排灌机械工程学报
Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering
2015 年 9 月 Sept. 2015 | 第 33 卷 第 9 期 Vol. 33 No. 9

doi:10.3969/j.issn.1674-8530.14.0207

细小泥沙对半透膜微润管堵塞的影响

朱燕翔[1], 王新坤[1], 杨玉超[1], 程岩[1], 郭芮[2]
(1. 江苏大学国家水泵及系统工程技术研究中心, 江苏 镇江 212013; 2. 中山市水务局, 广东 中山 528400)


朱燕翔

摘要: 为探明半透膜微润管对细小泥沙抗堵塞性能的影响,采用有压连续灌水方式对微润管 3 种粒径组成小于 0.100 0 mm 的泥沙颗粒进行了不同质量分数浑水灌溉堵塞试验. 分析了泥沙粒径、含沙量以及压力水头对灌水器堵塞的影响,同时探讨了灌水器发生堵塞时的敏感粒径范围和含沙量质量分数值. 试验结果表明:随着浑水含沙量的增大堵塞越严重,呈正相关关系;粒径在 0.061 0~0.100 0 mm 对微润管的堵塞影响最大;相同水质条件下,随着压力水头的增大微润管堵塞程度会降低. 研究结果为进一步利用半透膜微润灌溉技术提供了相关的理论基础.

关键词: 微润管;粒径;含沙量;压力水头;流量;堵塞;
中图分类号: S275.5 **文献标志码**: A **文章编号**: 1674-8530(2015)09-0818-05

朱燕翔, 王新坤, 杨玉超, 等. 细小泥沙对半透膜微润管堵塞的影响[J]. 排灌机械工程学报,2015,33(9):818-822.

Zhu Yanxiang, Wang Xinkun, Yang Yuchao, et al. Influences of tiny sediment particles on clogging performance of moistube[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering(JDIME), 2015,33(9):818-822. (in Chinese)

Influences of tiny sediment particles on clogging performance of moistube

Zhu Yanxiang[1], *Wang Xinkun*[1], *Yang Yuchao*[1], *Cheng Yan*[1], *Guo Rui*[2]
(1. National Research Center of Pumps, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China; 2. Water Affairs Bureau of Zhongshan City, Zhongshan, Guangdong 528400, China)

Abstract: A series of muddy water clogging experiments are carried out under three particle sizes (<0.100 0 mm) and different sediment concentrations when a mositub is subject to continuous irrigation to investigate influences of tiny sediment particles in water on clogging performance of moistube. Based on the experimental results, the effects of particle size, concentration and pressure head on the clogging performance are analysed. Meanwhile, the sensitive range of particle size and levels of sediment concentration for clogging are discussed. It is turned out that there is a positive relationship between sediment concentration and clogging degree. Moreover, the moistube is prone to being clogged when particle size is between 0.061 0 and 0.100 0 mm. Under the same water quality condition, the clogging degree reduces with increasing pressure head. These findings can provide a relevant theoretical basis for better utilizing moistube irrigation technology.

Key words: moistube;particle size;sediment concentration;head;outflow;clogging performance

半透膜微润灌溉是微灌技术的一种,通过埋于作物根区附近的灌水器,根据作物在不同生长周期的需水量适时适量地向土壤中渗水提供给作物[1-2]. 这种灌溉方式不仅在经济上和技术上得以实现,而且在水资源保护、生态环境方面被认为是最具有发展前景的节水灌溉技术,但半透膜微润灌

收稿日期: 2014-12-12; **网络出版时间**: 2015-09-17
网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1814.TH.20150917.1551.028.html
基金项目: 江苏省科技支撑计划项目(BE2013403); 江苏省农业科技自主创新项目(CX(14)2100)
作者简介: 朱燕翔(1989—),男,江苏盐城人,硕士研究生(zhuyx1217@126.com),主要从事节水灌溉技术研究.
王新坤(1966—),男,陕西临潼人,研究员,博士生导师(xjwxk@126.com),主要从事节水灌溉技术与装备研究.

溉的堵塞机理相对比较复杂,目前还没有得到很好的解决[3-4].

无机颗粒物是引起灌水器堵塞的直接原因,基于此国内外大量的研究者对颗粒物质与灌水器堵塞性能之间的关系作了大量的研究,普遍认为影响堵塞的主要因素是颗粒的流速、粒径和质量分数[5].相关研究和实际应用表明,在一般的过滤措施条件下,灌水器仍会发生堵塞现象,细小的沙粒进入灌水器后将在灌水器内部发生胶结、絮凝、输移等一系列微观流场水动力学行为,由此产生的颗粒沉淀导致灌水器流量下降[6].

从灌水器堵塞性能的研究现状和半透膜微润灌溉的发展情况来看,针对细小颗粒造成该灌水器堵塞的研究相对较少,文中借助不同粒径、质量分数条件下的浑水短期灌溉试验,分析泥沙粒径和含沙量对微润管堵塞的影响,同时研究在相同水质条件下,压力水头对其堵塞机理的影响,为提高灌水器的抗堵塞性能以及合理选用过滤和清洗方式提供相应的参考.

1　材料与方法

1.1　试验装置

试验在江苏大学国家水泵及系统工程技术研究中心喷灌大厅进行,试验时间为 2014 年 9—12 月.试验装置由水沙混合装置、管道以及试验用微润带组成,抽水泵扬程为 45 m,流量为 5 m^3/h.压力表量程为 0.16 MPa,精度等级为 0.25 级.试验用微润管管径为 16 mm,微润管出水微孔的孔径为 10 ~ 900 μm,经大气出流试验数据拟合得到压力 - 流量公式为 $q = 138h - 32.27$.试验装置连接如图 1 所示.

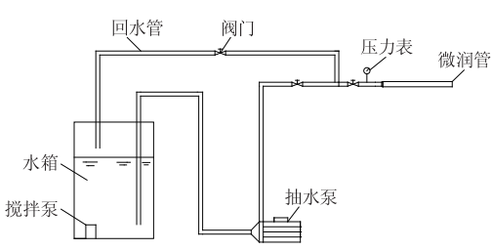


图 1　浑水试验测试平台

Fig. 1　Schematic of test rig for water with sediment

泥沙为风干黏性土,粒径 D 小于 0.100 0 mm,用 150,250 和 400 目筛经过高频振荡将其分为 0.061 0 mm < D_1 ≤ 0.100 0 mm,0.038 5 mm < D_2 ≤ 0.061 0 mm,D_3 ≤ 0.038 5 mm 共 3 种粒径范围;为了加快试验进度,参考《微灌工程技术规范 GBT 50485—2009》将 10 倍于农田灌溉水质标准对悬浮物质量分数的要求作为参考值,对相关前人的研究内容进行优化和扩充[7-8],设定浑水含沙量 m_1, m_2, m_3 为 0.5,1.0,1.5 g/L,试验压力水头为 H_1, H_2, H_3 分别为 1,2,3 m.

1.2　试验方法

根据微润管的功能特性,试验为连续灌水试验,每次灌水时间为 168 h(7 d),为了更好地与实际灌溉情况相符合,其中有压灌水为 132 h,其余 36 h 不进行加压,同时也是为了让浑水进行冷却,因为混合箱的体积是一定的,浑水在无限次的循环中被加热,为了试验更准确,每隔一段时间关闭水泵进行冷却.根据微润管出流量的变化按 2,4,6,12,24 h 不同的时间间隔测量并记录不同含沙量浑水下的出流情况,试验中用量筒测量放置在微润管下方塑料集水器中的出渗水量,微润管的长度为 1 m.每次灌水试验完成后对装置进行清洗,保证系统中无残留沙粒存在,然后更换微润管进行下一次试验.试验方案如表 1 所示,其中 N 为试验组数.

表 1　试验因素水平及方案表

Tab. 1　Experimental factors and their levels

N	H/m	m/(g·L^{-1})	D/mm
1	H_2	m_1	D_1
2	H_2	m_1	D_2
3	H_2	m_1	D_3
4	H_2	m_2	D_1
5	H_2	m_2	D_2
6	H_2	m_2	D_3
7	H_2	m_3	D_1
8	H_2	m_3	D_2
9	H_2	m_3	D_3
10	H_1	m_2	D_1
11	H_3	m_2	D_1

1.3　评价指标

为了便于数据分析描述,文中参照滴灌灌水器抗堵塞评价方法将额定压力下的浑水流量 $q_{浑}$ 与清水流量 $q_{清}$ 的比值称为相对流量,记作 q_r.一般认为当 q_r < 75% 时灌水器发生严重堵塞[9-10].而对于整个灌溉小区的堵塞评价,目前还没有统一的标准.

2　结果与分析

2.1　微润管堵塞情况分析

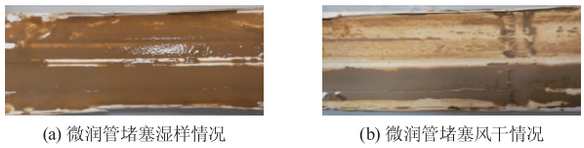
对试验前后不同水质和压力水头情况下的出流数据进行汇总分析,如表 2 所示.

表2 微润管不同水质下流量统计表

Tab. 2 Statistics of flow rate in muddy water through moistube

N	$q_{清}$/(mL·h^{-1})	试验0~2 h		试验2~6 h		试验结束时	
		$q_{浑}$/(mL·h^{-1})	q_r/%	$q_{浑}$/(mL·h^{-1})	q_r/%	$q_{浑}$/(mL·h^{-1})	q_r/%
1	240.0	125.0	0.520	240.2	1.000	158.8	0.662
2	240.0	102.6	0.427	237.1	0.988	179.4	0.748
3	240.0	108.0	0.450	211.5	0.881	196.8	0.820
4	240.0	140.2	0.584	243.3	1.014	141.8	0.590
5	240.0	131.0	0.546	242.5	1.010	168.0	0.700
6	240.0	120.3	0.501	224.3	0.934	179.7	0.745
7	240.0	112.5	0.468	230.7	0.961	135.6	0.565
8	240.0	125.0	0.520	220.5	0.919	152.3	0.634
9	240.0	116.4	0.485	230.0	0.958	167.5	0.698
10	105.0	50.9	0.485	87.9	0.837	32.2	0.307
11	365.0	323.0	0.885	356.7	0.977	239.5	0.656

从表2中可以看出当开始试验时微润管的出流量为清水平均流量的0.5左右,因此在灌溉时应让微润管先处于高水头运行一段时间后再调节到相应水位,因为微润管出水微孔在灌水开始时较小,随着灌水进行微孔逐渐膨大才能达到预期出流量.在试验2~6 h浑水出流量和清水出流量相差不大,但在试验结束时微润管的流量呈现出了明显的降幅趋势,表明微润管发生了不同程度的堵塞.此外,从微润管中渗出的水中含泥沙量近似于清水.在试验结束后将微润管剖开,图2为微润管堵塞分布示意图.



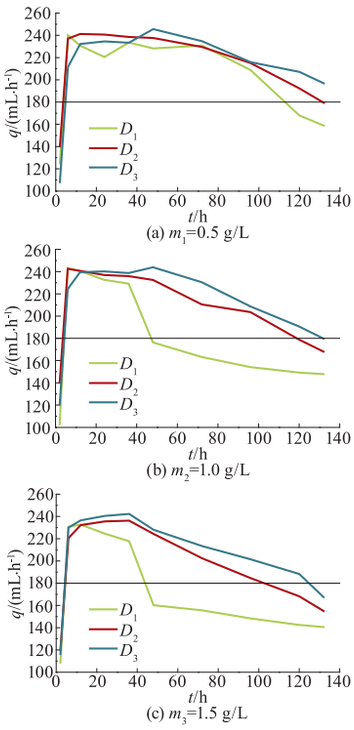
(a) 微润管堵塞湿样情况 (b) 微润管堵塞风干情况

图2 微润管堵塞示意图

Fig. 2 Photos of moistube clogging

2.2 泥沙粒径对微润管堵塞的影响

图3为相同含沙量和压力水头下不同粒径范围的浑水流量随灌水时间的变化趋势图,图中180 mL/h为75%额定流量.从图中可以看出,微润管的堵塞随着粒径的增大而增大,说明粒径范围对微润管堵塞具有一定影响.从流量的变化率来看,粒径为D_1时比其他2种粒径更容易发生堵塞,并且随着质量分数的增大粒径的影响更突出.分析图3a,当浑水质量分数较小时,粒径对微润管堵塞性能影响差异不明显.分析图3b,c,粒径为D_1时可以看出当灌水48 h后相对流量发生了较大的降幅,分别为73.5%和66.8%,均小于75.0%,而当粒径为D_3到试验结束时只有质量分数为1.5 g/L的试验组相对流量小于75.0%,说明微润管对该颗粒泥沙抗堵塞性能较好.



(a) m_1=0.5 g/L

(b) m_2=1.0 g/L

(c) m_3=1.5 g/L

图3 泥沙粒径和流量变化关系图

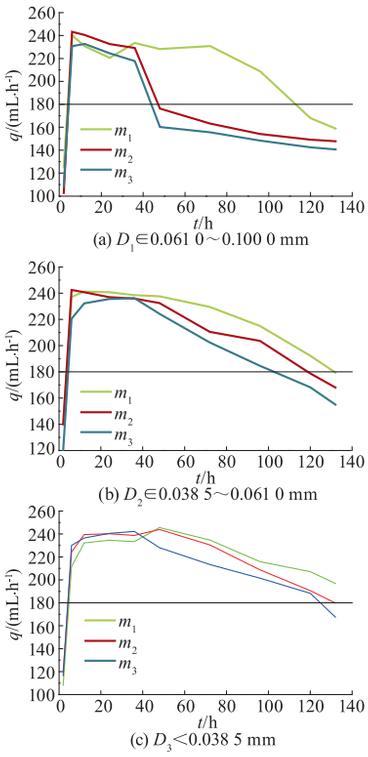
Fig. 3 Relationship between flow rate and particle size

采用Origin8.0软件分析3种粒径范围泥沙对微润管堵塞的影响,以微润管时段流量作为方差分析的因变量,统计结果表明泥沙粒径对其的影响具有统计学意义($P<0.05$),说明粒径的参数设定范围对堵塞的影响敏感.通过对图2的分析可以发现在试验时泥沙粒径为D_1的浑水在同条件下流量降幅大于另外2种粒径,且粒径为D_1时流量降幅下降趋势比另外2种粒径更快,可以推测在粒径为0.061 0 mm $<D_1\leqslant$0.100 0 mm可能存在对微润管堵塞的敏感泥沙粒径段.同时,可以发现试验用泥沙粒径范围均在微润管微孔半径之内,随着灌水试验的进行,大粒径泥沙将比其孔径小的出水孔堵塞,继而颗粒团聚形成粒径更大的团聚体,进一步

堵塞出水微孔且易发生沉淀造成微润管堵塞. 综上所述，浑水中泥沙粒径越大越容易引起微润管灌水器的堵塞.

2.3　含沙量对微润管堵塞的影响

图 4 为相同粒径和压力水头下不同含沙量浑水试验各阶段流量随灌水时间变化的关系曲线. 观察图 4 可得，当含沙量为 0.5 g/L 时，在灌水 36 h 之内微润管的平均流量和清水流量相近，流量变化量接近于 0. 从图 4a 中可以看出，当含沙量为 0.5 g/L 时，灌水 110 h 后相对流量才小于 75.0%，而含沙量为 1.0 g/L 和 1.5 g/L 灌水 48 h 后相对流量分别为 73.5% 和 66.8%，均小于 75%，说明微润管发生了严重的堵塞. 分析图 4b，c 发现流量降幅呈现出相似的趋势，相同粒径条件下含沙量对微润管堵塞略有不同，但总体而言随着含沙量的增大对微润管的堵塞影响也就越大.



(a) D_1∈0.061 0～0.100 0 mm

(b) D_2∈0.038 5～0.061 0 mm

(c) D_3<0.038 5 mm

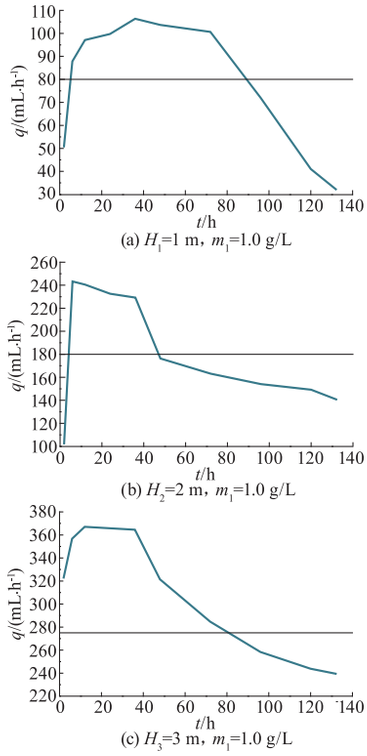
图 4　含沙量和流量变化关系图

Fig. 4　Relationship between flow rate and sediment concentration

采用 Origin8.0 软件分析含沙量对堵塞性能的影响，在 95% 的置信条件下发现含沙量对微润管堵塞的影响不具有统计学意义（$P = 0.27 > 0.05$），说明试验含沙量各水平之间差异没有统计学意义，即含沙量参数设定范围对堵塞的影响并不敏感. 在试验结束后将微润管风干进行称重，称重泥沙淤积质量可以计算微润管内的浑水质量分数，并与配置的浑水质量分数进行对比. 对含沙量为 1.5 g/L 的 3 组试验进行计算，发现微润管里的质量分数约为配置浑水 2 倍左右，由于微润管的特性管内水流流速非常缓慢，悬浮颗粒在流道壁面缓慢淤积附着，并且在停灌期间颗粒在管道内沉积速度加快，因此随着灌水时间的增长，微润管半透膜孔渐渐堵塞继而出现流量下降[11－12].

2.4　压力水头对微润管堵塞的影响

图 5 为相同水质下不同压力水头浑水试验各阶段流量随灌水时间变化的关系曲线，从表 2 和图 5 可以看出，随着压力水头的增大，微润管的堵塞程度呈下降趋势. 当灌水结束时 3 种压力水头下的流量降幅分别为 30.7%，59.0% 和 65.6%，均发生了严重的堵塞. 从图 5a 可以看出 $H_1 = 1$ m 时，灌水 72 h 之内微润管并未发生明显的堵塞，随后微润管堵塞急剧增大，图 5b，c 显示灌水 36 h 后微润管堵塞稍渐严重，但之后的灌水过程微润管堵塞并未像图 5a 那么明显.



(a) H_1=1 m，m_1=1.0 g/L

(b) H_2=2 m，m_1=1.0 g/L

(c) H_3=3 m，m_1=1.0 g/L

图 5　压力水头和流量变化关系图

Fig. 5　Relationship between flow rate and pressure head

文中分析随着压力水头的增大，微润管的出流量增大同时管道内水流速也增大，根据文献[13]指出粒径小于 0.075 0 mm 的颗粒跟随性接近于 1，泥沙颗粒速度与流体速度分布一致，相差较小，颗粒

物质更容易随流场运动不易絮凝沉淀堵塞出水孔，因此微润管堵塞程度降低.

3 结 论

针对粒径范围小于0.100 0 mm的泥沙粒径，在一定工作压力水头下，通过配制不同含沙量浑水进行连续灌水试验，对微润管出流变化和堵塞过程机理进行了测试分析，得出以下结论：

1）含沙量和泥沙粒径是造成微润管堵塞的主要因素，随着含沙量的增大对微润管的堵塞影响也越大，两者之间呈现出显著的正相关关系，在泥沙粒径0.061 0 mm $< D_1 \leqslant$ 0.100 0 mm可能存在着对微润管堵塞的敏感粒径范围，随着压力水头的增大微润管的堵塞程度呈下降趋势.

2）在一定泥沙粒径与含沙量范围内，造成微润管堵塞的关键因素不仅仅是单纯的泥沙粒径因子或者含沙量因子，而是泥沙粒径与含沙量的耦合作用以及运行水位的变化对其影响，需定期对微润管进行冲洗和合理选用过滤方式.

受试验条件的限制，对含沙量的设定和泥沙粒径的划分范围还不够完善，且试验时间设定和实际灌溉情况存在很大的区别，不能及时采集流量. 另外，试验中没有考虑温度对微润管堵塞的影响，试验中浑水的温度始终在变化，这对测试结果也存在较大的影响. 因此，对微润管灌水器堵塞机理还需进行大量的试验研究.

参考文献(References)

[1] Oron G, Gillerman L, Bick A, et al. Membrane technology for sustainable treated wastewater reuse: Agricultural, environmental and hydrological considerations [J]. Water Science and Technology, 2008, 57(9): 1383-1388.

[2] 杨文君，田磊，杜太生，等. 半透膜节水灌溉技术的研究进展[J]. 水资源与水工程学报，2008，19(6)：60-63.
Yang Wenjun, Tian Lei, Du Taisheng, et al. Research prospect of the water-saving irrigation by semi-permeable film[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2008, 19(6): 60-63. (in Chinese)

[3] Nakayama F S, Bucks D A. Water quality in drip/trickle irrigation: A review[J]. Irrigation Science, 1991, 12(4): 187-192.

[4] Parkin G, Zhou Hongde, Quinone-BolanosE. Membranepervaporation for wastewater reuse in micro-irrigation[J]. Journal of Environmental Engineering, 2005, 131(12): 1633-1643.

[5] 王建东. 滴头水力性能与抗堵塞性能试验研究[D]. 北京：中国农业大学水利与土木工程学院，2004.

[6] 刘璐，牛文全，Zhou Bob. 细小泥沙粒径对迷宫流道灌水器堵塞的影响[J]. 农业工程学报，2012，28(1)：87-93.
Liu Lu, Niu Wenquan, Zhou Bob. Influence of sediment particle size on clogging performance of labyrinth path emitter[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(1): 87-93. (in Chinese)

[7] GB/T 50485—2009. 微灌工程技术规范[S]. 北京：中国计划出版社，2009.

[8] 祁世磊. 低压微润带出流、入渗及抗堵塞性能试验研究[D]. 乌鲁木齐：新疆农业大学水利与土木工程学院，2013.

[9] 李久生，陈磊，栗岩峰. 地下滴灌灌水器堵塞特性田间评估[J]. 水利学报，2008，39(10)：1272-1277.
Li Jiusheng, Chen Lei, Li Yanfeng. Field evaluation of emitter clogging in subsurface drip irrigation system[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39(10): 1272-1277. (in Chinese)

[10] ISO/TC23/SC18/WG5 N4. Clogging test methods for emitters[S]. 2003.

[11] 李治勤，陈刚，杨晓池. 浑水引起迷宫灌水器物理堵塞因素实验研究[J]. 西安理工大学学报，2006，22(4)：395-398.
Li Zhiqin, Chen Gang, Yang Xiaochi. Experimental study of physical clogging factor of labyrinth emitter caused by muddy water[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2006, 22(4): 395-398. (in Chinese)

[12] 姜珊，范兴科，叶成恒. 含沙水滴灌条件下灌水器抗堵塞试验研究[J]. 灌溉排水学报，2010，29(2)：7-10.
Jiang Shan, Fan Xingke, Ye Chengheng. Anti-clogging performance of drip emitters under silt content water irrigation[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2010, 29(2): 7-10. (in Chinese)

[13] 李志平，李恩邦，李淳，等. 全场光学测量中示踪粒子跟随性的数值分析[J]. 科学技术与工程，2007，7(20)：5208-5212.
Li Zhiping, Li Enbang, Li Chun, et al. Numerical analysis of following behaviors of particle tracers in full flow field observation and measurement[J]. Science Technology and Engineering, 2007, 7(20): 5208-5212. (in Chinese)

(责任编辑 谈国鹏)