研究.

used to predict discharge time for practical engineering horizontal self-cleaning screen filter.

Key words: horizontal type self-cleaning screen filter; discharge time; flow rate; sediment content; theoretical calculation

从传统的粗放型灌溉农业向节水高效的现代农业转变,已成为我国农业用水的基本战略和必经之路^[1],对于高效节水最关键一个环节就是微灌系统,而能够保证该系统正常运行最重要的设备就是过滤器,研究出综合性能更好的过滤器一直是国内外学者努力的方向^[2-4].网式过滤器在微灌系统中应用最为普遍,其中卧式自清洗网式过滤器具有安装、维护方便,成本低等优点,传统的过滤器在使用时存在自动化程度较低,压力损失较大,清洗时还需人工清除滤渣等不足,而卧式自清洗网式过滤器不但具有一般自清洗过滤器的自动排污等特点,而且还具有体积小,安装、维修方便等优点,因此卧式自清洗网式过滤器将是今后发展趋势之一.对于现阶段过滤器研究而言,其结构和水力性能成为国内外的主要研究方向,例如:董文楚^[5]通过分析过滤层水流的水头损失变化,总结出了影响其水头损失变化的因素,并推求出其水力学公式;徐茂云^[6]通过对不同堵塞情况下过滤器滤网的研究,得到了局部水头损失系数的经验公式;肖新棉等^[7]研究了微灌用叠片式砂过滤器性能,进行了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;孙新忠^[8]、刘焕芳等^[9]、宗全利等^[10-11]对自清洗网式过滤器水头损失、排污压差等水力性能进行了试验研究.王新坤等^[12]以微灌网式过滤器为主要研究对象,对过滤器内部流速分布和水力特性等进行了数值模拟,并对过滤器进行了结构优化等.国外主要针对污水滴灌条件下,结合量纲分析和试验等方法对各种类型过滤器水头损失进行了研究^[13-15],但对自清洗过滤器排污时间研究很少.

排污时间是评价过滤器自清洗效果好坏的最直接参数,其大小的确定对于排污流量、网面清洗效果等有直接联系,国内对过滤器排污时间的研究成果较少^[16].例如:刘焕芳等^[17]、刘飞等^[18]针对立式自清洗过滤器对排污时间进行了研究,使用目数为80的自清洗网式过滤器,通过改变5个不同预设压差值及6个不同进水含沙量($S = 0.070, 0.081, 0.098, 0.149, 0.158, 0.182 \text{ kg/m}^3$)对应的3个不同流量($Q = 220, 200, 180 \text{ m}^3/\text{h}$)条件下的试验研究,确定排污的最佳时间范围为20~30 s.由于卧式自清洗网式过滤器目前在国内应用较少,其技术参数

多参考立式过滤器研究结果,但一些运行关键参数,如:水头损失、排污压差、排污时间等均需专门研究,为此文中将同样使用目数为80的自清洗网式过滤器,通过改变6种不同进水含沙量($S = 0.006, 0.013, 0.015, 0.018, 0.027, 0.063 \text{ kg/m}^3$)以及相应4种不同流量($Q = 220, 200, 180, 160 \text{ m}^3/\text{h}$)的条件下对卧式自清洗网式过滤器的排污时间加以探讨,结合试验结果确定卧式自清洗网式过滤器排污时间,并给出相应的计算公式.

1 结构及工作原理

卧式自清洗网式过滤器是由过滤器筒体、滤芯、自动控制装置、排污装置等组成,如图1所示.

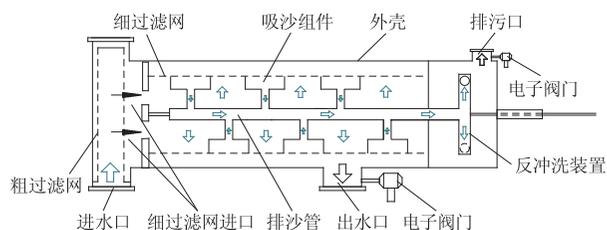


图1 卧式自清洗网式过滤器结构图

Fig. 1 Structure of horizontal self-cleaning screen filter

卧式自清洗网式过滤器的工作原理:在过滤过程中过滤器的出水阀处于打开状态,排污阀处于关闭状态.含沙水进入网式过滤器的入口为进水口,较大的颗粒杂质首先被粗滤网芯滤掉,然后经过细过滤网进口到达细滤网,从里向外通过滤网,比网孔大的杂物则被拦截,细小颗粒杂质被细滤网滤除后,通过出水口将其排出.过滤器过滤过程中,杂质逐渐在细滤网内层堆积,滤网的内侧和外侧就逐渐形成了一个压差.当达到预设压差值后过滤器开始自动清洗过程.在该过程中排污阀打开,出水阀关闭,反冲洗装置在水流旋喷作用下旋转并将水排出.排污管和过滤室内的压力出现大幅下降,与此同时在吸沙组件处形成负压,细滤网内壁的泥沙被吸嘴吸取,由排沙管经反冲洗装置通过排污口排出,一个完整的排污过程由此形成.当反冲洗装置中出现由排污管流入的水流时,吸沙组件被水流旋喷作用带动并进行旋转,从而将整个滤网内表面清洗干净,清洗结束后排污口将关闭,整个清洗过程

将持续数十秒,清洗过程中,过滤器正常的过滤工作不间断。

2 试 验

2.1 试验装置

试验装置如图 2 所示. 试验用卧式过滤器流量 Q 范围为 $150 \sim 220 \text{ m}^3/\text{h}$, 滤网规格 80 目; 加压水泵型号为 10SH19. 试验水样为细颗粒泥沙配制的浑水, 泥沙粒径级配如图 3 所示, 图中横坐标 d 为粒径, 纵坐标 P_d 为小于该粒径百分数. 中值粒径为 0.16 mm . 所选取泥沙粒径依据: 首先要保证过滤器滤网在较大含沙量 ($S = 0.063 \text{ kg}/\text{m}^3$) 下不会在很短时间内堵塞, 为试验提供足够取样时间 (至少 10 min); 同时还要确保在较小含沙量 ($S = 0.006 \text{ kg}/\text{m}^3$) 下, 达到预设压差不需很长时间 (小于 90 min), 保证试验的效率。

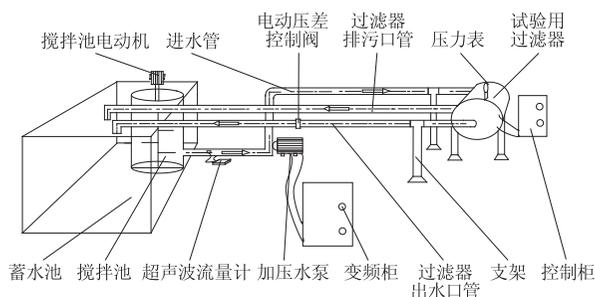


图 2 过滤器试验装置示意图

Fig. 2 Experimental configuration of horizontal self-cleaning screen filter

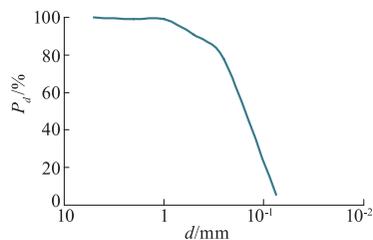


图 3 泥沙粒径级配

Fig. 3 Grain-size distribution of sand

2.2 试验方法及步骤

试验时首先开启过滤器, 在过滤器正常工作后, 过滤一定时间, 待到过滤器滤网内外的压差达到预设压差值时, 过滤器转入排污过程, 此时需要测量不同时间对应排污口含沙量. 试验分别在相同含沙量不同流量与相同流量不同含沙量条件下进行, 并在进水口和排污口分别取含沙水样; 使用秒表记录在相同流量不同含沙量以及相同含沙量不

同流量条件下的过滤时间和排污时间, 并且在排污口处每隔 3 s 取 1 次水样, 每个排污过程共取 5 次; 每次取水使用容积为 2 L 左右小桶取样, 并采用过滤法测定含沙水样中的含沙量, 过滤前先用量筒对含沙水样体积进行测量, 然后使用滤纸进行过滤. 过滤前滤纸以及过滤后含沙滤纸都置于 $90 \text{ }^\circ\text{C}$ 的烘箱中烘至恒重, 然后对滤纸过滤前后质量差进行计算, 即为泥沙质量, 最后根据测量的含沙水样体积计算得到含沙量。

3 排污时间试验结果及分析

试验用过滤器的型号为 $8\text{GWZ}-200$, 进水管直径均为 0.16 m , 在过滤过程中, 选择的预设压差值为 0.08 MPa . 按照试验方案, 分别改变流量大小对排污口含沙量进行试验. 试验选择 $220, 200, 180, 160 \text{ m}^3/\text{h}$ 这 4 种流量, 是根据过滤器工作流量 Q 为 $150 \sim 220 \text{ m}^3/\text{h}$, 按照级差为 $20 \text{ m}^3/\text{h}$ 进行选择的, 这样可以保证试验流量有较广泛的范围, 同时又在过滤器工作流量之内; 共测量了 6 组不同进口含沙量 S , 分别为 $0.006, 0.013, 0.015, 0.018, 0.027, 0.063 \text{ kg}/\text{m}^3$, 含沙量选择既要保证在较小含沙量下过滤器达到预设压差时间不会太长, 也要保证在较大含沙量下能够为试验取样留出足够时间. 下面分别对相同流量不同进水含沙量以及相同含沙量不同流量条件下的排污口含沙量随着时间变化规律进行分析。

3.1 相同流量不同含沙量

图 4 为试验得到的相同流量不同进水含沙量条件下排污口含沙量随时间的变化规律. 从图中可以看出, 各种条件下排污口含沙量随着过滤时间的趋势基本一致, 随着排污时间的增长, 排污口的含沙量先增大后减小, 并存在一个峰值. 开始排污时, 由于排污管内存留有前次未排完的水样, 所以最先排出的水含沙量较低 (与进水含沙量接近); 随着内部滤网上积聚的泥沙颗粒被水流从排污口排出, 排污口含沙量会逐渐增大到最大值; 后续随着泥沙的逐渐排出, 含沙量逐渐减小并趋于稳定, 最后接近进水含沙量值. 从图中可以看出, 在 t_p 为 $6 \sim 9 \text{ s}$ 时出现峰值, 之后急剧下降, 在 t_p 为 $14 \sim 16 \text{ s}$ 排污口含沙量趋于稳定, 据此排污时间最小值应为 14 s . 由于进水口含沙量和流量等因素的影响, 具体排污时间的范围还需根据质量守恒定律以及试验数据进行计算。

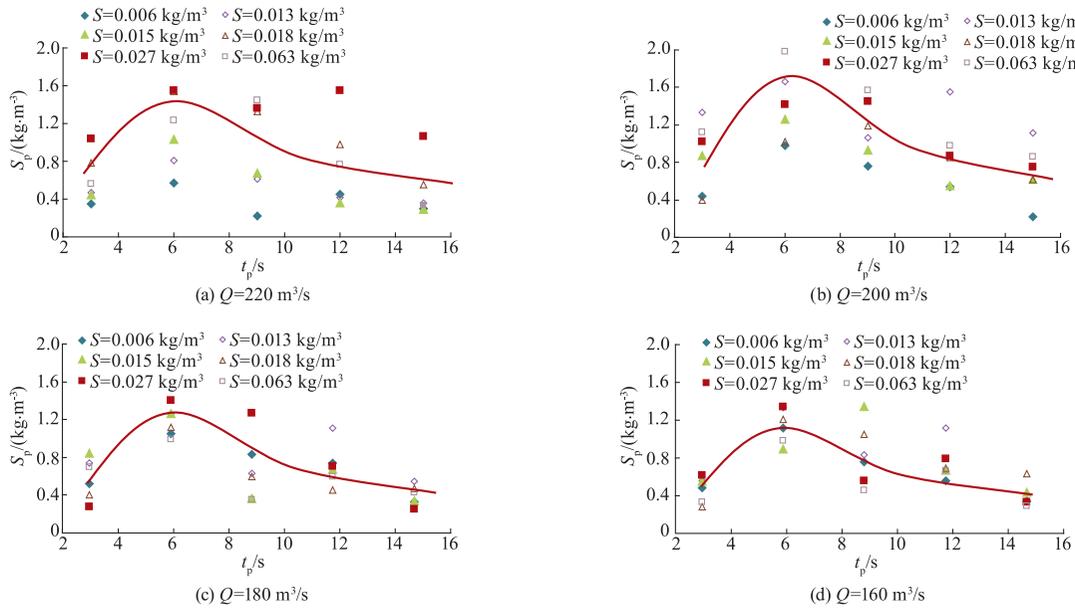


图 4 不同进水含沙量下排污口含沙量随时间变化曲线

Fig. 4 Relationship between sediment content at outlet for muddy water and time with different sediment content at inlet

3.2 相同含沙量不同流量

在含沙量 S 分别为 0.006 ~ 0.063 kg/m^3 的条件下, 分别得到了流量 Q 为 160, 180, 200, 220 m^3/h 这 4 种不同流量条件下排污口含沙量随时间的变化规律, 如图 5 所示. 由图可知, 在同一含沙量不同流量条件下, 排污口的含沙量变化趋势也基本一致, 都是先增大后减小, 含沙量出现峰值后随着排污时

间的延长, 其含沙量变化基本趋于平稳, 其变化规律与之前所分析的相同流量不同含沙量变化规律基本一致. 但在同一进水含沙量下, 不同流量对应含沙量随时间变化规律差别较大, 这也说明流量对排污影响较大. 从图中可以看出, 在 t_p 为 6 ~ 10 s 时出现峰值, 之后急剧下降, 在 t_p 为 14 ~ 16 s 排污口含沙量趋于稳定, 据此排污时间最小值应为 14 s.

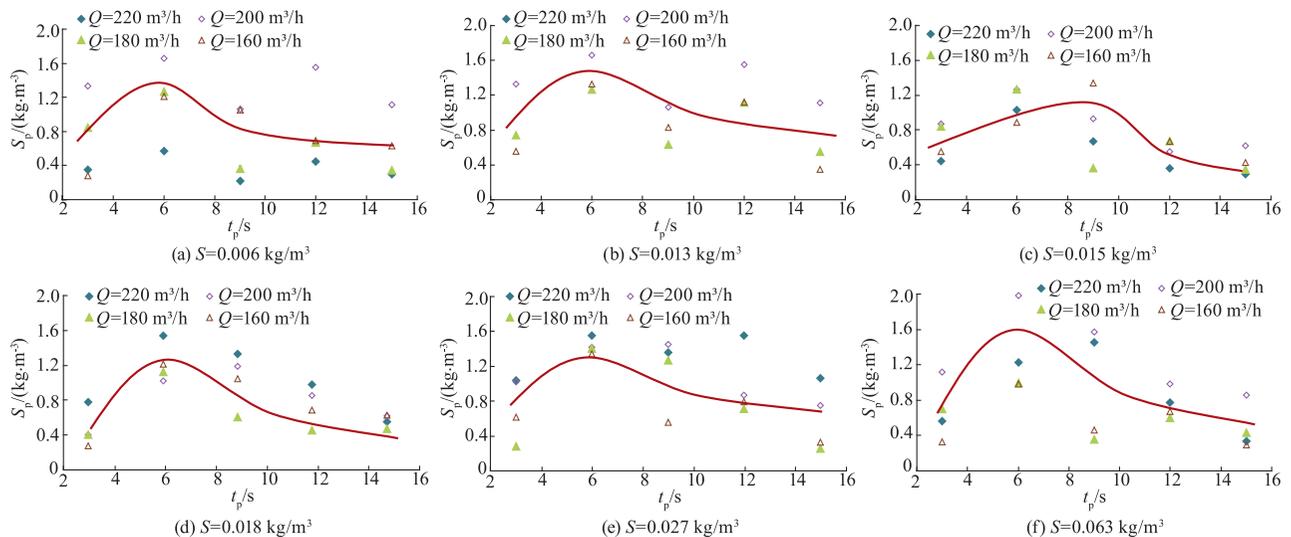


图 5 不同流量下排污口含沙量随时间变化曲线

Fig. 5 Relationship between sediment content at outlet for muddy water and time with different flow rate

4 排污时间计算

根据上述排污口含沙量随时间变化规律可知,

过滤器排污时间与进水含沙量、进水流量等有关, 除此之外还应与排污流量、过滤时间以及滤网内表面泥沙排出的比率等有关. 在进水流量和进水含沙量一定情况下, 过滤器排污时间理论上应该为将过

滤器滤网内外压力差达到过滤初始对应压差值所需要的时间,实际由于滤网表面的泥沙不可能全部排出,一般定义一个泥沙排出百分数 P_m ,即将滤网内表面泥沙排出 P_m 百分值后认为排污结束,此时对应的滤网内外压差也不再是初始压差值,而是比初始压差略大^[18]. 根据排出泥沙的质量守恒,可以建立排污时间的关系式.

设过滤器过滤时间 t_0 内滤网拦截的泥沙颗粒总质量为

$$M = 3\ 600QS Pt, \quad (1)$$

式中: M 为泥沙总量, kg; Q 为进水流量, m^3/h ; S 为进水含沙量, kg/m^3 ; P 为粒径大于滤网网孔的泥沙颗粒占总质量百分数; t 为达到预设压降时的过滤时间, s.

在排污时间 t_p 内排出泥沙总质量 M_p 可以表达为

$$M_p = 3\ 600Q_p S_p t_p, \quad (2)$$

式中: M_p 为排出泥沙总量, kg; Q_p 为排污流量, m^3/h ; S_p 为排污含沙量平均值, kg/m^3 ; t_p 为排污时间, s.

由排污时间定义及质量守恒定律可知, $P_m M = M_p$, 即由式(1)及式(2)可得:

$$t_p = \frac{Q}{Q_p} \frac{S}{S_p} P P_m t. \quad (3)$$

由式(3)可以看出, 排污时间 t_p 与进水流量 Q 、进水含沙量 S 、过滤时间 t 成正比, 与排污流量 Q_p 、排污含沙量 S_p 成反比, 此外还与粒径大于网孔直径的泥沙颗粒占总质量百分数 P 以及滤网内表面泥沙排出百分数 P_m 有关.

由图 4, 5 可知, 过滤器实际排污过程中, 排污含沙量随着排污时间变化, 因此用式(3)计算排污时间 t_p 时排污含沙量可以近似取排污过程中含沙量的平均值. 试验滤网为 80 目网芯, 孔径为 0.152 mm, 由图 3 可知粒径大于 0.152 mm 的沙占 60%, 即 $P = 60\%$. 取 $P_m = 0.85$, 即认为拦截 85% 的泥沙颗粒可以被排出. 过滤器基本数据: 过滤流量 Q 分别为 220, 200, 180, 160 m^3/h , 对应排污流量 Q_p 分别为 90, 80, 70, 60 m^3/h . 将这些参数代入式(3)中就可以计算得到各种情况下的排污时间值.

图 6 为计算得到的排污时间与进水含沙量关系曲线. 从图中可以看出, 计算得到过滤器排污时间 t_p 随着进水含沙量 S 的增大而增大, 这主要是因为进水含沙量越大, 相同过滤时间内进入过滤器并被滤网拦截的泥沙颗粒就会越多, 而需要排出的泥沙颗

粒也越多, 对应需要的排污时间也会越长.

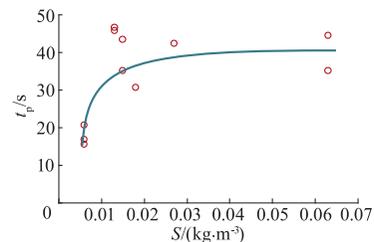


图 6 计算得到过滤器排污时间与进水含沙量关系曲线
Fig. 6 Relationship between discharge time and sediment content at inlet

另外从图 6 中还可以看出, 计算得到过滤器排污时间 t_p 为 15 ~ 47 s, 若取均值则为 30 s. 而通过图 4, 5 确定, 过滤器排污时间最小值为 14 ~ 16 s, 取均值为 15 s, 所以最后可以确定过滤器排污时间为 15 ~ 30 s. 根据新疆生产建设兵团农八师过滤器实际运行原型观测结果, 为了保证将滤网截留的泥沙颗粒彻底排出, 排污时间一般设定较大为 60 s^[11, 18]; 而国外一些自清洗网式过滤器, 如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一般设定为 20 ~ 30 s, 与文中计算结果基本一致^[19]; 对于国内自清洗过滤器, 刘焕芳等^[17]、刘飞等^[18]也通过试验, 对目数为 80 的立式自清洗网式过滤器, 在进水含沙量 S 范围为 0.07 ~ 0.182 kg/m^3 , 流量 Q 为 220, 200, 180 m^3/h 条件下, 得到过滤器最佳排污时间为 20 ~ 30 s. 综上, 文中所得到的卧式自清洗网式过滤器排污时间 t_p 为 15 ~ 30 s 与其他自清洗网式过滤器试验结果基本一致, 也与实际工程运行结果一致, 完全可以用于实际工程中卧式自清洗网式过滤器排污时间的确定.

5 结 论

1) 分别针对流量 Q 为 220, 200, 180, 160 m^3/h , 进口含沙量 S 为 0.006, 0.013, 0.015, 0.018, 0.027, 0.063 kg/m^3 条件下, 卧式自清洗网式过滤器排污时间进行了试验, 获得了 4 种流量、6 种含沙量下排污口含沙量随排污时间的试验结果.

2) 根据试验结果, 分别分析了相同流量不同含沙量以及相同含沙量不同流量条件下, 排污口含沙量随排污时间的变化规律, 结果表明: 排污口含沙量均随排污时间先增大后减小, 最后趋于稳定, 进而得到排污时间的最小值应为 14 s.

3) 根据质量守恒定律, 建立了排污时间的计算

公式;并根据试验结果,对过滤器排污时间进行了计算,结果表明:计算得到的过滤器排污时间为15~47 s,若取均值则为30 s;结合排污时间试验结果,最终确定卧式自清洗过滤器排污时间为15~30 s.该结果与已有过滤器试验结果和实际工程运行结果均一致,完全可以用于实际工程中卧式自清洗网式过滤器排污时间的确定.

参考文献 (References)

- [1] 李世英. 对我国节水灌溉技术发展的几点思考[J]. 排灌机械, 2000, 18(1): 6-8.
Li Shiyang. Reflections on the development of China's water-saving irrigation technology [J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2000, 18(1): 6-8. (in Chinese)
- [2] Capra A, Scicolone B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation [J]. Agricultural Water Management, 2004, 68(2): 135-149.
- [3] Siriwardene N R, Deletic A, Fletcher T D. Clogging of stormwater gravel infiltration systems and filters: Insights from a laboratory study [J]. Water Research, 2007, 41(7): 1433-1440.
- [4] 张兵,袁寿其,成立. 节水灌溉自动化技术的发展及趋势[J]. 排灌机械, 2003, 21(2): 37-41.
Zhang Bin, Yuan Shouqi, Cheng Li. Present situation and prospect of automatic control technology in water saving irrigation at home and abroad [J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2003, 21(2): 37-41. (in Chinese)
- [5] 董文楚. 微灌用砂过滤器水力性能研究[J]. 喷灌技术, 1996(2): 7-14.
Dong Wenchu. Study on hydraulic performance of sand filter for microirrigation [J]. Sprinkler Irrigation Technology, 1996(2): 7-14. (in Chinese)
- [6] 徐茂云. 微灌用筛网式过滤器水力性能的试验研究[J]. 水利学报, 1992, 23(3): 54-56.
Xu Maoyun. Experiment study on hydraulic performance of screen filter in micro irrigation [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1992, 23(3): 54-56. (in Chinese)
- [7] 肖新棉,董文楚,潘林,等. 叠片式砂过滤器水力特性模拟计算[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 1-5.
Xiao Xinmian, Dong Wenchu, Pan Lin, et al. Computational simulation of hydraulic characteristics for laminated sand filter [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 1-5. (in Chinese)
- [8] 孙新忠. 离心筛网一体式微灌式过滤器的试验研究[J]. 排灌机械, 2006, 24(3): 20-23.
Sun Xinzhong. Experiments on integral centrifugal screen panel and micro-irrigation filter [J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2006, 24(3): 20-23. (in Chinese)
- [9] 刘焕芳,刘飞,谷趁趁,等. 自清洗网式过滤器水力性能试验[J]. 排灌机械工程学报, 2012, 30(2): 203-208.
Liu Huanfang, Liu Fei, Gu Chenchen, et al. Experiment on hydraulic performance of self-cleaning screen filter [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2012, 30(2): 203-208. (in Chinese)
- [10] 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(1): 107-112.
Zong Quanli, Liu Fei, Liu Huanfang, et al. Calculating and experiment on drainage pressure difference of self-cleaning screen filter for drip irrigation [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(1): 107-112. (in Chinese)
- [11] 宗全利,刘飞,刘焕芳,等. 大田滴灌用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.
Zong Quanli, Liu Fei, Liu Huanfang, et al. Experiments on water head loss of self-cleaning screen filter for drip irrigation in field [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(16): 86-92. (in Chinese)
- [12] 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.
Wang Xinkun, Gao Shikai, Xia Liping, et al. Numerical simulation and structural optimization of screen filter in micro-irrigation [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2013, 31(8): 719-723. (in Chinese)
- [13] Yurdem H, Demir V, Degirmencioglu A. Development of a mathematical model to predict clean water head losses in hydrocyclone filters in drip irrigation systems using dimensional analysis [J]. Biosystems Engineering, 2010, 105(4): 495-506.
- [14] Duran-Ros M, Arbat G, Barragón 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.
- [15] Puig-Bargués J, Barragón J, Ramírez de Cartagena F. 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.
- [16] 骆秀萍,刘焕芳,宗全利,等. 自清洗网式过滤器排污

- 流量的计算[J]. 排灌机械工程学报, 2012, 30(5): 588 - 591, 608.
- Luo Xiuping, Liu Huanfang, Zong Quanli, et al. Calculating drainage flow rate through self-cleaning screen filters [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2012, 30(5): 588 - 591, 608. (in Chinese)
- [17] 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 Huangfang, 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)
- [18] 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.
- Liu Fei, Liu Huangfang, Zong Quanli, et al. Experiment on head loss and discharge time of self-cleaning screen filter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(5): 127 - 134. (in Chinese)
- [19] 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)

(责任编辑 徐云峰)

(上接第 1073 页)

- [4] Liu Yanchen, Shi Hangchang, Shi Huiming. Study on a discrete-time dynamic control model to enhance nitrogen removal with fluctuation of influent in oxidation ditches [J]. Water Research, 2010, 44(18): 5150 - 5157.
- [5] Zhang Yu, Huang Weidong, Gou Quanzeng, et al. Application of computational fluid dynamics in design of oxidation ditch [J]. Industrial Water & Wasterwater, 2009, 40(1): 49 - 53. (in Chinese)
- [6] Yang Huazhan, Wang Tao, Deng Rongsen, et al. Research on flow characteristic of curve channel of integrated oxidation ditch [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2007, 29(3): 106 - 109. (in Chinese)
- [7] Yang Yin, Yang Jiakuan, Zuo Jiaolan, et al. Study on two operating conditions of a full-scale oxidation ditch for optimization of energy consumption and effluent quality by using CFD mode [J]. Water Research, 2011, 45(11): 3439 - 3452.
- [8] Deng Rongsen. Wastewater treatment theory and techniques in oxidation ditch [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.
- [9] Hao Dongwei, Wang Wenquan, Zhang Lixiang. Study on the effect of sliding mesh interface position on rotation flow fields in impeller mechanical [C] // The 4th Hydraulic Machinery & System Conference of China. 2011: 522 - 528. (in Chinese)
- [10] Wang Fujun. Computational Fluid Dynamic Analysis: CFD Theory and Application [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004. (in Chinese)

(特约编辑 王应宽 责任编辑 盛杰)